

報 文

咀嚼中におけるモナカの甘味とテクスチャの変化

神山かおる[§], 梅原裕子*, 土部正幸*, 佐々木朋子

Changes in sweetness and texture of Monaka during mastication

Kaoru KOHYAMA[§], Yuko UMEHARA*, Masayuki TSUCHIBE*, and Tomoko SASAKI

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

*Research and Development Laboratory, Nakamura Co. Ltd., 4-4-1 Higashikasugaya, Ebina, Kanagawa 243-0401

Abstract

Electromyography (EMG) associated time-intensity (TI) measurements of sensory-sweetness were carried out in order to clarify the changes in texture and sweetness while eating "monaka". As monaka samples, ones in which three kinds of bean jam "an" in their shell were used. The subject sensed sweetness more slowly, exhibited longer mastication time and higher EMG voltages for a monaka chewing than for only bean jam without shell. Sweetness duration generally related to the mastication time. The intensity of sweetness started to increase after three or four chews of monaka, reached maximum after about twenty chews and then decreased. The sweetness disappeared several seconds after monaka samples were swallowed. Similar chewing patterns for each chew were observed in EMGs, however, firmer type of bean jam was masticated longer with more chews. Sweetness awareness lasted longer with the sample containing firmer bean jam, but a lesser rate of increase appeared in the time intensity curve of firmer samples. The area under the curve or time-integrated sweetness was similar for the three samples independently of the Brix value.

(Received Nov.28,2002; Accepted Feb. 12, 2003)

食味は咀嚼中に感じられ、その食味から食品の品質が判断される。その際、ヒトの感じる味は食品に含まれている呈味成分の量で単純に決まるのではない。とくに粘度が高い液状や固形状の食品では、同量の成分を含む水溶液の味よりも弱く感じられる^{1,2)}。また、モナカのように、呈味成分を含む部分が別の素材で囲まれた構造をもつ食品においては、口に入れた瞬間に感じる味はほとんどなく、咀嚼している間に味を強く感じるようになることもある。食品の物理的性質は、歯による粉砕、唾液との混合、体温による温度変化等に

より、咀嚼の進行とともに大きく変化する³⁾が、味覚も同様であることが予想される。

咀嚼中に感じる味やテクスチャは感覚的な性質⁴⁾であるから、機器分析値で評価するのは困難であり、一般的には官能評価が適しているとされている。しかし、普通の官能評価は、試食した後に評点をつけるため、咀嚼中における変化の表現は難しい。

このような経時的な感覚強度の変化を分析する方法として、Time-Intensity (TI) 法がある。これは、連続的にあるいは決められた時間毎に、ある刺激に対する

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

*株式会社中村屋研究開発室 (〒243-0401 神奈川県海老名市東柏ヶ谷4-4-1)

[§]連絡先：食品物理機能研究室 神山かおる 電話：029-838-8031 電子メールkaoruk@nfri.affrc.go.jp

2002年11月28日受付, 2003年2月12日受理

感覚強度を官能評価し、その強度を時間に対してプロットしたT I 曲線を解析する手法である。T I 法は、咀嚼中における味覚の変化をとらえるのに適している⁵⁻⁹⁾。

一方、咀嚼中におけるテクスチャ変化の定量的手法として、近年、筋電図 (Electromyography; E M G) が導入され^{3, 10)}、著者らも利用している¹¹⁻¹³⁾。咀嚼筋の収縮に伴う電位を計測することによって、噛み応えに相当する指標を得ることができる。

菓子の食味には、テクスチャと甘味の影響が深い⁸⁾、互いに関連するテクスチャとフレーバを同時に計測している例は、他の食品を含めても極めて少ない¹⁴⁻¹⁶⁾。ここでは、甘味を含む餡が味の希薄な皮の内側にあり、咀嚼により皮が壊れてから甘味が出現すると考えられるモナカを試料として、餡の甘さに関する官能評価をT I 法で行うとともに、咀嚼筋筋電位を計測した。甘味とテクスチャの咀嚼中における変化について、皮の有無による比較と、餡の種類による比較を行った。

