人工歯の咬合様式が咀嚼機能に及ぼす影響

城 戸 寛 史

九州歯科大学歯科補綴学第1講座 (指導: 豊田静夫 教授)

平成2年5月1日受理

Effect of Occlusal System of Artificial Teeth on Masticatory Function

Hirofumi Kido

First Department of Prosthetic Dentistry (Director: Prof. Shizuo Toyoda)

Kyushu Dental College, Kitakyushu, Japan

Various types of artificial teeth have been developed for the purpose of recovering masticatory ability in complete dentures. For denture wearers, it is very important for artificial teeth to have a high level of masticatory performance and also for the artificial teeth to harmonize with the denture wearers' masticatory function. The purpose of this study was to examine the effects of various artificial teeth and occlusion on masticatory function.

First, experimental dentures were made which could accommodate four types of artificial molars. These types of occlusion examined were full balanced occlusion (F. B.), lingualized occlusion (L. O.), non-balanced occlusion (0°) and modified 0° degree teeth with a metal cone at first molar to establish balanced occlusion (M. 0°). Next, masticatory performance of five subjects wearing these dentures was examined using artificial test food made of carnauba wax. Also, chewing rhythm and terminal masticatory area were examined during mastication of six kinds of food (boiled carrot, roast beef, fish cake, rice dumpling, sponge cake, and almond).

The results were as follows:

- 1) Characteristics of physical properties of the artificial test food were similar to almond with texturometer.
- 2) Average masticatory performance in wearing the experimental dentures was 1.68 ± 0.77 kg · cm / g (min. 0.88 kg · cm / g, max. 4.01 kg · cm / g).
- 3) Masticatory performance of 0° type was higher than those of F. B. and L. O. types. M. 0° type was on a similar level with 0° type.
- 4) Chewing rhythm with 0° type showed irregularity as compared to F. B. or L. O. types, and M. 0° type was on a similar level with F. B. and L. Otypes.
- 5) Terminal masticatory area with M. 0° type was smaller than other types with the exception of fish cake. Especially on chewing roast beef which has high cohesiveness, statistics showed the M. 0° type's terminal masticatory area to be significantly smaller.
- 6) In Comparison of masticatory performance and terminal masticatory area, the subjects with high masticatory performance showed a small terminal masticatory area. On the other

hand, the subjects with low masticatory performance showed a large terminal masticatory area.

Key words : Complete denture / Artificial teeth / Masticatory performance / Chewing rhythm

緒 言

総義歯による機能回復を行うために種々の大きさ、形態、材質の人工歯が開発されている¹⁻⁶⁾。人工歯の種類は咀嚼、発音、顎堤の吸収、義歯の維持安定などに影響を及ぼす因子であるため、人工歯の種類とこれらの事柄との関わりについて多くの研究が行われてきた。特に咀嚼機能の回復は総義歯補綴の主な目的であるので、人工歯の相違が咀嚼機能に及ぼす影響を調べる目的で、筋電図、咬合力および咀嚼能率などの多方面から検討され、かなり詳細に報告されている⁷⁻¹⁵⁾。しかし、咀嚼能率に関する研究において、測定に使用した試験食品の性状を客観的に明記した研究は少ない。また、咀嚼能力と咀嚼運動リズムおよび咀嚼終末域を同時に検討した研究はない。

そこで本研究では人工臼歯の咬合様式の相違が義歯装着者の咀嚼機能にどのような影響を及ぼすかを調べるために、4種の臼歯部人工歯が交換可能な義歯を作製し、あらかじめ性状を測定した人工試料を用いて咀嚼能力を測定した。さらに、6種の食品を咀嚼させたときの咀嚼運動経路を記録し、咀嚼リズム、咀嚼終末域を測定した。これらの結果を検討したところいささかの知見を得たので報告する。

予備実験 (研究方法および結果)

本研究の目的は、異なる4種の咬合様式を付与した義歯について、人工試料を用いて咀嚼能力を検討し、さらに、実際に食品を咀嚼させたときの顎運動の相違を比較することである。そこで、まず予備実験として、人工試料の性状、咀嚼運動の比較実験に用いる食品の性状、および咀嚼運動記録に使用する記録装置の特性について検討した。

I. 人工試料および食品の性状

咀嚼能力の測定には佐藤 (1958)¹⁶⁾ が開発した人工試料を用いることにした。この人工試料は、カルナウバ・ワックス 50%、硫酸バリウム 50% から成り、直径 5.0 mm、厚さ 3.0 mm の円柱状タブレットに成形されたものである。

咀嚼運動路の比較に使用する食品は、ゆでた人参、焼肉、かまぼこ、くしだんご、カステラ、アーモンドの6種とした。これらは、硬さ、弾力性、凝集性、弾力性、付着性により食品を分類した柳沢ら (1985)¹⁷⁾ の報告を参考にして選択した。

人工試料を用いて測定した咀嚼能力と実際に食品を咀嚼させたときの咀嚼運動路とを比較検討するためには、人工試料がどの食品と類似しているかをあらかじめ調べる必要がある。そこでテクスチュロメータ GTX-2 (全研 KK 社製) (図1) を用いて人工試料および各食品の性状について検討した。

図1 テクスチュロメータ

A : プランジャ

B : 試料台

C : ペンレコーダ

テクスチュロメータは、2回の単純化した咀嚼運動で試料を破壊し、そのときの応力を測定することによって食品の硬さ、弾力性、凝集性、付着性を定量する装置である (図2)。

まず、人工試料および食品を規定の大きさに切断し、テクスチュロメータの試料台上に置いた。次に、1回咀嚼 / 10秒のスピードで直径 13 mm のプランジャーを下ろし、試料を破碎して、そのときの波形を付属のペンレコーダで記録した。

その測定結果を図3に示した。人工試料は硬さのみが大きかった。ゆでた人参は付着性がなく、硬さ、弾力性、凝集性が小さく、焼肉は、硬さ、弾力性、凝集性が

図2 テクスチュロメータの記録波形と測定項目

図3 テクスチュロメータによる各食品の典型的波形

大きかった。かまぼこは、テクスチュロメータによる1回目の咀嚼で完全に切断されるためA2が現れないことが特徴であり、硬さ、弾力性が大きかった。くしだんごは、付着性があり、硬さは小さく、弾力性、凝集性は大きかった。カステラは、硬さは小さいが弾力性、凝集性が大きく、アーモンドは、硬さのみが大きかった。

以上の測定結果より、人工試料はアーモンドに類似した性状であることがわかった。

II. 咀嚼運動の記録装置の特性

A. 自作プログラムにおける変換式の精度

本研究の目的の1つは、実際に食品を咀嚼させたときの咀嚼開始から嚥下までの咀嚼運動を記録し、咀嚼リズム、咀嚼終末点のばらつきを調べることである。このためには、下顎に付着した小型のマグネットの動きをセン

サーでとらえるマンディブラ・キネジオグラフ(K-6 DIAGNOSTIC SYSTEM マイオトロニクス社製、以後MKGと略す)が使用できると考えた。しかしながらMKGは、連続して20秒程度の記録しかできないため、本実験に必要な比較的長時間の記録は不可能である。そこでデータをMKGより電圧の信号として取り出し、デジタル・レコーダを用いてサンプリング・レート100 HzでA/D変換を行い、フロッピー・ディスクに記録することにした。これにより咀嚼運動を長時間にわたって記録することが可能になった。フロッピー・ディスクに記録されたデータを解析するために自作のプログラムを開発した。このプログラムには前後方向、左右方向の電圧のデータを距離に変換するため次の式を組み込んだ。

$$\text{前後方向距離}(\text{mm}) = \text{電圧}(\text{mV}) / 100$$

$$\text{左右方向距離}(\text{mm}) = \text{電圧}(\text{mV}) / 200$$

そこで、この式から得られる電圧とマグネットの移動によって変化する電圧の誤差を調べるために次の実験を行った。

まず、3次元読取顕微鏡の微動部に長さ50 cmの亚克力棒を装着し、その先端にMKGのマグネットを付着した。センサー・アレイとマグネットの位置関係を使用説明に準じて決定し、センサー・アレイを亚克力製の固定台に固定した。基点を自動調整機能によりディスプレイの中央に設定した後、マグネットを前後方向、左右方向へ0.2 mm間隔で最大3 mmまで移動させ、このときの電圧の変化をMKGに接続した電圧計で読み取った。この電圧から算出した距離とマグネットの移動距離との関係から、誤差率 $\{(\text{出力電圧より算出した距離} - \text{マグネットの移動距離}) / \text{マグネットの移動距離}\}$ を求めたところ最大誤差率は、前後方向では4.0%、左右方向では6.3%であり、本研究に十分な精度であることがわかった。

