原著論文

各種食品咀嚼時の末梢からのフィードバック調節

稲葉 仁 志賀 博 小林 義典

Peripheral Feedback Adjustment in Chewing Various Types of Food

Jin Inaba, Hiroshi Shiga and Yoshinori Kobayashi

歯科補綴学的意義

各種食品咀嚼時の末梢からのフィードバック調節を明らかにするため、正常者における各種食品咀嚼開始後の10サイクルの下顎切歯点の経路とリズム、咬筋筋活動量を被験者間、サイクル間、食品間で比較した。その結果、咀嚼運動は、咀嚼開始後の数サイクルでは、運動量や筋活動量を決定するために大きく変動し、それらの量が決定された後のサイクルでは、わずかな変動を伴いながら食品の性状に応じて営まれることが示唆された。

抄 録

目的：各種食品咀嚼時における末梢からのフィードバック調節を明らかにするため、咀嚼開始後の10サイクルにおける下顎切歯点の運動と咬筋の筋活動量を分析した。

方法：正常者10名にカマボコ、チューインガム、ピーナッツ、ビーフジャーキーを主咀嚼側で咀嚼させたときの咀嚼開始後の10サイクルにおける開口量、咀嚼幅、サイクルタイム、咬筋筋活動の積分値を算出し、被験者間、サイクル間、食品間で比較した。

結果：各指標は、いずれも第1サイクルで最も大きく、以下第2、第3サイクルの順に小さくなる傾向を示し、変動が大きかったが、チューインガム咀嚼時で第3サイクル、カマボコとピーナッツ咀嚼時で第4サイクル、ビーフジャーキー咀嚼時で第7サイクル以降の変動が小さかった。サイクル間で比較すると、各指標はいずれも第1サイクルと他のほとんどのサイクルとの間にそれぞれ有意差が認められた。食品間で比較すると、第1から第4サイクルまでは、ほとんどの2食品咀嚼時との間でそれぞれ有意差が認められなかったが、逆に第5サイクル以降では、ほとんどの2食品咀嚼時との間でそれぞれ有意差が認められた。

結論：咀嚼運動は、咀嚼開始後の数サイクルでは、食品の性状に応じた運動量や筋活動量を決定するために大きく変動し、またそれらの量が決定された後のサイクルでは、わずかな変動を伴いながら、食品の性状に応じて営まれることが示唆された。

和文キーワード

咀嚼運動, 咀嚼経路, 咀嚼リズム, 咬筋筋活動, 末梢からのフィードバック調節

日本歯科大学歯学部歯科補綴学教室第1講座（主任：小林義典教授）

Department of Partial and Complete Denture, The Nippon Dental University, School of Dentistry at Tokyo (Chief : Prof. Yoshinori Kobayashi)

受付：2000年7月24日/受理：2001年1月18日

Received on July 24, 2000/Accepted on January 18, 2001

I. 緒 言

咀嚼運動の分析による咀嚼機能の客観的評価が試みられており、その有用性も報告されている¹⁻³⁾。このような客観的評価に際しての分析区間は、咀嚼開始後 20 秒間⁴⁾、咀嚼開始後 30 サイクル以上⁵⁾、咀嚼開始後 20 サイクル⁶⁾、咀嚼サイクルが安定してからの 10 サイクル⁷⁾、咀嚼開始 5 秒後からの 10 秒間⁸⁾、咀嚼開始 5 秒後からの 10 サイクル¹⁾などが提唱されてきたが、三田ら⁹⁾、志賀ら²⁾により、咀嚼開始後の第 4 あるいは第 5 サイクルからの 10 サイクルが運動経路、運動リズムともに安定し、最適であることが明らかにされて以来、主にこれに準じて設定されるようになってきた^{3,10-12)}。

一方、このような咀嚼開始直後を除いた一定の分析区間の設定は、運動機能の安定性の評価には適しているが、より自然な咀嚼運動の分析による咀嚼機能の客観的評価をするためには、チューインガムやそれに類似する食品以外のほとんどの食品が咀嚼の進行に伴って破碎され、変化し、各サイクルの筋活動もそれに応じて変化する可能性があるため、咀嚼時の各サイクルを連続的に観察すべきことも指摘されている¹³⁾。このような状況を背景として、最近では、咀嚼時における末梢からのフィードバック調節、すなわち食品の性状に応じた末梢の感覚受容器からのフィードバック情報による咀嚼運動の変化を明らかにするために、咀嚼開始後の初期における下顎運動の評価が試みられている¹⁴⁻¹⁶⁾。しかしながら、これらの試みは下顎運動や筋活動が咀嚼の進行に伴い変化するということを呈示するにとどまり^{15,16)}、咀嚼開始後の初期の咀嚼運動の変化については、十分解明されるまでに至っていないのが現状である。

そこで、本研究は各種食品咀嚼時における末梢からのフィードバック調節を明らかにする目的で、正常者を被験者として各種食品咀嚼時の咀嚼開始後の 10 サイクルにおける下顎切歯点の運動と咬筋筋活動量について、被験者間で定性的、またサイクル間と食品間で定量的に比較した。

