

原 著

食習慣指導と関連した食品物性と咀嚼筋活動の評価

泉 麗奈 井村麻貴子 今村暢良 五百井秀樹
名方俊介 中島昭彦

九州大学大学院歯学研究院口腔保健推進学講座

IZUMI Rena, IMURA Makiko, IMAMURA Nobuyoshi, IOI Hideki, NAKATA Shunsuke and
NAKASIMA Akihiko

Division of Oral Health, Growth & Development, Faculty of Dental Science, Kyushu University

キーワード：食品物性、咀嚼筋活動、咀嚼回数

抄録：食品の軟食化は下顎骨の成長、形態に影響を及ぼし、歯列や咬合の不正を引き起こす可能性があるといわれている。また摂食食品の物理的性状は、咀嚼時の筋活動量と密接に関連していると考えられる。そこでわれわれは顎や歯列に十分な圧刺激を加えることを目的とした食習慣指導のあり方を検討するため、食品物性と咀嚼筋活動の関係を調べた。

実験対象として平均年齢 20.5 ± 1.4 歳の女性 21 名を用いた。被験者に食品物性の異なる被験食品 9 種類を咀嚼させ表面筋電図を採得し、咀嚼筋活動量の指標として規準化積分値および咀嚼回数を算出した。被験食品については、5 つの物性値である、かたさ、凝集性、弾力性、ガム性、咀嚼性を計測し、以下の結果を得た。

I. すべての食品物性において、食品物性値と規準化積分値の総和に有意な正の相関が認められた。特にガム性と咀嚼性は、他の物性と比較して高い相関係数を示した。

II. すべての食品物性において、食品物性値と 1 ストロークあたりの規準化積分値には有意な相関は認められなかった。

III. すべての食品物性において、食品物性値と咀嚼回数との間に有意な正の相関が認められた。特にガム性と咀嚼性は、他の物性と比較して高い相関係数を得た。

今回の研究において、異なる食品物性に対する咀嚼粉砕能の適応は、1 ストロークあたりの筋活動量の増加ではなく、咀嚼回数の増加により調節されている事が示され、特にガム性、咀嚼性が高い食品はより多くの筋活動を得ることができると示唆された。

(Orthod Waves-Jpn Ed 64(3) : 167~172, 2005)

Evaluation of food textures and muscles activity for consideration to the masticatory training

Abstract : In order to evaluate the adequate foods for masticatory training, the relation between various food textures and the masticatory muscles activity or the numbers of chewing cycle were examined.

Twenty-one female volunteer aged 20.5 ± 1.4 years and nine test foodstuffs were selected. All of the foodstuffs have different mechanical properties. Five kinds of food textures, *i. e.*, hardness, cohesiveness, springiness, gumminess and chewiness, were measured and calculated in each test foodstuff. Electromyograms of the masticatory muscles were measured during eating the foodstuffs up to swallowing. The correlations between the food textures and the masticatory muscle activity or the numbers of chewing cycle were examined. Results were as follows.

I. There were significant positive correlations between all kind of the food textures and the total masticatory muscles activity, especially in gumminess and chewiness.

II. No significant correlations were recognized between all kind of the food textures and the activity in one mastication stroke.

III. There were significant positive correlations between all kind of the food textures and the numbers of chewing cycle, especially in gumminess and chewi-

ness.

Consequently, the changes and adaptations of food breakage function in many kinds of food during mastication are depend on the numbers of chewing

cycle, especially the high gumminess or chewiness foods are recommended for the masticatory training.

(Orthod Waves-Jpn Ed 64(3) : 167~172, 2005)

緒 言

咀嚼運動とは、口に入った食物を嚙んだ時の歯根膜およびその周囲の感覚によって導入された刺激が、三叉神経を伝達して下顎反射による下顎運動を誘発し、上位中枢からの神経調節機構がそれを統合することで行われている¹⁾。咀嚼の研究はその食物粉碎能力の定量化と粉碎様式の分析に大別され^{2~5)}、筋電計や咬合圧計などの分析法で研究されてきた^{6~8)}。

一方、咀嚼は被験食品の大きさや形および物理的性状等により影響を受ける。被験食品の大きさの違いは咀嚼筋の活動効率に影響⁹⁾を与え、食品の物理的性状の違いは咀嚼筋の活動量に変化¹⁰⁾をもたらすといわれている。被験食品の物理的性状は、“かたさ”や“弾力性”もしくはそれらが組み合わされた固有な性状が混在して構成されている。これらの性状はしばしば定量化され^{11~14)}顎口腔機能の評価に用いられる^{15~17)}。またその評価を効果的に行うために、被験食品のどのような性状を指標とすべきかも議論されている^{18,19)}。

