

報 文

アーモンドにおける粒の大きさが咀嚼に及ぼす影響

神山かおる[§], 中山 裕子, 佐々木朋子

独立行政法人食品総合研究所 (〒305-8642 茨城県つくば市観音台2-1-12)

Influences of particle size of almond on mastication

Kaoru KOHYAMA[§], Yuko NAKAYAMA, and Tomoko SASAKI

National Food Research Institute, 2-1-12 Kannondai, Tsukuba, Ibaraki 305-8642,

Abstract

Electromyography (EMG) of jaw-closing muscles was recorded in order to quantify the mastication while eating nuts, which are difficult to chew. The same weights (1.3 g) of almond samples were served in different particle sizes (whole, sliced, and diced). Ten healthy women masticated the samples normally. The sliced and diced almond samples required more chewing strokes and longer mastication time until swallowing than a whole almond. EMG amplitude, duration of contraction, muscle activity corresponding to chewing work, and cycle time per chew were not significantly different among the three preparations, when averaged values for the entire chewing period were compared. At the first bite, the values of duration and muscle activity for the whole sample were greater than for the other two samples. However, the differences were not significant from the second chews. Sliced and diced almond samples exhibited similar EMG parameters. These results reveal that decreasing the particle size of almond by slicing or cutting can reduce muscle work in the first bite, but increases total mastication effort until swallowing.

高齢者が増加するにしたがい、噛みやすい食品に対する関心も高まっている^{1, 2)}。その中でもナッツ類は、高齢者にとって最も食べにくい食品の一つで、義歯装着者の36%³⁾、45%⁴⁾、61%⁵⁾が噛めなかったと報告されている。古くから、咀嚼能力を調べるための試験食品として、ピーナッツが利用されてきた^{6, 7)}のは、入手しやすく保存性も高いという他に、義歯で食べにくく、その食べやすさが義歯の善し悪しに依存する食品⁵⁾というのも理由の一つであろう。

若年者と高齢者の咀嚼を比較したとき、ピーナッツは咀嚼能力が落ちた高齢者では若年者よりも咀嚼回数が著しく増加したが、噛みやすい飯やチーズでは咀嚼回数の差が小さいことが報告されている⁸⁻¹⁰⁾。咀嚼過程をその進行段階別に分析すると、ピーナッツでは初

期に大きかった咀嚼力が咀嚼が進むにつれて徐々に減少することが示唆された¹⁰⁾。ナッツ類は、硬くて歯による破壊に大きな力を要するため噛みにくい、一噛みして破碎された後は大きな咀嚼力は必要なくなる。センサをつけた義歯(第一大臼歯)で測定した第1咀嚼における最大咀嚼力で比較すると、アーモンドは多くの食品の中でも高く¹¹⁾、この仮説を裏付けている。同じように、破壊力が高いが破壊歪の小さい、すなわち硬くて脆い食品である、煎餅や生ニンジン等は、食品の大きさを小さくすることで噛みやすくなることが過去に報告されている^{4, 11)}。このことから、細かく砕いた、あるいは切った(以下、細片化と呼ぶ)ナッツは、咀嚼で行うべき初めの仕事を外部で既に施していることになり、咀嚼しやすいように思える。

2004年10月29日受付, 2005年1月17日受理

[§]連絡先, 食品物理機能研究室 神山かおる

電話8031 電子メールkaoruk@nfri.affrc.go.jp

咀嚼の定量法として、筋電図 (Electromyography ; EMG) が利用されている^{2, 12-15)}。これは咀嚼筋の収縮に伴う電位を計測することによって、咀嚼による仕事を見積もることができる測定法である¹³⁾。硬い食品を咀嚼した場合には、嚥下が起こるまでの咀嚼回数が増加するとともに、閉口筋、とくに咬筋の筋電図振幅や筋電位の時間積分値である筋活動量が有意に増加することが明らかにされている^{13, 14)}。

そこで本研究では、ナッツ試料としてアーモンドを用いて、1粒大と薄く切ったもの、細かく砕いたものを咀嚼するときのそれぞれのEMGから、細片化が咀嚼に及ぼす影響を解析した。

実験方法

1. 試料

ナッツ試料は、共立食品(株)製のホールローストアーモンド(1粒, 1.3 gのもの)、スライスアーモンド(薄さ約1 mm)及びダイスアーモンド(約3 mm角)を用いた。