II. 研究方法

1. 被験食品

被験食品は、1 cm³ のカマボコ 1 個、チューインガム 1 枚、ピーナッツ 1 粒、ビーフジャーキー 1 枚を用いた。これらの食品の重量は、いずれも約 1 g である。

2. 被験者

被験者は、日本歯科大学歯学部で、主咀嚼側を認識できる 20 歳代の健康な有歯顎者のなかから、秋山ら¹⁷⁾の分類法に従って、カマボコ、チューインガム、ピーナッツ、ビーフジャーキーの各咀嚼時における下顎切歯点の運動経路のパターンが中心咬合位から作業側に向かってスムーズに開口し、その後中心咬合位へ閉口して中心咬合位付近の閉口路が直線あるいは convex を呈する男性 6 名、女性 4 名の合計 10 名 (平均年齢 24.2 歳) を選択した (図 1)。

3. 記録方法および装置

咀嚼は、被験者をシールドルームにおいて頭部を固定せずにリラックスさせた状態で、歯科用治療椅子に座らせ、カマボコ、ピーナッツ、ビーフジャーキーを嚥下するまで、また記録前に十分軟化させたチューインガムを嚥下させずに 20 秒間、それぞれ主咀嚼側で

図 1 Masticatory path of chewing boiled fish paste, chewing gum, peanuts and beef jerky as seen from the frontal plane (Average path, right side chewing)

CO : Centric occlusion

カマボコ、チューインガム、ピーナッツ、ビーフジャーキー咀嚼時の前頭面でみた運動経路 (平均経路、右側咀嚼)

CO : 中心咬合位

行わせた。各食品の咀嚼順序は、ランダムに行い、各咀嚼間に5分間のインターバルをとった。

下顎切歯点の運動は、マイオトロニクス社製 Mandibular Kinesiograph (K-6 I) を用いて、また咬筋筋活動は、中央部から電極間距離を18 mmに固定した直径10 mmの銀製皿電極で双極誘導し、日本光電社製多用途計測記録装置 (RM-6000) を用いて、時定数0.03秒として同社製オシログラフで1 mVの入力が10 mmの振れになるように増幅度を校正した後、TEAC社製データレコーダー (XR-5000) に同時記録した。

4. 分析方法

下顎切歯点の運動については、データレコーダーからの再生信号をマイクロサイエンス社製 A/D コンバーター (ADM-5898 BPC) により sample 数 2,000, sampling time 10 msec でデジタル信号に変換後、咀嚼運動自動分析システム²⁾を用いて、咀嚼開始後の第1サイクルから第10サイクルまでの10サイクルについて、各サイクルにおける開口量と咀嚼幅を算出した。また、咬筋筋活動については、データレコーダーからの再生信号を A/D コンバーター (ADM-5898 BPC) により sample 数 20,000, sampling time 1 msec でデジタル信号に変換後、咀嚼運動時の筋活動分析システム¹⁸⁾を用いて、咀嚼開始後の第1サイクルから第10サイクルまでの各サイクルのサイクルタイムと主咀嚼側の咬筋筋活動の積分値を算出した。筋活動の筋放電開始時期と筋放電終了時期の設定は、ディスプレイ上でマウスを移動させて行った。次いで、算出した開口量、咀嚼幅、サイクルタイム、咬筋筋活動の積分値について、サイクル間と食品間でそれぞれ比較した。これらの比較は、分散分析後、Bonferroni の多重比較¹⁹⁾で行った。また、開口量、咀嚼幅、サイクルタイム、咬筋筋活動の積分値は、被験者ごとにグラフ表示し、定性的に比較した。

III. 結 果

1. 被験者別でみたカマボコ、チューインガム、ピーナッツ、ビーフジャーキー咀嚼時の咀嚼開始後の第1サイクルから第10サイクルまでの各サイクルにおける開口量、咀嚼幅、サイクルタイム、咬筋筋活動の積分値

被験者別でみたカマボコ、チューインガム、ピーナッツ、ビーフジャーキー咀嚼時の咀嚼開始後の第1サイクルから第10サイクルまでの各サイクルにおける開口量、咀嚼幅、サイクルタイム、咬筋筋活動の積分値、それらを全被験者でみた平均値、ならびに全被験者でみた各サイクル間の平均値の差の検定結果は、図2と3に示す。

被験者別でみたカマボコ咀嚼時の開口量、咀嚼幅、サイクルタイム、咬筋筋活動の積分値は、それぞれ各被験者ともに第1サイクルで最も大きく、以下第2、第3、第4のサイクル順に小さくなる傾向を示し、第3サイクルまでは、被験者間とサイクル間の変動が大きかったが、第4サイクル以降では、開口量が12.2～17.8 mm (平均14.7 mm)、咀嚼幅が0.82～2.63 mm (平均1.55 mm)、サイクルタイムが400～540 msec (平均480.3 msec)、咬筋筋活動の積分値が13.5～38.9 mV・msec (平均23.0 mV・msec) を示し、被験者間とサイクル間の変動が小さかった。また、全被験者でみた平均値は、開口量が第1サイクルと他のサイクルとの間、第2サイクルと第7サイクルとの間、咀嚼幅が第1サイクルと他のサイクルとの間、第2サイクルと第7、第10サイクルとの間、サイクルタイムが第1サイクルと他のサイクルとの間、咬筋筋活動の積分値が第1サイクルと他のサイクルとの間、第2サイクルと第7サイクルとの間でそれぞれ有意差が認められた。