B. MKGの分解能

咀嚼終末点を検討する場合には、終末点をできるだけ細かく分離できることが望ましい。そこで本装置の分解能を調べるために、前述の方法に準じてマグネットを0.05 mm間隔で移動させ、移動距離と電圧の関係を調べたところ、この間隔では測定点は十分に分解でき、しかも良好な直線性が得られることがわかった。したがって、MKGは本研究に十分な分解能があると判断した。

研究方法

I. 被験者

被験者は、九州歯科大学附属病院に義歯作製を希望して来院した患者のうち、1) 顎関節、粘膜に異常がない、2) 上顎は無歯顎、下顎は2～3歯残存でOPAアタッチメントを用いたオーバーデンチャーが適応できる、3) 義歯の予後が良好である、4) 上下顎の対向関係が正常である、5) 実験に協力的である、の条件を満たす男性2名、女性3名の計5名とした。各被験者の年齢、残存歯を表1に示す。

II. 実験用義歯の作製法および構造

A. 実験用義歯床の作製

臼歯部人工歯のみが交換可能な実験用義歯を次の方法で作製した。

まず、上顎は総義歯、下顎はOPAアタッチメントを用いたオーバーデンチャーを被験者に装着した。被験者がこれらの義歯に十分慣れ、義歯が正常に機能していることを確認したのち、西浦ら(1979)¹⁸⁾の方法に準じて複製義歯を作製した。この複製義歯を通法にしたがって咬合器に付着し、床の厚さを約1mmだけ残して臼歯部を削除した。削除部に適合する厚さ約0.5mmの金属プレートを金銀パラジウム合金で作製して、削除部に接着し、義歯体部を完成した。金属プレート上に即時重合レジンで臼歯部人工歯を排列して人工臼歯部を作製し、実験用義歯を完成した。義歯体部と人工臼歯部は分割可能であり、両者を貫通するネジ穴が与えてあるのでスクリューによって固定できる(図4)。

B. 人工臼歯部に付与した咬合様式

使用した人工歯および咬合様式は以下の4種である。

1) 上下顎にクロスマー20(ニッシン社製)を用い、坪根ら(1984)¹⁹⁾の方法に準じてフルバランスド・オクルージョンを与えたもの。以下これをF.B.とする。

2) 上顎にリブデントFB-30(G-C社製)、下顎にクロスマー20を用い、Pound(1971, 1973)^{20,21)}の方

図4 実験用義歯

法を参考にしてリングライズド・オクルージョンを与えたもの。以下これをL.O.とする。

3) 上下顎にゼロ臼歯(松風社製)を排列し、バランシング・ランプは付与しなかったもの。以下これを0°とする。

4) 上下顎にゼロ臼歯(松風社製)を排列し、この上顎第一大臼歯の近心舌側咬頭部に20°の傾斜をもつ金属製機能突起を与え、下顎第一大臼歯のそれに適合する部にレジン製の窩を与えたもの。以下これをM.O.とする。

この実験用義歯を、1カ月間被験者に使用させた。この間、必要に応じて調整を加え、実験用義歯が不都合なく機能することを確認した後、臼歯部人工歯を交換し、1週間後に来院させ、咀嚼能力試験、咀嚼運動記録を行った。咀嚼運動記録に使用した食品の順序はアランダムとした。実験終了後、臼歯部人工歯を他のタイプの咬合様式に交換して1週間使用させ、同様の実験を行った。これを繰り返して、1人の被験者に対して4種の咬合様式の義歯を使用した場合の咀嚼能力試験、咀嚼運動記録を行った。

III. 咀嚼能力について

A. 測定方法

咀嚼能力の測定には佐藤(1958)¹⁶⁾が開発した人工試

表1 被験者の性別、年齢、残存歯

	性別	年齢	残 存 歯	
被 験 者 A	♀	56	3	3
被 験 者 B	♂	56	3	2 3
被 験 者 C	♀	52	4 3	3
被 験 者 D	♀	58	3	3 4
被 験 者 E	♂	67	3	2

・: OPAアタッチメント適応歯

表2 粉碎された人工試料の篩上重量%

	咬合様式	8 mesh	14 mesh	28 mesh	48 mesh	100 mesh
被験者 A	F.B.	96.02	97.61	98.02	98.40	98.47
	L.O.	98.74	99.30	99.34	99.36	99.38
	0°	89.40	94.24	95.88	96.36	96.58
	M.0°	92.55	96.14	97.42	98.05	98.17
被験者 B	F.B.	85.88	95.19	97.38	98.39	98.73
	L.O.	83.90	93.00	96.45	98.10	98.75
	0°	59.69	83.26	92.04	96.08	97.92
	M.0°	70.60	86.41	93.89	96.57	98.13
被験者 C	F.B.	91.58	97.19	98.42	98.91	98.97
	L.O.	95.78	98.28	99.09	99.35	99.39
	0°	84.50	94.42	96.52	97.24	97.64
	M.0°	90.62	95.00	97.17	98.19	98.45
被験者 D	F.B.	96.67	98.63	99.17	99.39	99.47
	L.O.	92.84	97.62	98.84	99.26	99.30
	0°	93.98	97.55	98.75	99.25	99.33
	M.0°	89.44	95.31	97.63	98.65	98.91
被験者 E	F.B.	98.13	98.77	99.01	99.24	99.32
	L.O.	98.53	99.22	99.38	99.48	99.50
	0°	95.42	97.39	98.25	98.85	99.00
	M.0°	93.00	97.00	98.03	98.41	98.61

(%)

料を用いて、鱈見 (1984)²³⁾ の方法に従って咀嚼能力を測定した。すなわち、被験者の口腔内をよく清掃し、あらかじめ秤量した人工試料約 5 g (整数個) を 1 秒に 1 回のペースで 10 回咀嚼させた。咀嚼後の人工試料を回収し、8, 14, 28, 48, 100 mesh の順に重ねた Tyler の篩を用いて篩い分けを行い、乾燥後、各篩の粉碎試料を秤量した。

B. 検定方法

粉碎された人工試料の各篩毎の篩上重量%を表 2 に示した。それぞれの試料で 8, 14, 28, 48, 100 mesh の篩上重量%による粒度分布が Rosin-Rammlar の実験式を満足することを確認した後、8 mesh 篩上量を用いて咀嚼能力を求めた。咀嚼能力は、8 mesh 篩上量を太田 (1966)²³⁾ の式 $\{Y = -4.98 \times 10^{-4} X^2 - 0.130 \times 10^{-2} X + 5.86\}$ X : 8 mesh 篩上量 (重量%) Y : 咀嚼能力 (kg・cm/g) に代入し、エネルギーであらわした。

IV. 咀嚼運動の記録

A. 実験装置

本実験では咀嚼開始から嚥下までの比較的長時間の記録が必要であるので、データをデジタル・レコーダを用

いてフロッピー・ディスクに記録し、16 ビット・パーソナル・コンピュータ (NEC PC-9801 VM2) 上で自作のプログラムを用いて解析した。

B. 実験に用いた食品

実験に用いる食品は数種の異なる性状のものが望ましい。そこで、ゆでた人参、焼肉、かまぼこ、くしだんご、カステラ、アーモンドの 6 種の食品について咀嚼運動の記録を行った。1 度に咀嚼させる量は、アーモンドは 1 粒、他の食品は 1 辺が 1 cm の立方体を 3 個とした。