実 験

1. 試 料

モナカ試料として、物性、糖度の異なる3種類の餡 (中華餡A、B及び和菓子餡C) とモナカ皮 (直径60mm) を実験に用いた。これらは、株式会社中村屋で菓子類の製造に用いているものである。

餡の物理的特性として、動的粘弾性をレオメトリクス社製A R E Sを用いて調べた。条件は、直径25mmの平行プレートジグを用いて、厚さ2mm、歪0.05、角速度0.1rad/secで、25℃で測定した。

2. 筋電位及び甘さの測定

モナカを好む健康な女性13名 (平均年齢24.3歳) を被験者として評価を行った。まず実験の目的や計測手法について十分説明をし、試料を普段通りに自由に咀嚼し、嚥下させるようにした。この際、自作したスライド式スイッチにより、モナカ咀嚼中に感じる甘味強度を連続的に回答させた。このスライド式スイッチは、約10cmの直線上を指で滑らせることができるスイッチにより、連続的に出力電圧 (0～約6 V) を変えられる小型変圧器である。本実験では、甘味が全く無い時に0 V、最高強度の時に6 Vの出力となるように設定した。また、既報¹²⁾に従い、左右の咬筋および側頭筋前腹上の表面に、脳波用皿状電極を両面テープで固定し、咀嚼中の筋電位を記録した。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) で増幅した筋電位は、官能評価

信号と同時に、バイオパック社製MP100システムにより、毎秒1000回でデジタル化してパソコンに入力した。

また、予備試験を行い、餡とモナカ皮に詰めた餡の試食から、女性がモナカを一口咬み取る量として適当であった餡9gを、一回の咀嚼量とした。被験者には、まず餡Cのみを咀嚼させ、甘味の最強値を認知させるとともに、スライドスイッチの操作を訓練した。すなわち、評価前に最大値に位置していたスイッチを、試食中に感じた甘味強度に応じて被験者自身が操作し、無味が0、餡Cの甘味強度最高値で最大値となるような線尺度上を滑らせて指示し、試食後甘味が完全に消失した時に最大値に戻すという作業である。次に餡9gを含む1/4大のモナカ試料3種を各2回ずつランダムな順で与え、咀嚼試験を行った。被験者には、実験中休憩を与え、白湯を自由に摂取させた。

3. データ解析

パソコンに保存された筋電図及び官能評価データの解析は、バイオパック社AcqKnowledge (Ver.3.7.0) を用いて行った。Figは筋電図とT I 曲線の例である。

スライドスイッチの出力で示されたT I 曲線 (Figの下側の曲線) は、評価前の最大値から、噛み始め時に0に変化した (Figの3sec付近)。咀嚼中は甘味強度に応じて山形あるいは台形状の曲線を描き、嚥下を経て甘味が完全に消失した時に出力が最大値に戻った (29sec付近)。

このようなT I データから、甘味持続時間、曲線下の面積すなわち甘味強度の時間積分、甘味強度の最大値、甘味出現から最大値までの時間及び両点を結ぶ直線の傾き、最大値から甘味が消失するまでの時間及び傾き、摂食開始から甘味を感じ始めるまでの時間及び甘味を感じなくなるまでの時間を計算した。

Figの上部4段に示したのは、右咬筋、左咬筋、右側頭筋、及び左側頭筋から導出した筋電位である。既に報告されている¹²⁾ように、食品を噛んでいる時に左右の咬筋及び側頭筋が同時に活動するのが観察された。Figに示された例では、咀嚼は3sec付近で開始され、約20secまで続き、その後2回嚥下が行われた (20及び22sec付近) ことが読みとれる。このような筋電図から、摂食開始から1回目の嚥下までの咀嚼回数、咀嚼時間及び各咀嚼毎の筋活動時間、筋活動量 (筋電位の時間積分)、振幅、咀嚼周期を計算し、4筋の平均を取った。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。