被験者別でみたチューインガム咀嚼時の開口量、咀嚼幅、サイクルタイム、咬筋筋活動の積分値は、それぞれ各被験者ともに第1サイクルで最も大きく、以下第2、第3のサイクル順に小さくなる傾向を示し、第1サイクルのみ、あるいは第2サイクルまでは、被験者間とサイクル間の変動が大きく、個人差が認められたが、第3サイクル以降では開口量が14.1～19.0 mm (平均16.6 mm)、咀嚼幅が1.09～3.04 mm (平

図 2 Gape, masticatory width, cycle time, and cumulative value of masseter muscular activity in chewing boiled fish paste and chewing gum for each cycle from the first cycle to the tenth cycle for each subject, the average values of all subjects and the results of statistical analysis on the difference of average for all subjects (● : each subject, ○ : Average value of all subjects)

被験者別でみたカマボコとチューインガム咀嚼時の咀嚼開始後の第1サイクルから第10サイクルまでの各サイクルにおける開口量, 咀嚼幅, サイクルタイム, 咬筋活動の積分値, それらを全被験者でみた平均値, ならびに全被験者でみた各サイクル間の平均値の差の検定結果 (● : 各被験者, ○ : 全被験者の平均)

図 3 Gape, masticatory width, cycle time, and cumulative value of masseter muscular activity in chewing peanut and beef jerky for each cycle from the first cycle to the tenth cycle for each subject, the average values of all subjects and the results of statistical analysis on the difference of average for all subjects (● : each subject, ○ : Average value of all subjects)

被験者別でみたピーナッツとビーフジャーキー咀嚼時の咀嚼開始後の第 1 サイクルから第 10 サイクルまでの各サイクルにおける開口量, 咀嚼幅, サイクルタイム, 咬筋筋活動の積分値, それらを全被験者でみた平均値, ならびに全被験者でみた各サイクル間の平均値の差の検定結果 (● : 各被験者, ○ : 全被験者の平均)

均 1.92 mm), サイクルタイムが 460~550 msec (平均 501.0 msec), 咬筋筋活動の積分値が 25.1~48.3 mV・msec (平均 33.9 mV・msec) を示し, 被験者間とサイクル間の変動が比較的小さかった。また, 全被験者でみた平均値は, 開口量, 咀嚼幅, サイクルタイム, 咬筋筋活動の積分値がいずれも, 第 1 サイクルと他のサイクルとの間でそれぞれ有意差が認められた。

被験者別でみたピーナッツ咀嚼時の開口量, 咀嚼幅, サイクルタイム, 咬筋筋活動の積分値は, それぞれ各被験者ともに第 1 サイクルで最も大きく, 以下第 2, 第 3, 第 4 のサイクル順に小さくなる傾向を示し, 第 3 サイクルまでは被験者間とサイクル間の変動が大きかったが, カマボコ咀嚼時と同様に第 4 サイクル以降では, 開口量が 13.8~21.4 mm (平均 17.3 mm), 咀嚼幅が 1.25~3.60 mm (平均 2.28 mm), サイクルタイムが 440~570 msec (平均 521.2 msec), 咬筋筋活動の積分値が 26.7~68.0 mV・msec (平均 42.7 mV・msec) を示し, 被験者間とサイクル間の変動が小さかった。また, 全被験者でみた平均値は, 開口量, 咀嚼幅, サイクルタイム, 咬筋筋活動の積分値がいずれも, 第 1 サイクルと他のサイクルとの間でそれぞれ有意差が認められた。

被験者別でみたビーフジャーキー咀嚼時の開口量, 咀嚼幅, サイクルタイム, 咬筋筋活動の積分値は, それぞれ各被験者ともに第 1 サイクルで最も大きく, 以下第 2 サイクルから第 7 サイクルまで徐々に小さくなる傾向を示し, 第 6 サイクルまでは被験者間とサイクル間の変動が大きかったが, 第 7 サイクル以降では開口量が 14.9~22.0 mm (平均 18.3 mm), 咀嚼幅が 1.57~4.14 mm (平均 2.59 mm), サイクルタイムが 460~590 msec (平均 546.8 msec), 咬筋筋活動の積分値が 31.8~66.0 mV・msec (平均 47.3 mV・msec) を示し, 被験者間とサイクル間の変動が小さかった。また, 全被験者でみた平均値は, 開口量と咬筋筋活動の積分値がいかなるサイクル間でも有意差が認められなかったが, 咀嚼幅が第 1 サイクルと第 2 サイクルを除く他のサイクルとの間, サイクルタイムが第 1 サイクルと他のサイクルとの間でそれぞれ有意差が認められた。