C. 記録方法

実験用義歯の下顎中切歯歯頸部に MKG のマグネットをバリケア (マイオトロニクス社製) を用いて付着した。実験用義歯を被験者の口腔内に装着し、通法に従い MKG のセンサー・アレイを装着、調整した。食品を舌上に置き、これを咬まないように指示して咬頭嵌合位をとらせ、咬頭嵌合位を数秒間記録した後、嚥下までの咀嚼運動を記録した。咀嚼側は習慣性咀嚼側とし、記録中は、被験者の頭部を木製の鞍頭台で可及的に固定した²⁴⁾。

D. 測定項目

1. 咀嚼リズムについて

咬合様式の違いが咀嚼リズムに与える影響を調べるために咀嚼周期の所要時間を測定した。まず、咬頭嵌合位に比較的近い位置において運動方向が上方から下方に変化する点で咀嚼運動記録を個々の咀嚼周期に分解した。全ての咀嚼周期のうち咀嚼開始直後と嚥下直前を除く最も安定した連続 10 回の咀嚼周期を選択して個々の咀嚼周期に要した時間を測定し、その平均値と標準偏差から変動係数を求めた。

2. 咀嚼終末域について

咀嚼終末域のばらつきの程度を調べるために、和久田 (1984)²⁵⁾ のタッピング・エリア測定法に準じて咀嚼終末域を求めた。すなわち、食品咀嚼時の咀嚼運動記録より、最も安定した連続 10 回の咀嚼周期を選択して、咀嚼終末域の水平面における座標を求めた。この座標の左右方向におけるばらつきの指標である標準偏差 a mm と前後方向におけるばらつきの指標である標準偏差 b mm をもとに、 $2a \times 2b$ mm² を求め、咀嚼終末域とした (図 5)。

図5 咀嚼終末域の模式図

結 果

I. 咀嚼能力について

5名の被験者の各咬合様式における咀嚼能力の結果を表3に示した。

1名を除いた全ての被験者においてF.B., L.O. よりも 0° , M. 0° の方が高い咀嚼能力であった。各咬合様式で5名の被験者の咀嚼能力の平均値を求めたところ、咀嚼能力が最も高かったのは 0° の 2.09 ± 1.02 kg・cm/g、ついでM. 0° の 1.92 ± 0.70 kg・cm/g、F.B.の 1.36 ± 0.42 kg・cm/g、L.O.の 1.33 ± 0.50 kg・cm/gの順であった。咬合様式間で平均値の差の検定を行ったところ、M. 0° はF.B., L.O.より有意に咀嚼能力が高かった。また、 0° は、F.B., L.O.より咀嚼能力が高い傾向があった。 0° とM. 0° の間には

有意差は認められなかった。

II. 咀嚼リズムについて

咀嚼リズムの規則性を比較するために10回の咀嚼周期の所要時間の平均値および標準偏差から変動係数を算出した。

ゆでた人参咀嚼時における咀嚼周期の所要時間の平均は 0.689 ± 0.092 secであった。変動係数の平均は、F.B. : 0.115 ± 0.032 , L.O. : 0.099 ± 0.031 , 0° : 0.154 ± 0.035 , M. 0° : 0.107 ± 0.045 であり、 0° の変

表3 咀嚼能力

	F.B.	L.O.	0°	M. 0°
被験者A	1.14	0.88	1.76	1.47
被験者B	2.08	2.25	4.01	3.29
被験者C	1.56	1.17	2.14	1.65
被験者D	1.08	1.45	1.34	1.76
被験者E	0.94	0.90	1.20	1.43
平均	1.36	1.33	2.09	1.92
S.D.	0.42	0.50	1.02	0.70

(kg・cm/g)

表4 咀嚼リズム (ゆでた人参)

		F.B.	L.O.	0°	M. 0°
被験者A	$\bar{X}$	0.620	0.660	0.640	0.590
	s.d.	0.058	0.054	0.113	0.053
	C.V.	0.094	0.082	0.177	0.090
被験者B	$\bar{X}$	0.670	0.600	0.630	0.590
	s.d.	0.103	0.061	0.094	0.084
	C.V.	0.154	0.102	0.149	0.142
被験者C	$\bar{X}$	0.590	0.630	0.680	0.710
	s.d.	0.063	0.060	0.129	0.081
	C.V.	0.107	0.095	0.190	0.114
被験者D	$\bar{X}$	0.870	0.590	0.870	0.800
	s.d.	0.129	0.092	0.144	0.127
	C.V.	0.148	0.156	0.166	0.159
被験者E	$\bar{X}$	0.710	0.780	0.830	0.710
	s.d.	0.050	0.048	0.075	0.022
	C.V.	0.070	0.062	0.090	0.031
	C.V.	0.115	0.099	0.154	0.107
	s.d.	0.032	0.031	0.035	0.045

— * — | — * —

* 危険率 5 % で有意

(sec)

表5 咀嚼リズム (焼肉)

		F.B.	L.O.	0°	M.0°
被験者A	$\bar{X}$	0.610	0.650	0.640	0.630
	s.d.	0.044	0.031	0.060	0.030
	C.V.	0.072	0.048	0.094	0.048
被験者B	$\bar{X}$	0.590	0.650	0.640	0.640
	s.d.	0.065	0.060	0.104	0.078
	C.V.	0.110	0.092	0.163	0.122
被験者C	$\bar{X}$	0.730	0.700	0.760	0.880
	s.d.	0.076	0.089	0.115	0.066
	C.V.	0.104	0.127	0.151	0.075
被験者D	$\bar{X}$	0.830	0.750	0.890	0.720
	s.d.	0.091	0.056	0.112	0.062
	C.V.	0.110	0.075	0.126	0.086
被験者E	$\bar{X}$	0.810	0.800	0.680	0.710
	s.d.	0.070	0.058	0.049	0.050
	C.V.	0.086	0.073	0.072	0.070
	C.V.	0.096	0.083	0.121	0.080
	s.d.	0.015	0.026	0.034	0.024

* 危険率 5 % で有意

(sec)

動係数は、L.O., M.0° より有意に大きかった。また、M.0° は F.B., L.O. とほぼ同程度の変動係数であった (表4)。

焼肉咀嚼時における咀嚼周期の所要時間の平均は 0.716 ± 0.087 sec であった。変動係数の平均は、F.B. : 0.096 ± 0.015 , L.O. : 0.083 ± 0.026 , 0° : 0.121 ± 0.034 , M.0° : 0.080 ± 0.024 であった。0° の変動係数は L.O., M.0° と比較して有意に大きく、M.0° は F.B., L.O. と同程度の変動係数であった (表5)。

かまぼこ咀嚼時における咀嚼周期の所要時間の平均は 0.667 ± 0.078 sec であった。変動係数の平均は、F.B. : 0.088 ± 0.027 , L.O. : 0.109 ± 0.037 , 0° : 0.125 ± 0.036 , M.0° : 0.073 ± 0.025 であった。0° の変動係数が最も大きく、M.0° の変動係数は L.O., 0° と比較して有意に小さかった (表6)。

くしだんご咀嚼時における咀嚼周期の所要時間の平均は 0.739 ± 0.095 sec であった。変動係数の平均は、F.B. : 0.108 ± 0.041 , L.O. : 0.125 ± 0.056 , 0° : 0.094 ± 0.024 , M.0° : 0.116 ± 0.045 であり、咬合様式間での差は認められなかった (表7)。

表6 咀嚼リズム (かまぼこ)

		F.B.	L.O.	0°	M.0°
被験者A	$\bar{X}$	0.630	0.590	0.580	0.590
	s.d.	0.024	0.056	0.047	0.030
	C.V.	0.038	0.095	0.081	0.051
被験者B	$\bar{X}$	0.570	0.580	0.620	0.620
	s.d.	0.063	0.086	0.099	0.069
	C.V.	0.111	0.148	0.160	0.111
被験者C	$\bar{X}$	0.620	0.610	0.760	0.690
	s.d.	0.064	0.042	0.096	0.040
	C.V.	0.103	0.069	0.126	0.058
被験者D	$\bar{X}$	0.690	0.620	0.810	0.720
	s.d.	0.057	0.098	0.138	0.068
	C.V.	0.083	0.158	0.170	0.094
被験者E	$\bar{X}$	0.760	0.820	0.750	0.700
	s.d.	0.081	0.061	0.066	0.035
	C.V.	0.107	0.074	0.088	0.050
	C.V.	0.088	0.109	0.125	0.073
	s.d.	0.027	0.037	0.036	0.025