われわれは、食品の物理的な個性を5つの食品物性値、すなわち、かたさ、凝集性、弾力性、ガム性、咀嚼性に定量化し、個人が持つ咀嚼感覚や咀嚼能への影響についての一連の研究を行ってきた^{20,21)}。今回は9種類の被験食品を用いて、被験食品の物性が咀嚼筋活動量および咀嚼回数に及ぼす影響について調べ、食習慣指導の一助となりうる食品の物性について評価を

行った。

資料と方法

I. 被験者

すべての被験者は歯科医師により診査を受け、咬合の妨げになるような大きなう蝕および修復物のない、個性正常咬合を有すると判断された本研究に同意の得られた女性21名、 20.5 ± 1.4 歳とした。

II. 被験食品

今回用いた被験食品は古賀ら²¹⁾の研究で、その物性値を計測されたものと同様のものを用いた。古賀ら²¹⁾が行った計測方法を以下に示す。

計測には差動トランス型のテンシプレッサー(TTP-50 BX, タケトモ電機(有), 東京)と解析装置(My Boy system, タケトモ電機(有), 東京)を用いた。計測条件はすべての食品に対し、直径13 mm円筒形のアルミニウム製プランジャー(タケトモ電機(有), 東京)と直径100 mmのアルミニウム製試料皿(タケトモ電機(有), 東京)を用いて皿上の被験食品をプランジャーで圧縮されるように等速上下運動させた。圧縮率80%, 圧縮回数2回, 圧縮速度5 mm/sec, 記録速度120 mm/minとした。

2回の圧縮により得られる特性曲線を図1に示す。特性曲線の描記は各被験食品ごとに5回ずつ行われ、それぞれの特性曲線に示されるテンシプレッサーの目

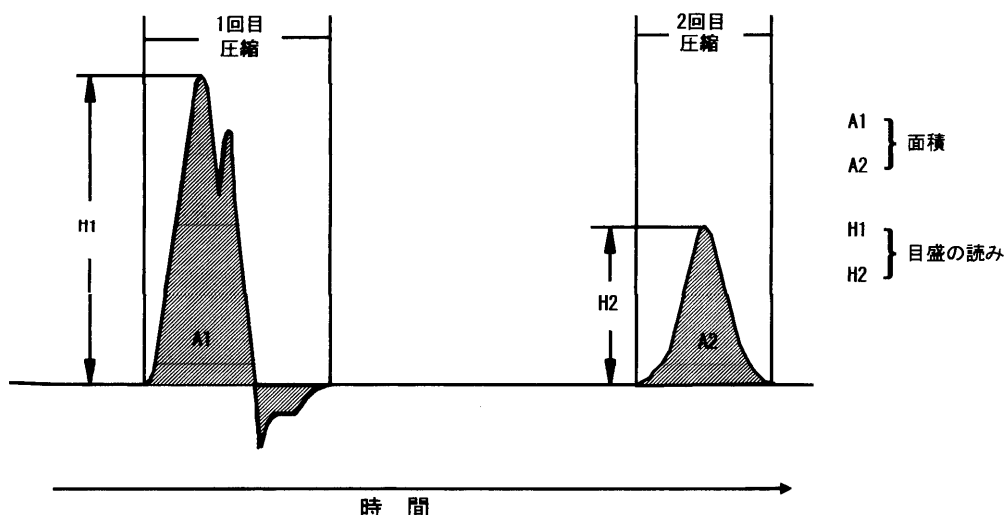


図1 食品物性の特性曲線 (亀山ら²²⁾より改変引用)

表 1 被験食品物性値

食品名	大きさ及び形状	食品物性値 (平均値±標準偏差)				
		かたさ (kgf)	凝集性	弾力性	ガム性	咀嚼性
かまぼこ	15×15×10 mm	1.19±0.03	0.81±0.01	0.92±0.01	0.96±0.02	0.88±0.02
ごぼう	15×15×10 mm	8.57±0.29	0.20±0.01	0.96±0.01	1.73±0.09	1.66±0.11
するめ	15×15×2 mm	9.24±0.06	1.01±0.01	1.02±0.00	9.31±0.05	9.50±0.05
たくあん	15×15×10 mm	9.15±0.02	0.82±0.01	0.98±0.00	7.47±0.05	7.33±0.07
たこ	15×15×10 mm	6.07±1.36	0.74±0.09	1.03±0.05	4.37±0.56	4.49±0.38
ピーナッツ	1粒	5.00±0.95	0.08±0.01	0.52±0.05	0.40±0.05	0.21±0.02
ポークチャップ	15×15×10 mm	6.04±0.91	0.23±0.03	0.73±0.09	1.33±0.20	1.00±0.18
玄米	5.0 g ボール状	2.42±0.16	0.25±0.01	0.80±0.05	0.60±0.06	0.50±0.04
白米	5.0 g ボール状	1.15±0.10	0.44±0.04	0.92±0.07	0.05±0.01	0.47±0.03