2. 全被験者でみた咀嚼開始後の第 1 サイクルから第 10 サイクルまでの各サイクルにおけるカマボコ, チューインガム, ピーナッツ, ビーフジャーキー咀嚼時の開口量, 咀嚼幅, サイクルタイム, 咬筋筋活動の積分値

全被験者でみた咀嚼開始後の第 1 サイクルから第 10 サイクルまでの各サイクルにおけるカマボコ, チューインガム, ピーナッツ, ビーフジャーキー咀嚼時の開口量, 咀嚼幅, サイクルタイム, 咬筋筋活動の積分値の平均値は, 表 1, また全被験者でみた食品間の平均値の差の検定結果は, 表 2 にそれぞれ示す。

全被験者でみたカマボコ, チューインガム, ピーナッツ, ビーフジャーキー咀嚼時の開口量, 咀嚼幅, サイクルタイム, 咬筋筋活動の積分値の平均値は, 開口量が第 4 サイクル, 咀嚼幅が第 2, 第 4, 第 5 サイクル, サイクルタイムが第 3 と第 5 サイクル, 咬筋筋活動の積分値が第 1, 第 2, 第 3, 第 4 サイクルでカマボコ咀嚼時とピーナッツ咀嚼時, ビーフジャーキー咀嚼時との間, 開口量が第 5 サイクル, 咀嚼幅が第 8 サイクル, サイクルタイムが第 6 サイクル, 咬筋筋活動の積分値が第 5 サイクルでカマボコ咀嚼時とピーナッツ咀嚼時, ビーフジャーキー咀嚼時, チューインガム咀嚼時とビーフジャーキー咀嚼時との間, 開口量が第 6 サイクル, サイクルタイムが第 9 サイクル, 咬筋筋活動の積分値が第 6 と第 7 サイクルでカマボコ咀嚼時とピーナッツ咀嚼時, ビーフジャーキー咀嚼時, チューインガム咀嚼時とビーフジャーキー咀嚼時, ピーナッツ咀嚼時とビーフジャーキー咀嚼時との間, 開口量が第 7 と第 9 サイクル, 咀嚼幅が第 6 サイクル, サイクルタイムが第 8 サイクル, 咬筋筋活動の積分値が第 9 サイクルでカマボコ咀嚼時と他の 3 食品咀嚼時との間, チューインガム咀嚼時とピーナッツ咀嚼時, ビーフジャーキー咀嚼時との間, 開口量が第 8 サイクル, サイクルタイムが第 7 サイクルでカマボコ咀嚼時と他の 3 食品咀嚼時との間, チューインガム咀嚼時とビーフジャーキー咀嚼時との間, ピーナッツ咀嚼時とビーフジャーキー咀嚼時との間にそれぞれ有意差が認められた。また, 開口量が第 10 サイクル, 咀嚼幅が第 7, 第 9, 第 10 サイクル, サイクルタイムが第 10 サイクル, 咬筋筋活動の積分値が第 8 と第 10 サイクルですべての 2 食品咀嚼時の間にそれぞれ有意差が認められた。すなわち, 咀嚼運動は, 咀嚼開始後の第

表 1 The average values of gape, masticatory width, cycle time, and cumulative value of masseter muscular activity in chewing boiled fish paste, chewing gum, peanuts and beef jerky for each cycle from the first cycle to the tenth cycle for all subjects (K : boiled fish paste, G : chewing gum, P : peanuts, B : beef jerky)

全被験者でみた咀嚼開始後の第 1 サイクルから第 10 サイクルまでの各サイクルにおけるカマボコ、チューインガム、ピーナッツ、ビーフジャーキー咀嚼時の開口量、咀嚼幅、サイクルタイム、咬筋筋活動の積分値の平均値 (K : カマボコ, G : チューインガム, P : ピーナッツ, B : ビーフジャーキー)

cycle	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Gape (mm)										
K	20.9	16.9	16.6	15.1	14.7	14.7	14.3	14.9	14.4	14.5
G	21.4	18.5	17.1	17.0	16.4	16.7	16.4	16.5	16.5	16.5
P	22.4	18.7	20.5	17.3	17.4	17.6	16.9	17.6	17.2	17.3
B	22.3	18.0	18.6	18.5	19.5	18.3	18.4	18.3	18.0	18.5
Masticatory width (mm)										
K	2.76	2.20	1.82	1.60	1.60	1.62	1.48	1.59	1.53	1.48
G	3.45	2.34	2.04	1.97	1.94	1.96	1.79	1.91	1.84	1.90
P	3.01	2.48	2.29	2.33	2.23	2.24	2.22	2.29	2.33	2.31
B	3.52	3.25	2.93	3.10	2.49	2.47	2.55	2.64	2.59	2.57
Cycle time (msec)										
K	691	483	500	489	480	478	482	473	481	479
G	628	517	501	499	499	501	499	504	500	505
P	677	519	530	532	513	521	518	526	512	526
B	720	568	594	554	561	538	543	549	552	545
Cumulative value of masseter muscular activity (mV・msec)										
K	33.5	29.0	24.9	23.6	23.1	24.4	21.8	23.3	22.8	22.2
G	39.9	36.5	34.6	34.2	34.1	33.6	34.4	33.9	32.6	34.1
P	54.4	46.7	45.1	42.3	42.4	43.8	42.0	43.6	42.5	42.4
B	53.9	51.2	48.2	49.4	46.5	49.1	47.4	46.5	46.9	48.5