* 危険率 5 % で有意

(sec)

表7 咀嚼リズム (くしだんご)

		F.B.	L.O.	0°	M.0°
被験者A	$\bar{X}$	0.780	0.720	0.730	0.670
	s.d.	0.050	0.050	0.058	0.069
	C.V.	0.064	0.069	0.079	0.103
被験者B	$\bar{X}$	0.580	0.600	0.600	0.620
	s.d.	0.075	0.040	0.056	0.085
	C.V.	0.129	0.067	0.093	0.137
被験者C	$\bar{X}$	0.710	0.750	0.740	0.770
	s.d.	0.057	0.093	0.067	0.144
	C.V.	0.080	0.124	0.191	0.187
被験者D	$\bar{X}$	0.870	0.810	0.940	0.910
	s.d.	0.154	0.177	0.131	0.094
	C.V.	0.177	0.219	0.139	0.103
被験者E	$\bar{X}$	0.760	0.770	0.730	0.710
	s.d.	0.067	0.112	0.050	0.035
	C.V.	0.088	0.145	0.068	0.049
	C.V.	0.108	0.125	0.094	0.116
	s.d.	0.041	0.056	0.024	0.045

(sec)

表8 咀嚼リズム (カステラ)

		F.B.	L.O.	0°	M.0°
被験者A	$\bar{X}$	0.700	0.670	0.730	0.680
	s.d.	0.062	0.053	0.073	0.084
	C.V.	0.089	0.079	0.100	0.124
被験者B	$\bar{X}$	0.610	0.620	0.610	0.630
	s.d.	0.114	0.045	0.056	0.126
	C.V.	0.187	0.073	0.092	0.200
被験者C	$\bar{X}$	0.590	0.810	0.830	0.790
	s.d.	0.060	0.128	0.125	0.138
	C.V.	0.102	0.158	0.151	0.175
被験者D	$\bar{X}$	0.940	0.660	0.740	0.800
	s.d.	0.072	0.063	0.091	0.095
	C.V.	0.077	0.095	0.123	0.119
被験者E	$\bar{X}$	0.780	0.790	0.740	0.730
	s.d.	0.059	0.060	0.035	0.037
	C.V.	0.076	0.076	0.047	0.051
	C.V.	0.106	0.096	0.103	0.134
	s.d.	0.042	0.032	0.034	0.052

(sec)

表9 咀嚼リズム (アーモンド)

		F.B.	L.O.	0°	M.0°
被験者A	$\bar{X}$	0.650	0.600	0.530	0.640
	s.d.	0.040	0.054	0.074	0.058
	C.V.	0.062	0.090	0.140	0.091
被験者B	$\bar{X}$	0.540	0.590	0.570	0.560
	s.d.	0.051	0.069	0.092	0.062
	C.V.	0.094	0.117	0.161	0.111
被験者C	$\bar{X}$	0.880	0.740	0.580	0.790
	s.d.	0.056	0.070	0.049	0.087
	C.V.	0.064	0.095	0.084	0.110
被験者D	$\bar{X}$	0.710	0.630	0.670	0.720
	s.d.	0.073	0.068	0.095	0.064
	C.V.	0.103	0.108	0.142	0.089
被験者E	$\bar{X}$	0.780	0.680	0.630	0.640
	s.d.	0.083	0.060	0.044	0.041
	C.V.	0.106	0.088	0.070	0.064
	C.V.	0.086	0.100	0.119	0.093
	s.d.	0.019	0.011	0.036	0.017

(sec)

表10 咀嚼終末域 (ゆでた人参)

	F.B.	L.O.	0°	M.0°
被験者A	0.43	0.27	0.83	0.33
被験者B	0.02	0.04	0.03	0.03
被験者C	0.03	0.07	0.18	0.15
被験者D	0.43	0.31	1.00	0.59
被験者E	0.25	0.68	0.17	0.21
$\bar{X}$	0.23	0.27	0.44	0.26
s.d.	0.18	0.23	0.39	0.19

(mm²)

表11 咀嚼終末域 (焼肉)

	F.B.	L.O.	0°	M.0°
被験者A	0.44	0.18	0.59	0.22
被験者B	0.07	0.04	0.03	0.08
被験者C	0.61	0.04	0.11	0.10
被験者D	0.50	0.38	1.11	0.30
被験者E	0.79	1.14	0.54	0.30
$\bar{X}$	0.48	0.36	0.48	0.20
s.d.	0.24	0.41	0.39	0.09

* 危険率5%で有意

(mm²)

カステラ咀嚼時における咀嚼周期の所要時間の平均は 0.723 ± 0.088 sec であった。変動係数の平均は, F. B. : 0.106 ± 0.042 , L. O. : 0.096 ± 0.032 , 0° : 0.103 ± 0.034 , M.0° : 0.134 ± 0.052 であり, 咬合様式間での差は認められなかった (表8)。

アーモンド咀嚼時における咀嚼周期の所要時間の平均は 0.657 ± 0.089 sec であった。変動係数の平均は, F. B. : 0.086 ± 0.019 , L. O. : 0.100 ± 0.011 , 0° : 0.119 ± 0.036 , M.0° : 0.093 ± 0.017 であった。0° の変動係数が最も大きい値であったが, 咬合様式間での有意差は認められなかった (表9)。

全食品を通じて M.0° の変動係数は0に比較して小さい傾向であり, F. B., L. O. とは有意差はなかった。

Ⅲ. 咀嚼終末域について

6種の食品を咀嚼させたときの咀嚼終末点のばらつきの程度を咀嚼終末域として算出した。

ゆでた人参咀嚼時の咀嚼終末域の平均は, F. B. : 0.23 ± 0.18 mm², L. O. : 0.27 ± 0.23 mm², 0° : 0.44 ± 0.39 mm², M.0° : 0.26 ± 0.19 mm² であり, 0° の平均咀嚼終末域が他の咬合様式より大きく, M.0° は

F. B., L. O. と同程度の咀嚼終末域であったが、統計的有意差はなかった (表 10).

焼肉咀嚼時では, F. B. : $0.48 \pm 0.24 \text{ mm}^2$, L. O. : $0.36 \pm 0.41 \text{ mm}^2$, 0° : $0.48 \pm 0.39 \text{ mm}^2$, M. 0° : $0.20 \pm 0.09 \text{ mm}^2$ であり, 0° は F. B., L. O. と同程度の平均咀嚼終末域であった. M. 0° の咀嚼終末域は L. O., 0° より小さい傾向であり, F. B. と比較して有意に小さかった (表 11).

かまぼこ咀嚼時では, F. B. : $0.10 \pm 0.06 \text{ mm}^2$, L. O. : $0.19 \pm 0.22 \text{ mm}^2$, 0° : $0.27 \pm 0.18 \text{ mm}^2$, M. 0° : $0.27 \pm 0.20 \text{ mm}^2$ であり, F. B. の平均咀嚼終末域は他の咬合様式より小さかったが統計的に有意ではなかった (表 12).

くしだんご咀嚼時では, F. B. : $0.31 \pm 0.22 \text{ mm}^2$, L. O. : $0.23 \pm 0.15 \text{ mm}^2$, 0° : $0.28 \pm 0.24 \text{ mm}^2$, M. 0° : $0.20 \pm 0.14 \text{ mm}^2$ であり, 咬合様式間で有意差は認められなかった (表 13).

カステラ咀嚼時では, F. B. : $0.11 \pm 0.09 \text{ mm}^2$, L. O. : $0.15 \pm 0.11 \text{ mm}^2$, 0° : $0.16 \pm 0.09 \text{ mm}^2$, M. 0° : $0.10 \pm 0.07 \text{ mm}^2$ であり, 他の食品と比較して全

ての咬合様式において咀嚼終末域は小さかった. また咬合様式間における有意差は認められなかった (表 14).