さらに、筋電位4筋の平均値と官能評価データから、

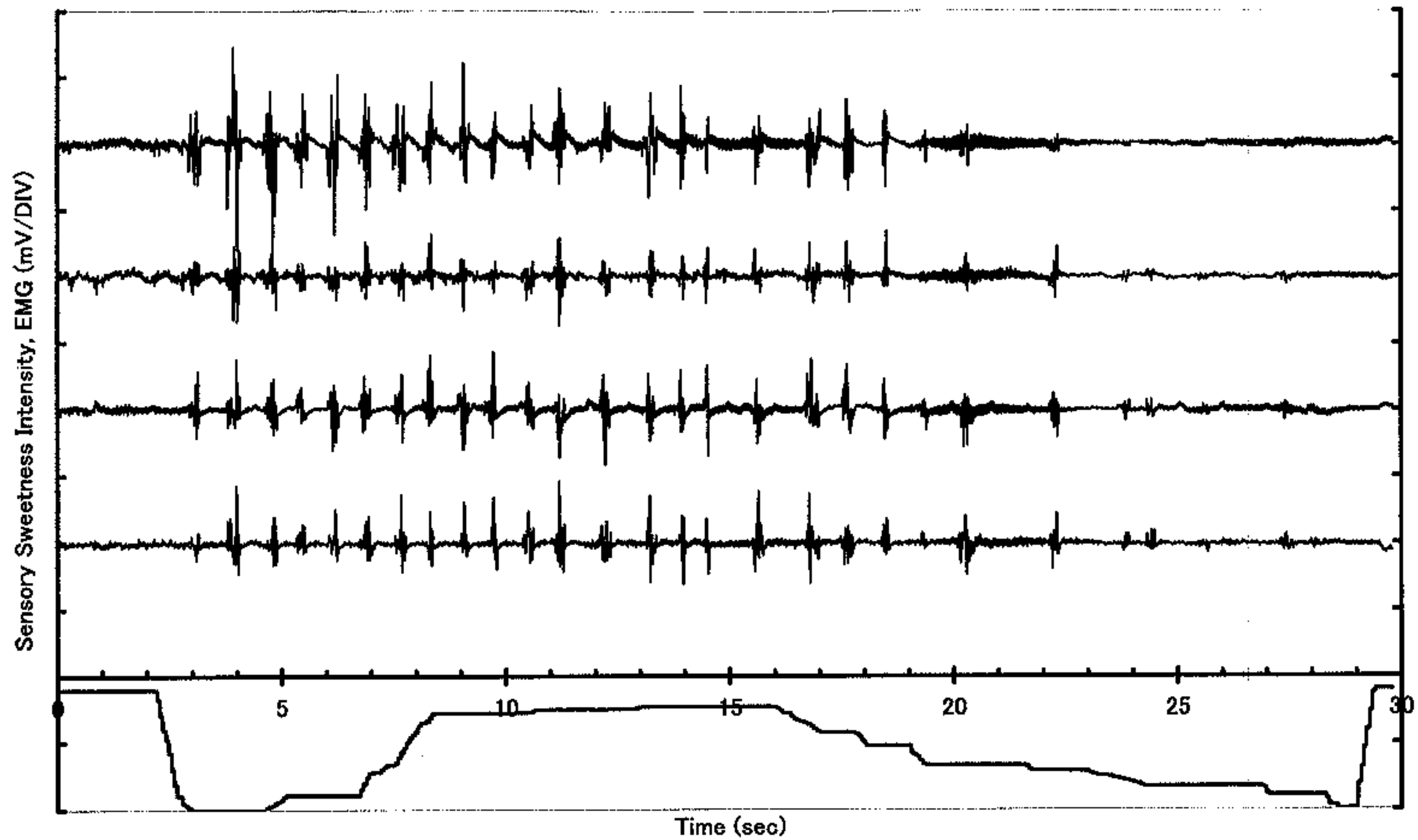


Fig. An example of the recording chart

Signals are EMG activities from right masseter, left masseter, right temporal, and left temporal muscles, and sensory sweetness intensity from the upper to lower, respectively.