1 サイクルから第 4 サイクルまでの初期では、カマボコとピーナッツとの間、カマボコとビーフジャーキーとの間以外の他のすべての 2 食品間に有意差が認められなかったが、咀嚼開始後第 5 サイクル以降では、食品間の差異が明瞭であり、ほとんどの 2 食品間で有意差が認められた。

IV. 考 察

咀嚼運動を分析するための被験食品は、主にパン、カマボコ、チューインガム、生ニンジン、ピーナッツ、ビーフジャーキー、生米などが選択されているが、食品別にみた咀嚼運動を分析するためには、可及的に性状が異なることが望ましい。また、被験食品数を多くすると、疲労が生じたり、記録時の随意的要素

が加わる可能性があることに留意しなければならない。これらのことに配慮し、本研究では明らかに性状が異なる 4 食品、すなわち軟性・切断性食品としてカマボコ、軟性・粘性食品としてチューインガム、硬性・粉碎性食品としてピーナッツ、硬性・繊維性食品としてビーフジャーキーをそれぞれ被験食品に選択した。

咀嚼時の末梢からのフィードバック調節を調べるためには、できる限り安定した咀嚼運動を呈する被験者を分析することが、必須の条件としてあげられる。正常者におけるチューインガムや各種食品咀嚼時の運動経路のパターンを分析した秋山ら¹⁷⁾、芳賀ら²⁰⁾は、代表的なパターンが中心咬合位から作業側へ向ってスムーズに開口し、その後中心咬合位へ閉口して中心咬合位付近の閉口路が直線あるいは convex を呈するパ

表 2 Result of statistical analysis on the difference of average between each test food of gape, masticatory width, cycle time, and cumulative value of masseter muscular activity in chewing boiled fish paste, chewing gum, peanuts and beef jerky for each cycle from the first cycle to the tenth cycle for all subjects (K : boiled fish paste, G : chewing gum, P : peanuts, B : beef jerky)

全被験者でみた咀嚼開始後の第 1 サイクルから第 10 サイクルまでの各サイクルにおけるカマボコ、チューインガム、ピーナッツ、ビーフジャーキー咀嚼時の開口量、咀嚼幅、サイクルタイム、咬筋筋活動の積分値についての食品間の平均値の差の検定結果 (K : カマボコ, G : チューインガム, P : ピーナッツ, B : ビーフジャーキー)

cycle	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Gape										
K-G	—	—	—	—	—	—	*	*	*	**
K-P	—	—	—	*	*	**	**	**	**	**
K-B	—	—	—	**	**	**	**	**	**	**
G-P	—	—	—	—	—	—	*	—	*	*
G-B	—	—	—	—	*	*	*	**	*	**
P-B	—	—	—	—	—	*	—	*	—	*
Masticatory width										
K-G	—	—	—	—	—	*	*	—	*	*
K-P	—	*	—	*	*	*	**	**	**	**
K-B	—	*	—	*	**	**	**	**	**	**
G-P	—	—	—	—	—	*	*	—	*	*
G-B	—	—	—	—	—	*	*	*	**	**
P-B	—	—	—	—	—	—	*	—	*	*
Cycle time										
K-G	—	—	—	—	—	—	*	*	—	*
K-P	—	—	*	—	*	*	**	**	*	**
K-B	—	—	*	—	*	*	**	**	**	**
G-P	—	—	—	—	—	—	—	*	—	*
G-B	—	—	—	—	—	*	*	*	**	*
P-B	—	—	—	—	—	—	*	—	*	*
Cumulative value of masseter muscular activity										
K-G	—	—	—	—	—	—	—	*	*	**
K-P	*	*	*	**	*	**	**	**	**	**
K-B	*	**	**	**	**	**	**	**	**	**
G-P	—	—	—	—	—	—	—	*	*	*
G-B	—	—	—	—	*	**	**	**	**	**
P-B	—	—	—	—	—	*	*	*	—	*

— : not significant, * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$

ターン (パターン I) と中心咬合位から非作業側へ向って開口後、作業側へ向い、その後中心咬合位へ閉口するが、中心咬合位付近の閉口路が convex を呈するパターン (パターン III) との 2 種類であることを明らかにしている。また、これらの代表的なパターン I とパターン III について、下顎運動を分析した小林²¹⁾、咀嚼筋筋活動を分析した中島²²⁾は、両パターン間に

機能的差異が認められたと報告し、パターン I のほうがパターン III よりも安定した咀嚼運動を営むことを示唆している。さらに、正常者の運動経路と運動リズムの安定性について、種々なパターン間で比較した横山²³⁾は、パターンと運動の安定性との間には密接な関係があり、パターン I が最も安定することを明らかにしている。これらの報告に基づき、本研究では正常者