粒とスライス状の試料については、インストロン5542型試験機による等速圧縮試験を行った。1粒はそのまま、スライス試料は10枚を重ねて置き、いずれも中央部を直径3 mmの押し棒により1 mm/sで等速圧縮した。試験温度は20℃で、1試料につき28回の実験を行った。試料厚さは1回毎に実測し、初期厚さに対する変形距離で歪を計算した。試験中に得られた荷重を押し棒の断面積(7.07mm²)で除して見かけの応力を求めた。

2. 筋電位測定

アーモンドを嫌いでない健常有歯顎者10名(女性、平均年齢±標準偏差32.1±6.1歳)を被験者として筋電位測定を行った。まず実験の目的や計測手法について説明し、インフォームドコンセントを得た。試料は、1粒のアーモンドの重量に合わせ、試料は全て1.30±0.03 gとした(Figure 1)。試料はランダム順に実験者がプラスチック製スプーンを用いて被験者に与え、被験者に普段通りに自由に咀嚼させた後、嚥下させた。その際に、既報¹⁶⁾に従い、左右の咬筋および側頭筋前腹上の表面から、脳波用皿状電極を用いて筋電位を導出した。得られた筋電位は、アンプ(日本光電MEG-6108に4台の筋電位用アンプAB-610Jを装着)で1000倍に増幅した後、バイオパック社製MP150システムを用いてパソコンに取り込んだ。



Fig. 1 Almond samples served to subjects
Diced, whole, and sliced samples (1.3 g).

3. データ解析

パソコンに保存された筋電図データの解析を、バイオパック社AcqKnowledge (Ver.3.7.3)ソフトウェアを用いて行った。キュウリの一口大と薄切りを比較した既報¹⁷⁾に従い、咀嚼開始から嚥下までの咀嚼回数、咀嚼時間、また各咀嚼動作毎に、筋活動時間、振幅、筋活動量(筋電位の時間積分)、咀嚼周期を求め、それぞれ4筋の平均値を計算した。さらに4筋平均の筋活動時間と筋活動量について、噛み初めから嚥下までの総和値も計算した。

統計処理はSPSS社の統計パッケージ(Ver11.0J)を用いて行った。試料3種間の比較を行うため、反復測定分散分析を行った。試料間差が有意と認められた場合(P<0.05)には、続いて2点ずつ対応のあるT検定を行い、Holmの修正¹⁸⁾を行った。

実験結果及び考察

1. アーモンドの物性

Figure 2に1粒とスライスしたアーモンドの圧縮試験結果を示す。圧縮荷重の最大値は両試料とも破壊時に現れた。見かけの破壊応力は粒状試料が7.7MPaと高く、薄切りは4.6MPaと低い。反対に、破壊歪は粒のものが平均12.8%なのに対し、スライスしたものは26.5%と高くなった。粒状試料は、破壊までに応力が急上昇するが、その後は急速に低下し、一度破壊されると一気に割れることを反映している。一方、スライスしたものは、層になった試料片が押されるので、小さい抵抗値のまま大きく変形した後、破壊に至る。破壊点ではピークを示すものの、その後も応力値はあまり減少しない。これは薄い1枚の試料片が破壊されても、まだ壊れていない次の層が次々に押し棒に当たり、圧縮抵抗となって続くためと考えられる。

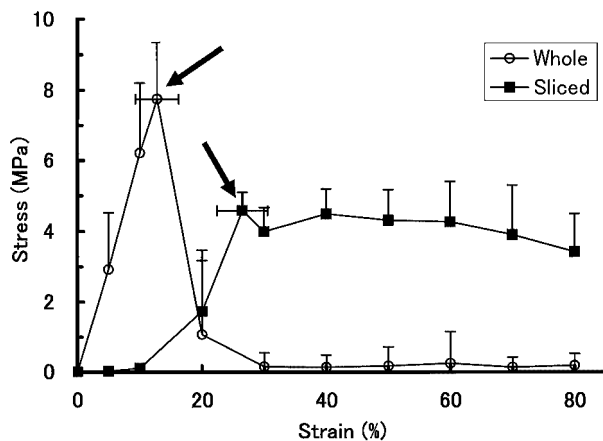


Fig. 2. Stress-strain curves of almond samples. Fracture strain and stress, stress values at 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, and 80% compressive strain are calculated. Mean and standard deviation values of 28 trials are plotted. Arrows represent the fracture points.