アーモンド咀嚼時では, F. B. : $0.51 \pm 0.32 \text{ mm}^2$, L. O. : $0.46 \pm 0.36 \text{ mm}^2$, 0° : $0.49 \pm 0.37 \text{ mm}^2$, M. 0° : $0.36 \pm 0.21 \text{ mm}^2$ であった. 0° の咀嚼終末域は F. B., L. O. と同程度であり, M. 0° の平均咀嚼終末域が他の咬合様式より小さかったが, 統計的に有意ではなかった (表 15).

IV. 咀嚼能力と咀嚼終末域の関係

予備実験においてアーモンドと人工試料は, よく類似した性状であることがわかった. そこで, 咀嚼能力の結果とアーモンド咀嚼時の咀嚼終末域の結果を比較した.

咀嚼能力の各被験者の平均値は, 被験者 A : $1.31 \pm 0.33 \text{ kg} \cdot \text{cm/g}$, 被験者 B : $2.91 \pm 0.79 \text{ kg} \cdot \text{cm/g}$, 被験者 C : $1.61 \pm 0.33 \text{ kg} \cdot \text{cm/g}$, 被験者 D : $1.41 \pm 0.24 \text{ kg} \cdot \text{cm/g}$, 被験者 E : $1.12 \pm 0.21 \text{ kg} \cdot \text{cm/g}$ であった.

アーモンド咀嚼時における咀嚼終末位域の各被験者の平均値は, 被験者 A : $0.44 \pm 0.13 \text{ mm}^2$, 被験者 B : $0.04 \pm 0.01 \text{ mm}^2$, 被験者 C : $0.27 \pm 0.11 \text{ mm}^2$, 被験者

表12 咀嚼終末域 (かまぼこ)

	F. B.	L. O.	0°	M. 0°
被験者 A	0.18	0.08	0.10	0.12
被験者 B	0.02	0.03	0.02	0.06
被験者 C	0.03	0.02	0.34	0.62
被験者 D	0.12	0.21	0.38	0.23
被験者 E	0.15	0.62	0.50	0.31
$\bar{X}$	0.10	0.19	0.27	0.27
s. d.	0.06	0.22	0.18	0.20

(mm²)

表14 咀嚼終末域 (カステラ)

	F. B.	L. O.	0°	M. 0°
被験者 A	0.19	0.22	0.26	0.23
被験者 B	0.02	0.01	0.03	0.09
被験者 C	0.01	0.04	0.19	0.03
被験者 D	0.23	0.16	0.23	0.11
被験者 E	0.09	0.30	0.10	0.03
$\bar{X}$	0.11	0.15	0.16	0.10
s. d.	0.09	0.11	0.09	0.07

(mm²)

表13 咀嚼終末域 (くしだんご)

	F. B.	L. O.	0°	M. 0°
被験者 A	0.52	0.30	0.72	0.38
被験者 B	0.04	0.02	0.02	0.10
被験者 C	0.04	0.14	0.13	0.06
被験者 D	0.55	0.45	0.25	0.36
被験者 E	0.38	0.24	0.29	0.08
$\bar{X}$	0.31	0.23	0.28	0.20
s. d.	0.22	0.15	0.24	0.14

(mm²)

表15 咀嚼終末域 (アーモンド)

	F. B.	L. O.	0°	M. 0°
被験者 A	0.53	0.51	0.48	0.22
被験者 B	0.02	0.05	0.04	0.05
被験者 C	0.41	0.16	0.17	0.35
被験者 D	1.03	0.52	0.65	0.57
被験者 E	0.54	1.07	1.09	0.60
$\bar{X}$	0.51	0.46	0.49	0.36
s. d.	0.32	0.36	0.37	0.21

(mm²)

図6 咀嚼能力と咀嚼終末域の関係

D: $0.69 \pm 0.20 \text{ mm}^2$, 被験者 E: $0.83 \pm 0.26 \text{ mm}^2$ であった。

これらの値を、横軸を咀嚼能力、縦軸を咀嚼終末域にとってプロットしたグラフを図6に示した。この結果より咀嚼能力の高いものは咀嚼終末域が小さく、咀嚼能力の低いものは咀嚼終末域が大きい傾向があることがわかった。

考 察

I. 研究方法

A. 人工試料および食品の性状について

咀嚼運動記録に用いる食品を柳沢ら (1985)¹⁷⁾ の報告を参考にして選出した。柳沢らは食品を性状によって客観的に分類するため、145 品種の食品をテクスチュロメータを用いて硬さ、弾力性、凝集性、付着性について測定し、その特徴によって基本型、I 型、II 型、付着型、スポンジ型、ゲル型の 6 種に分類している。本研究では各型に分類される食品の中から比較的均一な性状であり、入手が容易な食品として、ゆでた人参、焼肉、かまぼこ、くしだんご、カステラ、アーモンドを選び、テクスチュロメータを用いてその性状を測定した。その結果、これらの食品は柳沢らの報告とほぼ一致する性状であることが確認できた。

さらに咀嚼能力試験の結果と咀嚼運動記録の結果を比

較するために、咀嚼能力試験に用いる人工試料の性状をテクスチュロメータを用いて測定したところ硬さのみが大きい性状であり、アーモンドに類似していることがわかった。

B. 実験用義歯について

各種人工歯や咬合様式を変化させた場合の咀嚼機能への影響を検討するためには、数種の人工歯を排列した実験用義歯が必要である。この種の実験には、複数の義歯を作製する方法⁸⁾、複製義歯を作製して人工歯のみを変える方法²⁶⁾、義歯の床部分は共通にして人工歯部分を交換できるようにする方法^{10, 27)}がある。しかし、人工歯や咬合様式別に義歯床を作製すると義歯床基底面や床研磨面の形態、および咬合高径が変化する危険性がある。そこで、この危険性が最も少ない方法として臼歯部人工歯のみが交換できる実験用義歯を作製した。

本実験用義歯は、下顎義歯の動揺による MKG 記録の誤差を防ぐために OPA アタッチメントを用いた²⁸⁾。

C. 咀嚼能力について

咀嚼能力の評価は、一般的に篩分法が行われており、ピーナッツ、生米、にんじん、かまぼこなどを用いた方法が報告されている^{7, 8, 29)}。

これらの自然食品には吸水性があるため、実験前後の含水量や試料秤量の際の乾燥の程度などが影響して、測定値に誤差を生じる危険があり、操作も複雑である。そこで本研究では佐藤 (1958)¹⁶⁾ が開発した人工試料を用いた。この人工試料はカルナウバ・ワックスと硫酸バリウムから成り、吸水性のない均一な試料である。上田 (1959)³⁰⁾ は、この試料の人体咀嚼による粉碎粒子の分布が Rosin-Rammlar の実験式、 $y = e^{-bx^n}$ (y : 篩上量, x : 粒子径, e : 自然対数の底, b, n : 粉碎機構によってきまる恒数) に近似し、篩上%の 2 回対数を縦軸に、篩径の 1 回対数を横軸にとったグラフ上で直線分布を示すと述べている。さらに太田 (1966)²³⁾ は、その直線の傾斜である恒数 n がごく限られた範囲でしか変動しないことを実証したうえで、咀嚼による粉碎試料の 8 mesh 篩上量と粉碎に要した仕事量の関係を明らかにし、単一篩による咀嚼能力の表示を可能にした。本研究ではこの人工試料 5 g を被験者に咀嚼させ、8, 14, 28, 48, 100 mesh の 5 種の篩にかけて分離した。その粒度分布を前述のグラフ上にプロットしたところ、直線性は完全ではなかったが、同一被験者の 8 mesh 篩上量における咬合様式による篩上量の差は他の篩においてもほぼ同傾向であった。したがって 8 mesh 篩上量を太田の式に代入して求めた値を各義歯使用時の咀嚼能力とす

ることは妥当であると判断した。

D. 咀嚼運動記録について

1. 記録装置について

本研究では義歯の人工歯および咬合様式の変化が咀嚼運動に及ぼす影響を調べることが目的であるので咀嚼運動の記録はできるだけ生理的に自然な状態で行う必要がある。この目的に合致した非接触型の顎運動記録装置にはマグネットを利用する方法^{31, 32)}とLEDを用いる方法³³⁾があるが、LEDを用いる方法は3次元的な運動を同時に記録、再生するためには比較的大規模な装置を必要とするため、本研究では小型のマグネットの動きをセンサーでとらえるMKGを用いた。