の咀嚼運動における代表的なパターンであるパターン I を呈し、なおかつこのパターンがカマボコ、チューインガム、ピーナッツ、ビーフジャーキー咀嚼時でも認められる被験者を選択した。

ヒトには主咀嚼側と非主咀嚼側とがあり²⁴⁾、また咀嚼時の運動経路、運動リズム、咀嚼筋活動は、いずれも主咀嚼側咀嚼時のほうが非主咀嚼側咀嚼時よりも安定し、両咀嚼側間に機能的差異のあることが明らかにされている^{25,26)}。これを考慮し、本研究の記録時の咀嚼側は、主咀嚼側を対象にした。咀嚼運動の定量的指標として、咀嚼開始後の咀嚼運動の変化を調べた Schindler ら¹⁶⁾は、垂直的運動量、側方的運動量、持続時間、筋活動量、硬さの異なるチューインガム咀嚼時の咀嚼運動を比較した Plesh ら²⁷⁾は、開口量と筋活動量、食品の大きさと硬さが咀嚼運動に及ぼす影響を咀嚼開始後の各サイクルについて調べたダエット¹⁵⁾は、開口量と筋活動量をそれぞれ用いている。これらの報告をもとに、本研究では、開口量、咀嚼幅、サイクルタイム、筋活動量を指標として用いた。

食品は咀嚼の進行に伴い軟らかくなり、小さくなるのが一般的に認識されており、その食品の性状の変化に応じて咀嚼運動も変化することが示唆されている^{28,29)}。咀嚼開始後の初期の咀嚼運動の変化について、正常者のパン咀嚼時の咀嚼開始から第 16 サイクルまでの開口量とサイクルタイムを調べた Jemt ら¹⁴⁾、また正常者の各種食品咀嚼時の咀嚼開始から第 11 サイクルまでの開口量、咬筋筋活動の積分値を調べた Schindler ら¹⁶⁾は、開口量、サイクルタイム、咬筋筋活動の積分値がいずれも咀嚼の進行に伴い、徐々に減少する傾向を示したと報告している。本研究の結果では、開口量、咀嚼幅、サイクルタイム、咬筋筋活動の積分値はいずれも咀嚼開始後の第 1 サイクルで最も大きく、以下第 4 サイクルから第 7 サイクルにかけてサイクル順に小さくなる傾向を示し、Jemt ら¹⁴⁾、Schindler ら¹⁶⁾の報告に一致する様相を示した。一方、本研究の結果では、各指標値は、チューインガム咀嚼時では第 3 サイクル以降、カマボコ咀嚼時とピーナッツ咀嚼時では第 4 サイクル以降、ビーフジャーキー咀嚼時では第 7 サイクル以降がそれぞれわずかな変動を伴うものの、ほぼ一定の推移を示した。もちろん、このようなことは Jemt ら¹⁴⁾も観察しており、サイクルタイムが第 4 あるいは第 5 サイクルまでに著明

に短縮したが、それ以降の 12 サイクルまで一定の値を示し、さらに 12 サイクル以降で短縮する傾向がみられたと報告している。同様なことは Schindler ら¹⁶⁾も報告しており、ワインガム咀嚼時のみであるが、各指標値が第 8 サイクルまで順次減少したが、それ以降で変化しなかったという。したがって、咀嚼運動は咀嚼開始後の第 1 サイクルで最も大きく、その後数サイクルの間で順次小さくなるが、その後ほぼ一定の状態を維持するものと考えてよいだろう。なお、開口量、咀嚼幅、サイクルタイム、咬筋筋活動の積分値の結果は第 1 サイクルからの数サイクルで大きな変動を伴っていたが、これは咀嚼の進行に伴い食品が軟かく、小さくなっていくものの、その性状の変化に咀嚼運動が逐次対応していないことを示すものである。これらのことからすると、咀嚼開始後の数サイクルは咀嚼する食品に応じた運動量や筋活動量を決定するための区間と考えられ、したがって、食品の性状によって決定する区間が異なり、軟化したチューインガムが最も短く、カマボコ、ピーナッツがそれよりも長く、比較的咀嚼しづらいビーフジャーキーが最も長かったのではないかと考えられる。この考えは、その区間が咀嚼にくい食品 (tough food) のワインガムで第 8 サイクルまでかかることから十分妥当性があるものといえよう。もちろん、咀嚼する食品に応じた運動量や筋活動量の決定に末梢からのフィードバック情報が用いられたものと推察できる。