(古賀ら²¹⁾より引用)

盛り (H1, H2) の平均値と曲線の描く図形の面積 (A1, A2) の平均値を用いて, 以下に示す式により各被験食品における5つの食品物性値(かたさ, 凝集性, 弾力性, ガム性, 咀嚼性)²²⁾を求めた.

$$\text{かたさ} = H1 \quad \text{凝集性} = \frac{A1}{A2} \quad \text{弾力性} = \frac{H2}{H1}$$

$$\text{ガム性} = \text{かたさ} \times \text{凝集性}$$

$$\text{咀嚼性} = \text{かたさ} \times \text{凝集性} \times \text{弾力性}$$

その結果をもとに物性がかたさに片寄った食品としてピーナッツ, かたさは小さいが凝集性および弾力性の大きい食品としてかまぼこ, 凝集性は小さいがかたさおよび弾力性の大きい食品として順に, ごぼうのふくめ煮, ポークチャップ, かたさ, 凝集性, 弾力性それぞれに大きい値を示す食品として順に, するめ, たくあん, たこ, 弾力性のみ大きな値を示す食品として, 玄米および白米の9種を選択した. 古賀ら²¹⁾によって求められた9種の被験食品の物性値を表1に示す.

III. 表面筋電図の採得

測定に際し被験者には頭部の固定を用いず, 自然な姿勢で椅子に座らせた. 被験者は被験食品を制限を加えることなく自由に咀嚼し, それぞれの食品について咀嚼開始から嚥下終了までの咀嚼筋活動を表面筋電図にて採得した.

被験筋は, 左右側頭筋前部および咬筋とし, 電極間距離 12 mm で双極表面電極を貼付し, 不関電極は前額部に設置した.

IV. データ解析

筋電図はポリグラフ 360 システム (Polygraph, 日本電気三栄 (株), 東京) を用い, 左右4筋を同時誘導し, 高域遮断フィルター 3000 Hz, 時定数 0.03 sec, 感度

0.5 mV/div で導出し, データレコーダー (RD-110 T, TEAC (株), 東京) に記録した. 記録した波形はオムニコーダー (8 M 14, 日本電気三栄 (株), 東京) にてペーパースピード 10 mm/sec で描写するとともに, シグナルプロセッサ (7 T 18, 日本電気三栄 (株), 東京) に取り込み, ベースラインの2倍の高さをしきい値として, それを越えた活動波形を抽出し各波形の積分値を求めるとともに, 咀嚼開始より嚥下する前までの活動波形数を各食品における咀嚼回数として計測した. また, 被験者によりインピーダンスの異なる筋電波形から得られた積分値を分析処理するために規準化を行った. 規準化を行う際, 摂食可能な食品の咀嚼をできるだけ自然な環境で評価することが必要と考えられるため, 被験者の最大噛みしめ時の波形ではなく, 食物咀嚼中における最大積分値を用いて行った.

以下に示す式により1ストロークあたりの規準化積分値 (Si) を求め, Si に咀嚼回数を乗じて得た値を規準化積分値の総和とした. なお今回の研究では側頭筋および咬筋より得られた値を合算して用いた.

$$Si = \frac{\sum_{j=1}^n X_{ij}}{X_{max}}$$

Si: 1 ストロークあたりの規準化積分値

Xij: 1 ストロークごとの積分値

i (=1…m): 9 種類の被験食品

j (=1…n): 咀嚼回数

Xmax: Xij の最大値 (9 種類すべての食品咀嚼から得られた活動波形の最大積分値)

表 2 筋電図積分値および咀嚼回数 (平均値±標準偏差)