実咀嚼においても、第1回目の咀嚼では、機器測定に比較的近い現象が起こっている^{11, 19)}。しかし、口腔内では噛む毎に、試料の状態（粉砕度、水分量、温度等）が大きく変化するため、2回目以降の咀嚼に対応した機器測定は困難である。

2. 全咀嚼過程における筋電図

本実験では、左右の咬筋と側頭筋から筋電位を測定した。これらは下顎を閉じるときに働く閉口筋であり、噛みしめる毎にほぼ同じタイミングで筋電位が生じる^{13, 14, 16)}。また、被験者は咀嚼側を指定されずに自由な咀嚼を行っているため、左右差を考慮せず^{16, 17)}、4筋の平均値を各咀嚼動作毎に計算した。Table 1は3種のアーモンド試料の筋電図パラメータのうち、全咀嚼過程における解析結果である。

有意な試料差が認められたのは、咀嚼開始から嚥下までの、咀嚼回数、咀嚼時間、および筋活動時間総和と筋活動量総和であった。これらのうち、咀嚼回数、咀嚼時間、筋活動時間総和では、2種の細片化試料が1粒よりも有意に高値を示し、咀嚼時間が長くなったことを示している。

咀嚼過程全体にわたっての平均値を取った場合、1回の咀嚼動作毎のパラメータには有意な差が認められなかった。このことから、咀嚼全体についてみると、アーモンドを小さく刻んで食すると、咀嚼量が減少するどころか、かえって増えてしまうことが示された。

3. 咀嚼中における筋電図パラメータの変化

今回用いた3種のアーモンド試料は、粒の大きさは異なるが、元は同じ1粒のアーモンドであり、食品物性が異なるものではない。既に報告した昆布¹⁶⁾やキュウリ¹⁷⁾では、食品の大きさの影響を筋電図で検討したとき、咀嚼初期には違いがあってもその差は咀嚼が進行するにつれて小さくなった。そこで、咀嚼過程のうち、どの時点まで試料差が見られたのかを検証するために、咀嚼1回毎のパラメータを比較した。筋活動時間、振幅、筋活動量、咀嚼周期についての結果をTable 2に示す。

第1咀嚼においてのみ、筋活動時間と筋活動量に有意差が認められた。3種のアーモンド試料のうち、筋活動時間は粒状が他の2種類よりも有意に長い値を示した。それ以降の咀嚼では、いずれのパラメータからも有意差が認められなかった。

第1回目の咀嚼では、粒状試料は1粒大であり、それを歯で破壊しなくてはならない。粒アーモンドは、Fig. 2の機器測定でも示されたように、また咀嚼力からみてもたいへん硬い食品なので¹⁰⁾、より多くの仕事を

Table 1 Influence of particle size of almond samples (1.3 g) on EMG parameters during mastication

EMG parameters	F-ratio	P	Whole		Sliced		Diced	
Number of chews	12.43	0.000	23.3 ± 9.8	a	33.9 ± 16.0	b	34.3 ± 16.2	b
Masticatory time (s)	12.67	0.000	13.8 ± 3.8	a	20.0 ± 6.0	b	20.1 ± 5.6	b
EMG duration per chew (s)	1.03	0.349	0.262 ± 0.037		0.254 ± 0.043		0.256 ± 0.036	
Amplitude (mV)	1.11	0.351	1.85 ± 0.79		1.78 ± 0.82		1.82 ± 0.87	
Muscle activity per chew (mV·s)	3.91	0.073	0.0452 ± 0.0235		0.0412 ± 0.0201		0.0426 ± 0.0219	
Chewing cycle time (s)	0.22	0.801	0.626 ± 0.091		0.633 ± 0.107		0.632 ± 0.100	
Sum of EMG duration (s)	12.53	0.000	5.98 ± 1.97	a	8.19 ± 2.77	b	8.45 ± 3.07	b
Sum of muscle activity (mV·s)	7.05	0.017	1.04 ± 0.65	a	1.31 ± 0.69	a	1.31 ± 0.70	a

Mean ± S.D. of 10 subjects.

Values with different alphabetical letters in a row differ significantly ($P < 0.05$).