MKGの精度については数多く報告されているが^{34, 35)}、そのほとんどがK-5型に関するものである。本研究に用いたK-6型はセンサー・アレイが大幅に改良されたためMKG特有のひずみが解消され、特に基点から離れた位置での精度が向上している³⁶⁾。

K-6型MKGの精度について調べたところ、前後方向で最大4.0%、左右方向で最大6.3%であった。また分解能は0.05 mmであり、本研究に十分な精度と分解能を有していると判断した。

2. 咀嚼リズムについて

咀嚼周期の所要時間を求めるためには、連続した咀嚼運動記録を1周期毎に分解しなければならない。その分解の基準として咀嚼運動記録中の顎位が最初に記録した咬頭嵌合位に戻る点で分解できることが望ましい。しかし、本研究の咀嚼運動記録では咀嚼中の顎位は必ずしもこの咬頭嵌合位に復位するとは限らないことが観察された。その原因として義歯の動揺、咬合面間の食品の介在が考えられる。そこで、咬頭嵌合位に比較的近い位置で運動方向が上方から下方に変化する点において咀嚼運動記録の分解を行った。咀嚼運動記録はデジタル・レコーダに内蔵されたA/Dコンバータによりサンプリング周期100 Hzで記録されているので、1つの咀嚼周期に含まれるデータ数をカウントすることによりその所要時間を測定した。したがって本装置の測定誤差は±10 msecであり、本研究に十分な精度であると判断した。

3. 咀嚼終末域について

咀嚼終末域を求めるためには咀嚼終末点の位置を測定しなければならない。そこで、まず咀嚼運動における咀嚼終末点をどの点にするかを決定した。咀嚼相についての研究はZsigmondy (1912)³⁷⁾の3相説、Gysi (1926)³⁸⁾の4相説が知られており、これらの説では咀嚼の各相が明確に分かれている。しかし、咀嚼運動は切れ目の

ない連続した運動であるので開始点と終末点を決定するのは困難である。本研究では咀嚼リズムに関する実験と同様に、咬頭嵌合位に比較的近い位置で運動方向が上方から下方へ変わる点を咀嚼終末点とした。この点はMurphy (1965)³⁹⁾の6相説におけるcentric occlusionからpreparatory phaseに移行する点に相当すると考えられた。

II. 実験結果

A. 咀嚼能力について

本研究で用いた人工歯は、有咬頭人工歯であるF. B., L. O. と無咬頭人工歯である0°, M. 0°に分類することができる。有咬頭人工歯と無咬頭人工歯、あるいは解剖学的人工歯と非解剖学的人工歯の咀嚼能力の優劣は、古くから研究の対象となり、人工歯の咀嚼能力に関する多くの論文が発表されている。Thompson (1937)⁴⁰⁾、Frechette (1955)⁴¹⁾、増田 (1974)¹⁵⁾らは、非解剖学的人工歯より解剖学的人工歯の方が咀嚼能率が優れていたと報告している。これに対してManlyら (1951)⁸⁾、津留 (1961)⁹⁾は、非解剖学的人工歯の方が咀嚼能率が優れていると報告している。また、Sobolik (1938)²⁶⁾、Bascom (1962)¹⁰⁾らは両者の咀嚼能率に有意差は認められないと述べている。ほとんどの研究で篩分法による咀嚼能力の評価を行っているにもかかわらず、研究者により結果が異なり、共通の見解は得られていない。その原因として、実験用義歯の構造の違い、試験食品の種類の違い、咀嚼能力の表示法の違いが挙げられる。特に、試験食品の性状は実験結果に大きく影響すると思われる。過去の研究における試験食品は日常の食品から選ばれたものが多いが、横田 (1954)⁴²⁾はピーナッツのように咀嚼回数が多くなるにつれて40～50%が油として析出してしまうものや生米のように水分により性状が脆弱化するものは咀嚼能力試験の試料として問題があると指摘している。このような日常食品に共通する欠点を解決するために佐藤 (1958)¹⁶⁾はカルナウバ・ワックスと硫酸バリウムから成る人工試料を開発した。鱒見 (1984)²²⁾はこの人工試料を用いて総義歯装着者の咀嚼能力を測定し、安定した再現性を実証している。これらの一連の研究から、この人工試料は咀嚼能力の測定用試料として優れた性状を有していると判断し、本研究に用いた。まず、この試験人工試料がどのような日常食品と類似した性状であるかを調べるために、テクスチュロメータを用いて数種の食品と比較を行ったところ、凝集性および弾力性は小さく、硬さのみが大きく、アーモンドに類似した性状であることがわかった。したがっ

てこの試験試料を用いて咀嚼能力を測定することにより、アーモンドのような硬さのみが大きい食品を咀嚼したときの咀嚼能力を推察できると考えられる。

本研究における義歯装着者の咀嚼能力は、最小 $0.88 \text{ kg} \cdot \text{cm/g}$ 、最大 $4.01 \text{ kg} \cdot \text{cm/g}$ 、平均 $1.68 \pm 0.77 \text{ kg} \cdot \text{cm/g}$ であった。中村 (1982)⁴³⁾ は同じ人工試料を用いて健常有歯顎者の咀嚼能力を測定し、平均 $4.5 \pm 0.6 \text{ kg} \cdot \text{cm/g}$ と報告しており、この値と本研究の値を比較すると健常有歯顎者に対する総義歯装着者の咀嚼能力の回復率は 37% であった。Manly ら (1951)⁷⁾、Yurkstas ら (1964)¹²⁾、増田 (1974)¹⁵⁾ は試験食品にピーナッツを用いて実験を行った結果、総義歯による咀嚼能力の回復率はそれぞれ 25, 12, 35% であったと報告している。また、石原 (1955)²⁹⁾ は生米を用いた実験で約 20% と報告している。これらの過去の研究は本研究と試験食品が異なるため直接比較することは困難であるが、本実験に用いた実験用義歯による咀嚼能力は増田の値に近似しており、かなり良好な回復であったと考えられる。

つぎに義歯の咀嚼能力を咬合様式間で比較すると、F. B., L. O. の有咬頭人工歯より 0° および 0° の咬合面に機能突起を与えて平衡咬合を可能にした M. 0° の方が咀嚼能力が高い傾向があった。本研究でこのような結果を得た要因の一つに試験試料の性状が挙げられる。すなわち、この人工試料は硬さのみが大きく、脆い性質であるため咬合面のフラットな人工歯による垂直的な力で容易に破壊できたためと思われる。この結果から全ての食品に関する人工歯の優劣を判定することは困難であるが、食品の性状によっては咬合面のフラットな人工歯が有効に咀嚼能力を発揮できることが示唆された。

B. 咀嚼リズムについて

正常有歯顎では、開口筋と閉口筋が協調して、一定のリズムで咀嚼運動が行われる。このような運動は歯根膜、顎関節や咀嚼筋の受容器によるフィード・バック機構によって調節されているといわれている⁴⁴⁾。総義歯装着者に関して、辻井 (1972)¹³⁾ が患者の機能に調和した義歯では咀嚼筋の活動がリズムカルになると報告しており、このことは歯根膜が失われた総義歯装着者でも顎関節や咀嚼筋の受容器が咀嚼リズムの安定性に寄与していることを示唆している。

そこで、咬合様式が咀嚼リズムの安定性に及ぼす影響について比較するため、咀嚼運動記録から咀嚼開始直後と嚥下直前を除く最も安定した 10 ストロークを選出し、咀嚼運動記録を各咀嚼周期に分解して個々の所要時間を

測定して、咀嚼周期の所要時間の平均と標準偏差から変動係数を求めた。

付着性の食品であり、弾力性、凝集性が大きいくしだんご、硬さは小さいが、弾力性、凝集性が大きい食品であるカステラ、硬さのみが大きい食品であるアーモンドの 3 種の試料では、咬合様式が咀嚼リズムに及ぼす影響はほとんど認められなかった。