甘味を感じるまでの咀嚼回数および筋活動量，甘味最大値までの咀嚼回数及び筋活動量を計算した。

統計処理はSPSS Ver9.0Jパッケージを用いた。餡とモナカとの比較には，等分散の場合には対応のあるT検定を，等分散でない場合にはWilcoxonの符号付き順位検定を行った。モナカ3種の比較では等分散性を確認後，反復測定分散分析を行った。

実験結果及び考察

1. 餡の物性

Table 1に3種の餡の糖度と動的粘弾性を示す。貯蔵弾性率 G' は弾性を，損失弾性率 G'' は粘性を表す物理定数である。その比である損失正接 $\tan \delta$ ($= G'' / G'$)は，理想的弾性体では0，理想的な粘性体では

無限大となるが，一般的に $\tan \delta$ 値が高い物質は液体的，低いと固体的と言える。 G' が高く $\tan \delta$ 値が低いAは硬い餡， $\tan \delta$ の高いBは粘りのある餡，また G' ， G'' ともに低いCは軟らかく粘りの少ない餡と特徴づけられる。

2. 咀嚼中の餡とモナカの筋電図とT I曲線

Figの上部4段に示した筋電図では，咀嚼初期に認められた大きな振幅が後期では小さくなることが観察された。ここで筋電位を測定した咬筋と側頭筋は共に，下顎を閉じる閉口筋であり，強く噛みしめる時に強い筋電位が発生する¹⁰⁾。この知見から，モナカ咀嚼において，初期に強い噛みしめ力が必要であるが，咀嚼の進行に伴い噛む力が弱くなってゆくことが推察される。一方，食物を破砕するまでの時間と，破砕後に歯間に存在して歯にかかる抵抗力となる時間の大小によって，筋活動時間に変化すると考えられる。この筋電位と筋活動時間両方の効果により，噛みごたえのある食品では，1回の咀嚼当たりの筋活動量（振幅×時間）が高くなる。また，一般に噛みにくい食品では嚥下までの咀嚼回数が多く，長時間噛むようになる。嚥下前には食塊を作るために舌が活発に運動する^{11, 12)}が，その間は閉口筋が働かない。本実験結果でも，嚥下直前に筋活動時間は短くなるが咀嚼周期が延長する現象が観察された。

Table 1. Physical properties of three types of bean jam

sample	A	B	C
Brix	71	71	59
Dynamic viscoelasticity			
G' (kPa)	81	71	34
G'' (kPa)	23	25	11
$\tan \delta$	0.28	0.35	0.32

TI 曲線で甘味強度が現れるのは、筋電位開始よりも遅れた(Fig)。咀嚼開始から甘味出現までの時間は、平均すると約4秒程度であり (Table 2), この間に3~4回の咀嚼が行われた。この事実より、餡のみを単に口の中に入れただけでは、すぐに甘味は感じないことがわかった。咀嚼により変形を受け、分泌された唾液に餡中に含まれていた糖分が溶解することによって、ようやく甘味が感じられるのであろう。甘味は、試料を嚥下した後でも数秒間残存した。

モナカでは、表面に餡よりも硬い皮が存在するために、

餡だけの場合よりも、甘味最大値までの咀嚼回数が多くなり、咀嚼筋活動が高くなった (Table 2)！また、餡のみよりも筋電位の振幅が大きく、咀嚼回数も多く、それに伴い総筋活動時間や総筋活動量が大きくなり、咀嚼量の増加を示していた。

同量、同種類の餡を含む場合、甘味最大値には差が認められなかったが、皮があるモナカでは、最大値に達するまでの時間が有意に長く、甘味上昇傾きは小さくなった。皮を噛む分、咀嚼時間が長くなるために、甘味持続時間も、それにほぼ並行して延長した。