各種食品咀嚼時の運動量や筋活動量が食品の硬度が増すに従って大きくなることは、比較的多く報告されている^{20,22,27,30,31)}。正常者の各種食品咀嚼時の咀嚼開始後の第 5 サイクルからの 10 サイクルについて、開口量と咀嚼幅を調べた芳賀ら²⁰⁾、同様に咬筋筋活動の積分値を調べた中島ら²²⁾は、カマボコ、チューインガム、ピーナッツ、ビーフジャーキーの順に大きくなる傾向を示し、食品間に有意差が認められたと報告し、食品の硬度がカマボコ、チューインガム、ピーナッツ、ビーフジャーキーの順に増すことから、硬い食品では強い咀嚼力が必要とされるために、運動量と筋活動が大きくなったのではないかと考察している。本研究の結果では、咀嚼開始後の第 5 サイクル以降で食品間のほとんどに有意差が認められたが、逆に咀嚼開始後の第 1 サイクルから第 4 サイクルまでの初期で食品間のほとんどに有意差が認められなかった。これは、

咀嚼開始後の数サイクルでは、個々の咀嚼運動自体の変動が大きいため、食品間の明瞭な差異を生じるまでに至らず、また咀嚼開始後の数サイクル以降では、食品の性状に応じた咀嚼運動がスムーズに遂行できることによるものと推察される。

なお、咀嚼開始後の数サイクル以降でも、食品間に有意差が認められなかった組合せが若干みられたことは、2つの理由によるものと推察される。1つは、末梢からのフィードバック調節によって咀嚼運動にわずかな変動を生じたことがあげられよう。この変動について、正常者の咀嚼運動経路を視覚的に観察した Ahlgren³²⁾ は、規則的で調和がとれているが、連続したサイクルのパターンが絶えず変化し、各個のサイクルが完全に一致することはなかったと報告し、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フィードバック情報に変動があるためであると説明している。このことに関し、正常者の軟化後のチューインガム咀嚼時の運動経路を調べた志賀²⁾ は、運動が最も安定する咀嚼開始後の第5サイクルからの10サイクルにおいてもわずかな変動が存在することを確認している。もう1つは、軟化したチューインガムが最も安定した咀嚼運動を呈する³³⁾ことからすると、カマボコ、ピーナッツ、ビーフジャーキー咀嚼時のほうがチューインガム咀嚼時よりも大きな変動を伴うことが予想されるが、本研究では、1サイクルごとに食品間の比較を行ったため、末梢のフィードバック情報の変化によるわずかな変動が影響し、統計的な有意差を示さない場合が生じたことがあげられよう。この問題については、今後サイクル間の変動を考慮し、数サイクルの平均で食品間の比較をする必要があるかもしれない。

V. 結 論

各種食品咀嚼時における末梢からのフィードバック調節を明らかにするため、咀嚼開始後の10サイクルにおける下顎切歯点の運動経路、運動リズム、咬筋筋活動量を分析した。その結果、咀嚼開始後の数サイクルでは、食品の性状に応じた運動量や筋活動量を決定するために末梢からのフィードバック情報によるダイナミックな調節が行われるため、咀嚼運動が大きく変動し、それらの量が決定された後では末梢からの

フィードバック情報の変化により、わずかな変動を伴いながら食品の性状に応じた咀嚼運動が営まれることが示唆された。

稿を終るに臨み、ご協力いただいた日本歯科大学歯学部歯科補綴学教室第1講座の横山正起助手と上田奈穂子大学院生に感謝します。

なお、本論文の要旨は、第47回 JADR 学術大会(1999年11月27日、神戸)において発表した。

文 献

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) 新井一仁, 石川晴夫. 骨格性反対咬合者の咀嚼運動経路. 日矯歯誌 53: 154-168, 1994.
- 4) Pröschel P, 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.
- 5) 仁科隆実. 咀嚼運動形式の EMG 的特徴について. 歯科医学 42: 1-27, 1979.
- 6) 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検食品の適量について. 歯科医学 48: 242-257, 1985.
- 7) 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: 135-178, 1983.
- 8) 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.
- 9) 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.
- 10) 住吉圭太, 小川隆広, 古谷野 潔ほか. 正常者の咀嚼運動経路に関する研究. 補綴誌 39: 535-541, 1995.
- 11) 佐々木啓真, 藤田幸弘, 戸田一雄ほか. ヒト顎口腔機能に關与する口唇感覚—口唇表面麻酔による咀嚼時の下顎運動の変化—. 顎機能誌 2: 83-90, 1996.
- 12) 宇野光乗. 咬みしめによる筋疲労が調音および咀嚼運動に及ぼす影響. 補綴誌 42: 471-483, 1998.
- 13) 野首孝祠, 吉田 実. 咀嚼運動と筋電図. 石岡 靖, 小林義典, 長谷川成男ほか編, 顎口腔機能分析の基礎とその応用—ME 機器をいかに臨床に活かすか— 160-165, 東京: デンタルダイヤモンド社, 1991.
- 14) Jemt T, Karlsson S, Hedegård B. Mandibular movements of young adults recorded by intraorally placed light-emitting diodes. J Prosthet Dent 42: 669-673, 1979.
- 15) ダエット デメトリオ G. 食品の大きさと硬さが開口量