ゆでた人参、焼肉およびかまぼこにおいては、F. B., L. O. に比較して、 0° の咀嚼リズムが不規則になる傾向があった。これらの咬合様式の相違は、F. B. および L. O. は有咬頭人工歯で平衡咬合が付与されているのに対し、 0° は無咬頭人工歯で平衡咬合が付与されていない点である。すなわち、これらの食品においては咬頭の有無と、平衡咬合か非平衡咬合かが咀嚼リズムに影響を及ぼす因子であることになる。

一般に、無咬頭人工歯で咬合平衡を与えるためには下顎臼歯後方にバランス・ランプが付与される。今回、上顎第一大臼歯近心部に機能突起を、またそれに対合する下顎第一大臼歯部に窩を形成して平衡咬合が可能となるよう改良した M. 0° についても検討した。その結果、M. 0° は 0° に比較して有意に咀嚼リズムが安定し、F. B. および L. O. に近似したものとなった。

0° 人工歯は、咬頭斜面がないので、機能時に側方圧を生じることがなく、義歯の安定に有利である反面、咬頭嵌合位が明確でないので、咀嚼リズムを不安定にする要因になることが指摘されている⁴⁵⁾。本研究においても、 0° 人工歯は咀嚼リズムを不安定にする可能性があることが明かになった。しかし、 0° 人工歯で平衡咬合を可能にした M. 0° では咀嚼リズムが改善されたことから、安定した咀嚼リズムを得るためには、平衡咬合を付与する必要があることがわかった。

C. 咀嚼終末域について

義歯の維持安定あるいは咀嚼能率の観点では、タッピング・ポイントや咀嚼終末位は 1 点に収束することが望ましいが、実際には、ある程度のばらつきを有している。そこで、本研究では、咀嚼終末位のばらつきの程度を客観的に比較するために咀嚼終末域を算出し、咬合様式間で比較を行った。

くしだんご、カステラおよびアーモンド咀嚼時には、咬合様式間で有意差は認められなかった。

ゆでた人参咀嚼時の平均咀嚼終末域は統計的有意差はなかったが、 0° が他の咬合様式より若干大きい値を示し、F. B., L. O., M. 0° はほぼ近似した値であった。ゆでた人参のようなほとんど咀嚼活動を必要としない食

品では、咀嚼終末域は義歯自体の安定性に左右される可能性がある。0°で咀嚼終末位のばらつきがやや大きかったのは咀嚼中に咬頭嵌合位へ顎位を規制する機能をもたないことが原因であると思われる。咬合面に機能突起を与えて両側性平衡咬合を可能にした M.0° は F.B., L.O. と同程度の咀嚼終末域であり、機能突起の有効性が示唆された。

焼肉は硬さ、弾力性、凝集性のすべてが大きいため、大きな咀嚼活動を必要とする食品であり、このタイプの食品を咀嚼するためには、広い側方運動域で滑走切断することが必要である。F.B., L.O., 0°においては同程度の比較的広い咀嚼終末域が観察された。F.B. および L.O. では、咬合の平衡が得られており、咬頭嵌合位から少し離れた位置まで側方運動しても義歯の安定が阻害される危険性は小さいであろう。しかし、0°では柳田 (1975)⁴⁵⁾ が無咬頭人工歯の欠点として挙げたように咀嚼終末域が広がった。このことは義歯の安定性や筋の協調性などの点で不利であると考えられる。

かまぼこはテクスチュロメータによる測定において、1回目の破壊で完全に切断されるので凝集性が定量できない食品であった。しかも弾力性が大きいため、このタイプの食品は義歯の切断能が不足すると咀嚼が困難な食品であると考えられる。かまぼこ咀嚼時には、F.B. の咀嚼終末域が他の咬合様式と比較して小さく、この種の食品に対する F.B. の有効性が示唆された。

咀嚼リズムと咀嚼終末域に関する結果を総括すると、くしだんご、カステラ、アーモンド咀嚼時には咬合様式が咀嚼リズムおよび咀嚼終末域に与える影響は小さかった。しかし、ゆでた人参、焼肉、かまぼこ咀嚼時には0°は咀嚼リズムが不安定になり、咀嚼終末域は大きい傾向があった。また、特に焼肉咀嚼時にいて平衡咬合を付与した F.B., L.O. の咀嚼終末域が0°と同程度に大きかったにもかかわらず咀嚼リズムは0°と比較して有意に安定していたことから平衡咬合の必要性が示唆された。

機能突起を付与した M.0° は0°と比較して咀嚼リズムは安定し、咀嚼終末域は小さいことから M.0° に付与した機能突起の有効性が示唆された。

D. 咀嚼能力と咀嚼終末域の関係について

人工試料と日常の食品の性状を比較するために、人工試料および数種の食品をテクスチュロメータを用いて測定したところ人工試料はアーモンドと類似した性状であることがわかった。そこで咀嚼能力と咀嚼終末域の関係を調べるために人工試料によって測定した咀嚼能力と

アーモンド咀嚼時の咀嚼終末域に関して被験者毎の平均を算出し、横軸を咀嚼能力 ($\text{kg} \cdot \text{cm/g}$)、縦軸を咀嚼終末域 (mm^2) にとったグラフにプロットした。その結果、咀嚼能力の高かった被験者では咀嚼終末域が小さく、咀嚼能力の低かった被験者では咀嚼終末域が大きかったことがわかった。また、咀嚼能力が中程度であったものは咀嚼終末域も中程度であり、咀嚼終末域の小さい被験者ほど咀嚼能力が高く、咀嚼終末域が大きい被験者ほど咀嚼能力が低い傾向があった ($r = -0.845$)。すなわち咀嚼終末域が小さい被験者では咀嚼終末位が一点に集中する傾向があり、そのため義歯が安定し、最大咬合接触面積で咬合できるため高い咀嚼能力を発揮できたものと考えられる。逆に咀嚼終末域が大きかった被験者では咀嚼終末位のばらつきが大きいため義歯が不安定になりやすく、咬合接触面積も小さくなるため咀嚼能力が低くなったものと考えられる。

結 論

人工歯の種類および咬合様式が咀嚼能力に及ぼす影響を調べる目的で、4種 (F.B., L.O., 0°, M.0°) の臼歯部人工歯が交換可能な実験用総義歯を作製し、5名の被験者について、人工試料を用いた咀嚼能力の測定、6種の食品 (ゆでた人参、焼肉、かまぼこ、くしだんご、カステラ、アーモンド) の咀嚼時における咀嚼リズムの所要時間および咀嚼終末域について検討した。その結果は以下のとおりである。

1. 実験用総義歯による咀嚼能力は、最小 $0.88 \text{ kg} \cdot \text{cm/g}$ 、最大 $4.01 \text{ kg} \cdot \text{cm/g}$ 、平均 $1.68 \pm 0.77 \text{ kg} \cdot \text{cm/g}$ であった。

2. 無咬頭人工歯である0°は有咬頭人工歯である F.B., L.O. より高い咀嚼能力を示した。0°の第一大臼歯に機能突起を与えて平衡咬合を可能にした M.0° は0°と同程度の咀嚼能力であった。

3. 咀嚼周期の所要時間のばらつきを変動係数によって比較したところ、0°は F.B., L.O. より咀嚼リズムが不安定になる傾向があった。また、M.0°は F.B., L.O. と同程度であり、0°より咀嚼リズムが安定する傾向があった。

4. 咀嚼終末位のばらつきの程度を咀嚼終末域によって比較したところ、かまぼこを除くすべての食品 (ゆでた人参、焼肉、くしだんご、カステラ、アーモンド) において M.0° の咀嚼終末域は他の咬合様式に比較して小さかった。特に、凝集性の大きい焼肉咀嚼時にいて、M.0° の咀嚼終末域は他の咬合様式より有意に小さ

かった。

5. 人工試料と食品の性状をテクスチュロメータで測定し比較したところ、人工試料はアーモンドと類似した性状であることがわかった。そこで人工試料で測定した咀嚼能力とアーモンド咀嚼時の咀嚼終末域を比較したところ、咀嚼能力が大であった被験者は、咀嚼終末域が小さく、咀嚼能力が小であった被験者は、咀嚼終末域が大きい傾向があった。