Table 2. Parameters observed during mastication of bean jam C and monaka containing sample C

parameters	homogeneity	difference	bean jam C		monaka C	
		in mean	mean	S.E.	mean	S.E.
from EMGs						
number of chews		**	21.2	3.1	40.5	3.9
mastication time (sec)		*	20.9	1.6	33.7	3.9
EMG duration (sec/chew)	**		0.31	0.05	0.30	0.03
EMG activity (mV·sec/chew)			0.024	0.004	0.031	0.005
amplitude (mV/chew)		*	0.76	0.13	1.14	0.16
cycle (sec/chew)	*		1.13	0.18	0.84	0.02
total EMG duration (sec)	*	*	6.3	0.9	12.1	1.6
total EMG acitivity (mV·sec)	*	*	0.515	0.116	1.282	0.299
from TI						
sweetness duration (sec)		*	20.3	2.8	32.5	3.0
area under the curve (V·sec)			53.1	7.6	110.8	17.8
peak intensity (Imax) (V)			5.15	0.43	5.60	0.27
time before Imax (sec)		*	8.0	1.9	12.2	1.6
time after Imax (sec)	**		12.3	1.7	20.3	4.1
rate of increase (V/sec)		**	0.786	0.129	0.528	0.078
rate of decrease (V/sec)			0.489	0.108	0.362	0.094
lag time (sec)			4.5	2.5	3.9	1.6
time to extinction (sec)			24.8	1.6	36.4	3.4
from both						
number of chews before onset time			3.3	1.3	4.8	2.0
EMG activity before onset time (mV·sec)			0.091	0.051	0.198	0.099
number of chews before Imax			14.3	2.9	20.4	3.1
EMG activity before Imax (mV·sec)		*	0.361	0.086	0.693	0.174

**, $p<0.01$; *, $p<0.05$. Mean and standard error of 6 subjects.

3. 餡の異なる三種のモナカの差異

Table 3は、餡の異なる三種のモナカの筋電図及びTI 曲線に関するパラメータである。多くのパラメータは、貯蔵弾性率 G' (Table 1)の大きさ順である、A, B, Cの順番を示した (Table 3)。すなわち、モナカA, Bに比べCでは咀嚼回数が少なく、咀嚼時間、甘味を感じている時間も有意に小さかった。モナカAはB, C

に比べ、咀嚼開始から甘味最大値が出現するまでの時間が長く、甘味強度が最大になるまでの筋活動量が高かった。A, Bの餡はCに比べてBrix値が高いが、モナカを噛んだときの甘味強度は、最大値、時間積分値ともには高くはなかった。これは、硬い食品ほど甘味が弱く感じられる^{1, 2)}という一般的知見と一致した。また、Brix値の等しいAとBの餡を含むモナカを比較すると、

Table 3. Parameters observed in masticatory electromyography(EMG)s and time intensity of sweetness for the three monaka samples