- ならびに咀嚼筋活動量に及ぼす影響. 補綴誌 40: 489-500, 1996.
- 16) Schindler HJ, Stengel E, Spiess WEL. Feedback control during mastication of solid food textures—a clinical-experimental study. J Prosthet Dent 80: 330-336, 1998.
- 17) 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.
- 18) 志賀 博, 田中 彰, 林 仁美ほか. 各種食品咀嚼時の下顎運動と咀嚼筋活動. 顎機能 11: 31-38, 1993.
- 19) 田中 豊, 垂水共之. 2.2 因子要因実験 パソコン統計解析ハンドブック, III. 実験計画法編 42-55, 東京: 共立出版, 1986.
- 20) 芳賀景嗣, 志賀 博, 小林義典. 咀嚼運動の機能的分析—正常者における各種食品咀嚼時の経路のパターン—. 補綴誌 35: 907-918, 1991.
- 21) 小林義典. 機能運動と咬合. 石岡 靖, 小林義典, 長谷川成男ほか編, 顎口腔機能分析の基礎とその応用—ME 機器をいかに臨床に活かすか— 98-107, 東京: デンタルダイヤモンド社, 1991.
- 22) 中島邦久, 志賀 博, 小林義典. 咀嚼運動経路のパターンの違いからみた各種食品咀嚼時の咀嚼筋活動. 補綴誌 37: 1246-1258, 1993.
- 23) 横山正起, 志賀 博, 小林義典. 咀嚼運動の機能的分析—下顎切歯点の運動経路のパターンと運動の安定性との関係—. 補綴誌 42: 790-802, 1998.
- 24) 長谷川成男. ヒトの咀嚼運動. 東京医科歯科大学歯学部 顎口腔総合研究施設編, 咀嚼の話 163-207, 東京: 日本歯科評論社, 1983.
- 25) 仁村秀由喜, 小林義典. 咀嚼運動における主咀嚼側咀嚼時と非主咀嚼側咀嚼時との差異. 補綴誌 34: 1127-1139, 1990.
- 26) 志賀 博, 小林義典, 村上義和ほか. EMG の咀嚼リズムにおける主咀嚼側咀嚼時と非主咀嚼側咀嚼時との差異. 歯学 80: 439-446, 1992.
- 27) Plesh O, Bishop B, McCall W. Effect of gum hardness on chewing pattern. Exp Neurol 92: 502-512, 1986.
- 28) Gibbs CH, Messerman T, Reswick JB et al. Functional movements of the mandible. J Prosthet Dent 26: 604-620, 1971.
- 29) Luschei ES, Goodwin GM. Patterns of mandibular movement and jaw muscle activity during mastication in the monkey. J Neurophysiol 37: 954-966, 1974.
- 30) 堀尾 強, 河村洋二郎. 咀嚼運動に及ぼす食品テクスチャーの影響. 歯基礎誌 30: 481-488, 1988.
- 31) 有住和浩. 食品の硬さが咀嚼運動に及ぼす影響に関する実験的研究. 補綴誌 33: 1301-1312, 1989.
- 32) Ahlgren J. Masticatory movements in man. In: Anderson DJ, Matthews B, editors, Mastication 119-130, Wright: London, 1976.
- 33) 千綿一郎, 志賀 博, 小林義典. 咀嚼運動の機能的分析—安定性の評価のための被験食品の検索—. 補綴誌 42: 857-866, 1998.

著者連絡先: 小林 義典

〒102-8158 東京都千代田区富士見 2-3-16

TEL: 03-3261-5729

FAX: 03-3261-8464

E-mail: y-kobaya@tokyo.ndu.ac.jp

Peripheral Feedback Adjustment in Chewing Various Types of Food

Jin Inaba, Hiroshi Shiga and Yoshinori Kobayashi

Department of Partial and Complete Denture, The Nippon Dental University, School of Dentistry at Tokyo
(Chief : Prof. Yoshinori Kobayashi)

J Jpn Prosthodont Soc 45 : 271-282, 2001

ABSTRACT

Purpose : To clarify the peripheral feedback mechanism of chewing various types of food, we analyzed the movement of the mandibular incisal point and the masseter muscular activity for the initial few cycles of mastication.

Method : Ten healthy subjects were asked to chew boiled fish paste, chewing gum, peanuts, and beef jerky, on their habitual chewing side, and for the first ten cycles of chewing, the gape, masticatory width, cycle time, and cumulative value of masseter muscular activities were compared among subjects, cycles, and the tested foods.

Results : Indicators were all largest at the first cycle, and thereafter decreased in the order of cycles. Though there were large variations among subjects and among cycles, the variations became small after the third cycle for chewing gum, after the fourth cycle for fish paste and peanuts, and after the seventh cycle for beef jerky. Comparing cycles, a significant difference was found between the first cycle and all the other cycles for indicators. Comparing the foods tested, no significant difference was found between any two foods up to the fourth cycle, and after the fifth cycle, significant differences were found between almost any two foods.

Conclusion : For the initial few cycles of mastication, in order to determine the amount of movement and muscular activity needed for the food, the masticatory movement changed with large variation. But once the amount has been determined, masticatory movement adapted to the texture of food takes place accompanied by minute changes.

Key words

masticatory movement, masticatory path, masticatory rhythm, masseter muscular activity, peripheral feedback adjustment