稿を終わるにあたり、終始御懇篤な御指導と御校閲を賜った恩師豊田静夫教授に対し、心から感謝の意を表するとともに、本研究に対して数多くの御教示をいただいた九州歯科大学坪根政治名誉教授、九州歯科大学生理学教室中原敏教授、九州歯科大学歯科補綴学第2講座内田康也教授に厚く御礼申し上げます。また、終始実験に御協力をいただきました九州歯科大学生理学教室中村修一助教授、ならびに当教室三宅茂樹講師をはじめ補綴学教室員諸兄、さらに、こころよく本研究の被験者を引き受けて下さった諸氏に心より感謝いたします。

引用文献

- 1) Gysi, A.: Special teeth for cross-bite puposes. Dental Digest 33: 167-171, 1927.
- 2) Gysi, A.: Special teeth for cross-bite puposes. Dental Digest 33: 670-677, 1927.
- 3) Sears, V. H.: Thirty years of nonanatomic teeth. J. Prosthet. Dent. 3: 596-617, 1953.
- 4) Hardy, I. R.: The development in the occlusal patterns of artificial teeth. J. Prosthet. Dent. 1: 14-28, 1951.
- 5) Sosin, M. B.: Re-evaluation of posterior tooth forms for complete dentures. J. Prosthet. Dent. 11: 55-61, 1961.
- 6) Levin, B.: A view of artificial posterior tooth forms including a preliminary report on new posterior tooth. J. Prosthet. Dent. 38: 3-15, 1977.
- 7) Manly, R. S. and Vinton, P.: A survey of the chewing ability of denture wearers. J. Dent. Res. 30: 314-321, 1951.
- 8) Manly, R. S. and Vinton, P.: Factors influencing denture function. J. Prosthet. Dent. 1: 578-586, 1951.
- 9) 津留宏道: 義歯機能に関する生理的研究 II 咬合面形態と義歯機能との関係. 阪大歯学誌 6: 353-366, 1961.
- 10) Bascom, P. W.: Masticatory efficiency of complete dentures. J. Prosthet. Dent. 12: 453-459, 1962.
- 11) Kapur, K. K. and Soman, S. D.: Masticatory performance and efficiency in denture wearers. J. Prosthet. Dent. 14, 687-694, 1964.
- 12) Yurkstas, A. A. and Emerson, W. H.: Decreased masticatory function in denture patients. J. Prosthet. Dent. 14: 931-934, 1964.
- 13) 辻井盈子: 総義歯装着者における咀嚼様式の個人特性に関する生理的観察. 口科誌 21: 127-201, 1972.
- 14) 増田信式: 人工歯の咀嚼効率に関する研究 第1報 基準値の算出について. 補綴誌 17: 164-173, 1973.
- 15) 増田信式: 人工歯の咀嚼効率に関する研究 第2報 咬合面形態について. 補綴誌 17: 401-421, 1974.
- 16) 佐藤通泰: 咀嚼能率の測定に使用する人工試料の研究. 九州歯会誌 12: 440-457, 1958.
- 17) 柳沢幸江, 田村厚子, 赤坂守人, 寺元芳子: 食品の物性と摂食機能に関する研究 第1報 食品物性の器機的測定, 並びに食品分類について. 小歯誌 23: 962-983, 1985.
- 18) 西浦 恂, 権田悦通, 桑島 惇, 松本光彦: 複製義歯 (Duplicating denture) について. 補綴臨床 12: 296-304, 1979.
- 19) 坪根政治, 豊田静夫, 三宅茂樹, 清水稔弘: Crosmer 20° 臼歯による第一大臼歯を中心とした排列法. 歯界展望 63: 1279-1284, 1984.
- 20) Pound, E. and Murrell, G. A.: An introduction to denture simplification Phase I. J. Prosthet. Dent. 26: 570-580, 1971.
- 21) Pound, E. and Murrell, G. A.: An introduction to denture simplification Phase II. J. Prosthet. Dent. 29: 598-607, 1973.
- 22) 鱒見進一: 軟性裏装材のレオロジカルな性質と咀嚼能力に及ぼす影響. 九州歯会誌 38: 864-879, 1984.
- 23) 太田俊平: エネルギーによる咀嚼能力の表示法. 九州歯会誌 20: 69-48, 1966.
- 24) 城戸寛史, 三宅茂樹, 鱒見進一, 小田耕平, 城戸 修, 豊田静夫: MKG 記録時における頭部固定の必要性について. 九州歯会誌 44: 381-385, 1990.
- 25) 和久田一成: タッピング運動を利用した咬合採得法に関する研究. 九州歯会誌 38: 880-901, 1984.
- 26) Sobolik, C. F.: Observation on occlusal forms by an edentulous dentist. Dent. Items. Interest. 60: 762-771, 1938.
- 27) Trapozzano, V. R.: Tests of balanced and non-balanced occlusions. J. Prosthet. Dent. 10: 476-487, 1960.
- 28) 羽田 勝, 高津佳彦, 河野文昭, 市川哲雄, 市場裕康, 今井守夫, 松本直之: 全部床義歯の動揺について 第1報 MKG を用いた測定分析法の検討. 補綴誌 29: 1019-1027, 1985.
- 29) 石原寿郎: 篩分法による咀嚼能率の研究. 口病誌 22: 207-255, 1955.
- 30) 上田太郎: 正常咬合者における咀嚼能率の研究. 九州歯会誌 12: 562-582, 1959.
- 31) Jankelson, B., Swain, C. W., Crane, P. F. and Radke, J. C.: Kinesiometric instrumentation: a

- new technology. J. Amer. Dent. Assoc. 90 : 834 - 840, 1975.
- 32) 端森崇弘, 桑原俊也, 中村康弘, 桑原隆男, 西尾公一, 宮内修平, 丸山剛郎: 咀嚼運動の恒常性に関する臨床的研究. 補綴誌 29 : 647 - 656, 1985.
- 33) 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.
- 34) 三谷春保, 山下 敦, 井上 宏: Mandibular Kinesiograph の原理とその忠実性について. 補綴誌 21 : 254 - 264, 1977.
- 35) 井上 宏, 西浦 恂, 山下 敦: MKG Analyzer の補正効果. 補綴誌 27 : 32 - 39, 1983.
- 36) Morikawa, M., Sako, M., Kido, H., Toyoda, S. and Kozono, Y.: Analysis tooth movement utilizing Mandibular Kinesiograph (MKG) Part 1 Characteristic aspects and correction of MKG records, Dent. Mater. J. 7 : 188 - 196, 1988.
- 37) Zsigmondy, O.: Über die Bewegungen des Unterkiefers beim Kauakt. Österr. Z. f. Stomat. 10 : 175 - 184, 1912.
- 38) Gysi, A.: Artikulation, Handbuch der Zahnheilkunde, Bd. 3, Bluhm, München, 1926, 167 - 316.
- 39) Murphy, T. R.: The timing and mechanism of the human masticatory stroke. Arch. Oral Biol. 10 : 981 - 994, 1965.
- 40) Thompson, M. J.: Masticatory efficiency as related to cusp form in denture prosthesis. J. Amer. Dent. Assoc. 24 : 207 - 219, 1937.
- 41) Frechette, A. R.: Masticatory forces associated with the use of various types of artificial teeth. J. Prosthet. Dent. 5 : 252 - 267, 1955.
- 42) 横田成三: 咀嚼機能の模型化による咀嚼粉碎の基礎実験. 九州歯会誌 8 : 1 - 12, 1954.
- 43) 中村修一: 嚥下の閾について. 九州歯会誌 36 : 476 - 482, 1982.
- 44) 田島直孝: 咀嚼運動に関する運動学および筋電図学的検討 II-1. 咀嚼運動相リズムおよび筋放電持続時間について. 補綴誌 29 : 355 - 371, 1985.
- 45) 柳田尚三: 無咬頭人工歯の排列 — その理論と実際 — (1). 日本歯科評論 393 : 17 - 29, 1975.