parameters	F-ratio	monaka A		monaka B		monaka C	
		mean	S.E.	mean	S.E.	mean	S.E.
from EMGs							
number of chews	9.37**	37.4b	2.7	35.2b	2.9	32.4a	2.9
mastication time (sec)	5.19*	35.5b	2.8	33.4b	3.1	29.3a	2.3
EMG duration (sec/chew)	1.11	0.31	0.01	0.31	0.01	0.32	0.02
EMG activity (mV•sec/chew)	0.60	0.027	0.004	0.028	0.003	0.027	0.003
amplitude (mV/chew)	1.69	0.95	0.13	0.96	0.13	0.92	0.11
cycle (sec/chew)	0.98	0.98	0.06	1.02	0.07	0.95	0.05
total EMG duration (sec)	1.64	11.5	0.9	11.7	1.5	10.5	0.9
total EMG activity (mV•sec)	1.72	1.065	0.223	1.158	0.327	0.921	0.167
from TI							
sweetness duration (sec)	4.84*	38.4b	3.1	36.5ab	3.1	33.5a	2.7
area under the curve (V•sec)	1.40	112.4	13.7	105.4	12.2	101.5	11.2
peak intensity (Imax) (V)	2.55	5.10	0.19	5.31	0.18	5.55	0.25
time before Imax (sec)	4.22*	13.3b	1.3	10.6a	0.7	11.3a	1.1
time after Imax (sec)	3.35	25.1	3.4	25.9	3.4	22.1	2.5
rate of increase (V/sec)	1.93	0.497	0.077	0.658	0.126	0.577	0.059
rate of decrease (V/sec)	0.42	0.319	0.076	0.272	0.046	0.312	0.049
lag time (sec)	0.66	2.5	0.3	3.1	0.6	3.0	0.8
time to extinction (sec)	3.78*	40.9a	3.2	39.5a	3.1	36.4a	2.8
from both							
number of chews before onset time	0.52	3.1	0.4	3.8	0.7	3.5	1.0
EMG activity before onset time (mV•sec)	0.60	0.112	0.018	0.138	0.036	0.134	0.048
number of chews before Imax	2.84	19.6	1.6	17.1	1.4	17.7	1.8
EMG activity before Imax (mV•sec)	4.06*	0.591b	0.092	0.530ab	0.087	0.522a	0.093

Mean and standard error of 13 subjects.

**, $p < 0.01$, *, $p < 0.05$. Mean values in a row with different alphabetical letters differ significantly ($p < 0.05$).

BはAよりも、甘さ最大値に達するまでの時間が短く、甘味の持続時間がやや短い、という甘さの感覚に違いが見られた (Table 3)。

咀嚼1回当たりの筋電図パラメータ及び甘味強度最大値、甘味強度の時間積分、甘味出現までの咀嚼回数等にはモナカに含まれる餡の差は、有意には観察されなかった。物性の異なる餡の場合でも、1回の咀嚼動作には大きな違いがないが、硬い餡を含むモナカの場合には、咀嚼回数が多くなり、それに伴って、味の持続性も長くなった。しかし、咀嚼時間の増加分以上に、甘味の感覚が長く持続することはなかった。

いずれのモナカでも、甘味出現までには3～4回、甘味最高値に達するまでには20回弱の咀嚼が行われていた。甘味最大値までの筋活動量 (Table 3の最下行) と咀嚼中の筋活動量総和 (上から8行目) の比を取ると、どの試料でも0.5程度であった。この事実は、咀嚼が約半分進行しないと、モナカの甘味は最大値に達しないことを意味する。すなわち、食品の味を十分に味わうためには、丸飲みや早食いを避け、良く噛む必要があ

ることを強く支持している。

甘味の大変強い食品である菓子、モナカでの結果を、構造、物性、味質の異なる食品一般に拡大解釈することはできないが、歯で咀嚼して食べる固形状食品においては、味は咀嚼開始後に出現すること、味の最大値は咀嚼の進行に伴い現れること、咀嚼時間に味の持続時間は連動することが示唆された。硬い食品になれば、感覚的味覚強度が弱くなる^{1,2)}が、味の持続時間は長くなる。したがって、今回の結果では有意差が認められなかったが、TI曲線下の面積で表される味強度の時間積分値は硬い食品の方が大きくなる場合もあるものと推測される。モナカは強い甘味をもつ餡が無味に近い皮に包まれた食品であるが、皮の存在によって餡の甘味感覚強度は大きくなった。例えば、濃い味の食品に、無味で噛みごたえを増す繊維質の食品を組み合わせることによって味の感覚を持続させ、糖分等の摂取しすぎを防ぎつつ満足度を上げるような食品設計は可能かもしれない。

以上のように、本研究で行った筋電図とTI曲線の

解析は、咀嚼中に変化する味覚とテクスチャとの関係解明に、有効な手段であると考えられる。味の種類、強度、味物質濃度と味覚強度との関係、また食品の形態や物性が変化した場合においても、本手法は応用可能である。