食品名	規準化積分値の総和			1 ストロークあたりの規準化積分値			咀嚼回数
	側頭筋	咬筋	計	側頭筋	咬筋	計	
かまぼこ	13.83±6.12	13.21±5.57	27.03±11.43	0.59±0.13	0.56±0.12	1.15±0.22	24.00± 9.56
ごぼう	12.19±5.77	11.60±4.32	24.59± 9.61	0.60±0.08	0.56±0.12	1.16±0.17	21.76± 9.30
するめ	28.89±9.04	25.69±7.63	54.58±16.28	0.60±0.09	0.54±0.07	1.14±0.15	48.95±16.79
たくあん	18.97±9.03	17.22±8.51	36.19±17.38	0.60±0.10	0.55±0.12	1.15±0.20	31.76±14.00
たこ	17.25±7.75	15.94±6.97	33.18±14.60	0.62±0.10	0.58±0.11	1.21±0.20	28.62±14.88
ピーナッツ	11.87±4.29	10.75±3.52	22.62± 7.59	0.63±0.12	0.58±0.12	1.20±0.23	19.71± 7.95
ポークチャップ	18.03±7.84	16.60±7.29	34.64±15.07	0.62±0.10	0.58±0.11	1.20±0.20	29.71±14.17
玄米	19.07±9.96	18.28±8.14	37.35±17.71	0.58±0.11	0.57±0.11	1.15±0.20	32.90±14.49
白米	12.77±5.30	12.02±4.92	24.79± 9.93	0.56±0.10	0.54±0.14	1.09±0.23	23.29± 9.12

表 3 食品物性値と各計測項目との相関係数

	かたさ	凝集性	弾力性	ガム性	咀嚼性
規準化積分値の総和	0.268**	0.342**	0.229**	0.450**	0.450**
1 ストロークあたりの規準化積分値	0.064	-0.052	-0.075	-0.004	-0.007
咀嚼回数	0.248**	0.343**	0.236**	0.440**	0.442**

* : p<0.05 ** : p<0.01

(d. f. = 187)

V. 統計処理

規準化積分値の総和と1ストロークあたりの規準化積分値を筋活動の指標として、これに咀嚼回数を加えた3つのパラメーターと各食品物性値との関係を、Pearsonの相関分析を用いて、危険率5%を有意性の判定基準とし、検定を行った。

結 果

各被験食品における規準化積分値の総和、1ストロークあたりの規準化積分値および咀嚼回数を表2に、被験食品の食品物性と咀嚼筋活動量の指標である規準化積分値および咀嚼回数との相関係数を表3に示す。

I. 食品物性と規準化積分値の総和との関係

すべての食品物性値と規準化積分値の総和との間に1%の危険率で有意な正の相関が認められた。とくにガム性と咀嚼性は、他の物性と比較して高い相関係数を示した。

II. 食品物性と1ストロークあたりの規準化積分値との関係

いずれの食品物性値も1ストロークあたりの規準化積分値との間には有意な相関は認められなかった。

III. 食品物性と咀嚼回数との関係

すべての食品物性値と咀嚼回数との間に1%の危険率で有意な正の相関が認められた。

とくにガム性と咀嚼性は、他の物性と比較して高い相関係数を得た。

考 察

本研究は被験食品として、日常よく食べていると考えられる食品の中から、物性が比較的均一で、小さな値から大きな値の食品が含まれるように選定した。咀嚼筋活動と食品物性に関する過去の研究では、“かたさ”に注目しているものが多いが^{11,12,23)}、柳沢ら^{13,14)}や、Szczesniakら²⁴⁾の研究においても、咀嚼筋活動の決定要因が“かたさ”だけではなく、“凝集性”や“弾力性”の影響を受けていると述べている。そこで、われわれは、食品を変形させるのに必要な力と定義される“かたさ”、食品の形態を構成する内部的結合に必要な力と定義される“凝集性”、応力によって起こされた変形が力を取り去った際に力を加えられる以前の状態に復する力と定義される“弾力性”のみならず、かたさ×凝集性の式で表され、半固形の食品を飲み込める状態まで崩壊させるために必要なエネルギーと定義される“ガム性”²⁵⁾および、かたさ×凝集性×弾力性の式で表され、固形の食品を飲み込める状態になるまで咀嚼するのに必要なエネルギーと定義される“咀嚼性”^{25~27)}の5種類の食品物性値を用いることで、食品

の個性をより詳細に表現し、咀嚼筋活動の決定要因をこれまでの研究と比較して多因子にして解析を行うことを試みた。また多種の摂食可能な食品を用いたことで、かたさ以外にも咀嚼筋活動量が大きくなる食品を推察できた。

用いた食品における5つの物性値はすべて規準化積分値の総和と有意な相関を認めたが、その中でガム性と咀嚼性は筋活動との間に他の物性と比較して高い寄与率を認め、顎や歯列に高い機能圧を加えられる食品の指標としてはかたさより優れていると考えられる。本研究で用いた食品のうち“ごぼう”はかたさの値は高いがガム性と咀嚼性は低い。これは凝集性が低いためであり筋活動を促す食品としてそれほど有利ではないことを示している。また、“するめ”はかたさの値が高いとともにガム性、咀嚼性も高い値を示し、よく噛むことを目的とした食習慣指導に用いる食品として適していると思われる。