Table 2 Effect of particle size on EMG parameters per chew

EMG parameters	Cycle	F-ratio	P	Whole	Sliced	Diced
EMG duration (s)	1	8.96	0.002	0.393 ± 0.122 a	0.317 ± 0.079 b	0.298 ± 0.077 b
	2	0.17	0.847	0.296 ± 0.068	0.306 ± 0.076	0.292 ± 0.044
Amplitude (mV)	1	0.49	0.545	1.48 ± 0.66	1.41 ± 0.81	1.28 ± 0.51
	2	0.31	0.618	1.63 ± 0.86	1.53 ± 0.43	1.46 ± 0.49
Muscle activity (mV·s)	1	6.08	0.025	0.0545 ± 0.0290 a	0.0385 ± 0.0166 a	0.0360 ± 0.0163 a
	2	0.23	0.795	0.0438 ± 0.0226	0.0440 ± 0.0165	0.0407 ± 0.0139
Chewing cycle time (s)	1	2.89	0.113	0.718 ± 0.120	0.645 ± 0.122	0.637 ± 0.137
	2	1.28	0.291	0.608 ± 0.088	0.635 ± 0.147	0.591 ± 0.075

Mean ± S.D. of 10 subjects.

Values with different alphabetical letters in a row differ significantly ($P < 0.05$).

要したと解釈できる。この粒状試料を簡単に破壊することは困難であり、通常の1回の咀嚼よりも長い時間をかけて持続的に力をかけ続けた結果、ようやく破壊できたことが現れている。一度壊れた粒状試料は、ばらばらに粉碎されるので、それ以降の咀嚼動作においては、細片状の試料と差がなくなったと考えられる。細片化した2種の試料は、粒が既に破壊されているため、第1咀嚼から粒状試料の2回目以降の咀嚼に相当する。硬いアーモンド粒の破壊は、スライス状、ダイス状試料とも必要ないため、咀嚼筋の活動には差が観られなかった。

4. 細片化が咀嚼に及ぼす影響

Bourne²⁰⁾は咀嚼力と速度との関係について次のように述べている。硬さが低～中程度までの食物を噛む場合には、咀嚼速度は一定で、顎の力の出力が硬さに応じて変化する。しかし、食物の硬さが無理なく出せる力の範囲（以下、限界値と呼ぶ）を超えてしまうと、力はそれ以上増せない。そのため、力は限界値レベルでほぼ一定となる代わりに、咀嚼速度が遅くなる。一般に、咀嚼のリズムは個人に特有であり、食物の物性に影響されないものである¹¹⁾が、限界値までの力で破壊できないほど硬い食品を噛むときには、速度が落ちる。アーモンド1粒における第1回目の咀嚼は、まさしく力の限界値では破壊できなかった例であり、他の2試料よりも、EMG振幅は有意には増加していないが、噛みしめる時間が長くなっている。一噛み当たりの筋活動量は平均筋電位と筋活動時間との積で表されるが、振幅は増えなくても活動時間が長くなったことで、粒状試料では大きくなった。機器測定で見られたように、1粒のアーモンドは薄切り試料よりも応力最大値がずっと大きい、食品の硬さを反映するはずの

筋電位振幅¹³⁾に差が見られなかったのは、被験者が速度を制御する咀嚼を行っていたからと考えられる。

神山らは高齢者と若年者の咀嚼の特徴を筋電図によって調べてきた⁸⁻¹⁰⁾。一般に咀嚼中に起こる食物の状態変化に伴う咀嚼挙動の変化傾向は、年齢でほとんど差が見られなかった。唯一異なっていたのが、若年者では咀嚼が進行するにつれて筋電位振幅が減少するのに対し、高齢者では咀嚼の始めから終わりまで、若年者よりも低いほぼ一定の振幅を示し続けていた点であった¹⁰⁾。このことは、高齢者が強い咀嚼力が出せないため、Bourne²⁰⁾のいう力の限界値が低く、食物の物性に依って咀嚼力を変化させることが難しいことを示唆している。したがって、咀嚼力の低い対象者においては、細片にしたアーモンドが噛みやすくなると推測される。

しかしながら、このような細片化は嚥下までに要する咀嚼量総和を増加させることも本実験より明らかとなった。これは、著者らが行ったキュウリでも共通であり、薄切りが一口大の塊よりも咀嚼量を増やした¹⁷⁾。キュウリでは、咀嚼初期に筋電位振幅が高くなっていたが、筋活動時間は変化しなかった¹⁷⁾。キュウリはアーモンド程は硬くなく、咀嚼力を制御する範囲であったと考えられる。このように、咀嚼の制御機構が異なっても、硬い食品を細片にすると、嚥下までの咀嚼量は増加する場合が少なくない。従って、咀嚼弱者向けの食品を提供する場合には、食品物性と対応させて、細片化の効果があるかどうかを慎重に検討するべきであろう。