要 約

モナカの咀嚼中に変化する甘味とテクスチャを解析するために、筋電図と甘味のTI測定を同時に行い、本法が有効な手段であることを示した。同じ種類・量の餡を含むモナカを食するときには餡のみの場合よりも、甘味は遅く感じられ、咀嚼時間は長く、1回の咀嚼で現れる筋電位は高くなった。モナカの咀嚼において、甘味が感じられる時間は、ほぼ咀嚼時間に並行して変化するが、3回ほど咀嚼した後に甘味が出現し、約20回咀嚼して甘味が最大になり、試料を嚥下してから数秒間は甘味が持続した。1回咀嚼する毎に現れる筋電図のパターンは、餡（3種類）が異なってもほとんど変化しなかった。硬い餡を含むモナカでは、咀嚼回数が多く長時間かけて咀嚼されるとともに、甘味は長時間持続し、甘味上昇速度が遅かった。一方、TI曲線下の面積で表される甘味時間積分値は、糖度には依らず3種の試料で同じだった。

謝 辞

本研究の一部は、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い、平成14年8月、日本食品科学工学会大会において発表した。咀嚼実験に参加されたボランティアに感謝する。

文 献

- 1) Morris, E. R., Rheological and organoleptic properties of food hydrocolloids. In "Food Hydrocolloids", eds. Nishinari, K. and Doi, E., (Plenum Press, New York), pp.201-210 (1993).
- 2) 畑江敬子, 戸田貞子, 今井悦子, 松岡芳子, Doubles, P. G., 香西みどり, 高齢者と若年者における口腔内感覚の比較—ざらつき感覚と呈味効率—, 食科工, 48, 491-497 (2001).
- 3) 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).
- 4) Szczesniak, A. S., Texture is a sensory properties. *Food Qual. Prefer.*, 13, 215-225 (2002).
- 5) Kilcast, D., Sensory techniques to study food texture. In "Food Texture-Measurement and Perception", ed. Rosenthal, A. J., (Aspen, Gaithersburg), p.30-64 (1999).
- 6) Dijksterhuis, G. B. and Piggott, J. R., Dynamic method of sensory analysis. *Trends Food Sci. Technol.*, 11, 284-290 (2001).
- 7) Duizer, L. M., Gullett, E. A. and Findlay, C. J., Time-intensity methodology for beef tenderness perception, *J. Food Sci.*, 58, 943-947 (1993).
- 8) Jack, F. R., Piggott, J. R. and Paterson, A. Analysis of textural changes in hard cheese during mastication by progressive profiling. *J. Food Sci.*, 59, 539-543 (1994).
- 9) Gunard, J. -X. and Marty, C., Time-intensity measurement of flavor release from a model gel system: effect of gelling agent type and concentration, *J. Food Sci.*, 60, 727-730 (1995).
- 10) 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).
- 11) Kohyama, K., Ohtsubo, K., Toyoshima, H. and Shiozawa, K., *J. Texture Stud.*, 29, 101-113 (1998).
- 12) Kohyama, K., Kobayashi, S., Hatakeyama, E. and Suzuki, T. Electromyographic study of mastication of kelp snack. *J. Texture Stud.*, 31, 577-590 (2000).
- 13) 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).
- 14) Wilson, C. E. and Brown, W. E., Influence of food matrix structure and oral breakdown during mastication on temporal perception of flavor, *J. Texture Stud.*, 21, 69-86 (1997).
- 15) Brown, W. E., Braxton, D. Dynamics of food breakdown during eating in relation to perceptions of texture and preference: a study on biscuits, *Food Qual. Prefer.*, 11, 259-267 (2000).
- 16) Sprunt, J. C., Rathatha, C. E. and Smith, A. C., Swallow indicator methodology as an enhancement to combined time-intensity measurement of flavour release and electromyography, *Food Qual. Prefer.*, 13, 47-55 (2002).