一方、弾力性は他の食品物性値よりも筋活動量との寄与率がやや低い値を示した。今回被験者に行ってもらった咀嚼運動は、咀嚼開始から嚥下にいたるまで制限を加えることのない自由なものであったため、噛み砕かれた被験食品が各被験者間で同等の状態で嚥下されたとはいえない。とくに咀嚼に伴う食品の形状の変化が少ない弾力性に富んだ食品ほど十分な粉砕が行えなくとも嚥下に移行する傾向があったことが考えられ、その個人差が大きかったことが相関を低くした原因ではないかと思われる。

咬合安定のためによく噛むことを指導する臨床家は多い。Agrawalら^{18,19)}は、食品の物性値が大きくなるほど筋活動量も大きくなると述べており、今回の研究とほぼ同様の結果を報告している。よく噛むことを指導する場合、力強く噛むという事と回数を多く噛むという事の2つの手段について考える必要がある。今回の結果では食品物性値の上昇に応じた咀嚼筋活動量の増加は1ストローク当たりの筋活動量の増加ではなく、咀嚼回数を増やすことで対応されている傾向にあった。Hillによると筋活動におけるその効率率は筋が発揮する収縮力とスピードを乗じて得ることができる直角双曲線で表されるとしている²⁸⁾。すなわち、食品咀嚼時の等張性収縮を中心とした咀嚼筋活動は、食品物性の主観的認識のもとに食品の硬軟に関わらず筋活動の最も効率のよいところで咀嚼していると考えられる。これは1ストロークあたりの筋活動量に大きな差を認めなかった理由のひとつと思われる。

近年、中学高校生においては食生活の乱れとともに粗噛みの傾向があると報告²⁹⁻³¹⁾されており、食習慣指導でよく噛むということを指導する場合、同じ咀嚼能を発揮させるのであれば力強く噛むことも重要であるが、噛む回数を増やすことでも対応できることを本研

究は示している。これは、あまり硬いものを食べることができない幼児やお年寄りにも、回数を多く噛むことで合理的な咀嚼指導を行える可能性を与えるものと思われる。

今回は成人を被験者とした食品物性と咀嚼筋活動の関係について調べたが、井村ら²⁰⁾も述べているように筋活動の調整には被験者の主観的な食品物性の認識も大きく関係していることが推察され、咀嚼筋活動と食品の物理的性状、咀嚼感覚の三者は互いに複雑に関連していると思われる。今後は、今回の研究に被験者のもつ咀嚼感覚を加えたさらなる解析が必要であると考えられる。

稿を終えるにあたり、ご協力いただいた中村学園大学家政学部の古賀貴子先生ならびに同学園関係者各位に感謝の意を表すと同時に、本研究に被験者としてご協力いただいた中村学園大学家政学部学生各位に感謝いたします。

文 献

- 1) 覚道幸男, 野田憲一, 中村治雄, 他: 小口腔生理学, 東京, 1990, 学健書院, 228-240.
- 2) Lucas, P. W. and Luke, D. A.: Methods for analysing the breakdown of foods in human mastication, *Arch Oral Biol* 28: 813-819, 1983.
- 3) Lucas, P. W., Luke, D. A., Voon, F. C. T., et al.: Food breakdown patterns produced by human subjects possessing artificial and natural teeth, *J Oral Rehabil* 13: 205-214, 1986.
- 4) Van der Bilt, A., Olthoff, L. W., Van der Glas, H. W. and Van der Weelen, K.: A mathematical description of the comminution of food particles during mastication in man, *Arch Oral Biol* 32: 579-586, 1987.
- 5) Van der Glas, H. W., Van der Bilt, A., Olthoff, L. W. and Bosman, F.: Measurement of selection chances and breakage functions during chewing in man, *J Dent Res* 66: 1547-1550, 1987.
- 6) Peyron, M. A., Lassuzay, C. and Woda, A.: Effects of increased hardness on jaw movement and muscle activity during chewing of viscoelastic model foods, *Exp Brain Res* 142: 41-51, 2002.
- 7) Hosman, H. and Naeije, M.: Reproducibility of the normalized electromyographic recordings of the masseter muscle by using the EMG recording during maximal clenching as a standard, *J Oral Rehabil* 6: 49-54, 1979.
- 8) Ottenhoff, F. A., Van der Bilt, A., Van der Glas,