要 約

噛みにくい食品の代表とされるナッツ類を細片にす

ると噛みやすくなるかどうかを調べる目的で、1粒、スライス、ダイス状アーモンドの咀嚼筋筋電図を測定した。細片化アーモンドは、第1回目の咀嚼における筋活動量を低下させたが、咀嚼全体にかかる時間を延長させた。薄く切ることと細かく切ることの差は認められなかった。ナッツの細片化は、強い咀嚼力の出せない対象者には噛みやすくさせる効果が期待できるが、咀嚼時間を長くさせ、総咀嚼量を増やしてしまうという側面があった。

謝 辞

本研究は、農林水産省「健全な食生活構築のための食品の機能性及び安全性に関する総合研究」プロジェクト研究費により行った。咀嚼実験に参加されたボランティアに感謝する。

文 献

- 1) 神山かおる, 食品・栄養学における咀嚼研究, 日咀嚼誌, **13**, 49-57 (2004)。
- 2) 神山かおる, 食品調理と咀嚼特性, 調理科学, **36**, 329-333 (2003)。
- 3) Heath, M. R., Dietary selection by elderly persons, related to dental state. *Brit. Dent. J.*, **132**, 145-148 (1972)。
- 4) 佐藤裕二, 石田栄作, 皆木省吾, 赤川安正, 津留宏道, 総義歯装着者の食品摂取状況, 補綴誌, **32**, 774-779 (1988)。
- 5) 内田達郎, 全床義歯による咀嚼能力の評価に関する研究 - 咀嚼能力に影響する因子と評価に適した食品の検討, 口病誌, **58**, 182-197 (1991)。
- 6) Manly, R. S. and Braley, L. C., Masticatory performance and efficiency. *J. Dent. Res.*, **29**, 448-462 (1950).
- 7) Akeel, R. F., Masticatory efficiency. A literature review. *Saudi Dent. J.*, **4**, 63-69 (1992).
- 8) Kohyama, K., Mioche, L. and Martin, J.-F., Chewing patterns of various texture foods studied by electromyography in young and elderly populations. *J. Texture Stud.*, **33**, 269-283 (2002).
- 9) Kohyama, K., Mioche, L. and Bourdiol, P., Influence of age and dental status on chewing behaviour studied by EMG recordings during consumption of various food samples. *Gerodontology*, **20**, 15-23 (2003).
- 10) Kohyama, K. and Mioche, L., Chewing behavior observed at different stages of mastication for six foods studied by electromyography and jaw kinematics in young and elderly subjects. *J. Texture Stud.*, **35**, 395-416 (2004).
- 11) Nakazawa, F. and Togashi, M., Evaluation of food texture by mastication and palatal pressure, jaw movement and electromyography. In "Food Hydrocolloids Part 2", ed. Nishinari, K., (Elsevier, Amsterdam), p. 473-483 (2000).
- 12) 神山かおる, 食品咀嚼と口腔感覚テクスチャ, 食科工, **47**, 341-346 (2000).
- 13) González, R., Monfoya, I., and Cárcel, J., Review: The use of electromyography on food texture assessment. *Food Sci. Tech. Int.*, **7**, 461-471 (2001).
- 14) 塩澤光一, 筋電図による咀嚼行動と食品物性の関係解明, 「老化抑制と食品 - 抗酸化・脳・咀嚼 - 」, 独立行政法人食品総合研究所編, (アイピーシー, 東京), p.362-377 (2002).
- 15) Kemsley, E. K., Defernez, M., Sprunt, J. C., Smith, A. C. Electromyographic responses to prescribed mastication. *J. Electromyogr. Kinesiol.*, **13**, 197-207 (2003).
- 16) Kohyama, K., Kobayashi, S., Hatakeyama, E. and Suzuki, T. Electromyographic study of mastication of kelp snack. *J. Texture Stud.*, **31**, 577-590 (2000).
- 17) 神山かおる, 中山裕子, 福田節子, 檀はるか, 佐々木朋子, 薄切キュウリにおける咀嚼量の増加, 食科工, **50**, 339-343 (2003).
- 18) Holm, S. A., A simple sequentially rejective Bonferroni test procedure. *Scand. J. Statist.*, **6**, 71-76 (1979).
- 19) Kohyama, K., Sakai, T., and Azuma, T., Patterns observed in the first chew of foods with various textures. *Food Sci. Technol. Res.*, **7**, 290-296 (2001).
- 20) Bourne, M. C., Body-texture interactions, In "Food Texture and Viscosity, 2nd Ed.", (Academic Press, San Diego), p.33-57 (2002).