

## Electromyography and Mechanomyography during Oral Processing of Food with Different Texture

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2019-12-20 キーワード (Ja): キーワード (En): Texture evaluation, mastication, mechanomyography, electromyography, gel 作成者: 神山, かおる, 高, 智紅 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://doi.org/10.24514/00002912">https://doi.org/10.24514/00002912</a>

技術報告

力学特性が異なる食品咀嚼中の筋電図と筋音図の比較

神山 かおる<sup>§</sup>, 高 智紅

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構食品総合研究所食品機能研究領域食品物性ユニット  
〒305-8642 茨城県つくば市観音台2-1-12

**Electromyography and Mechanomyography during Oral Processing of Food with Different Texture**

Kaoru Kohyama<sup>§</sup> and Zhihong Gao

Food Physics Laboratory, Food Function Division, National Food Research Institute,  
National Agriculture and Food Research Organization,  
2-1-12 Kannondai Tsukuba Ibaraki 305-8642

**Abstract**

Electromyography (EMG) using surface electrodes and mechanomyography (MMG) that are non-invasive methods were applied during oral processing of various food items. EMG has been widely used for the study of food texture, whereas MMG has not been applied. A wide range of food samples such as thin liquid, thick liquid, soft gel, and two hard gels were used because their methods of oral processing are different. Electromyogram of both masseter and suprahyoid muscles and mechanomyogram of the right masseter muscle were recorded while normal subjects freely ate 6 g of food samples. Masseter muscle activity was shown, and the MMG signal was observed at the beginning and ending of the masseter EMG burst for each chew. Both EMG and MMG could analyze mastication kinematics such as the number of chews, masticatory time, and chewing cycle. The EMG signal amplitude increased for harder food items that required a greater chewing force, but the MMG signal amplitude did not relate to the food texture. These results suggest that both methods are useful for studying mastication kinematics, but EMG is more suitable for the study of food texture.

Keywords: Texture evaluation, mastication, mechanomyography, electromyography, gel

---

<sup>§</sup> 連絡先 (Corresponding Author), kaoruk@affrc.go.jp

## 和文要旨

被験者の負担が少ない咀嚼計測法として汎用されている筋電位と応用例のない筋音を比較した。摂食様式が異なる、低粘性の液体、高粘性の液体、軟らかいゲル、歯で噛まれる2種類のゲルという力学的特性が広範囲な食品を用いて、筋電図と筋音図を同時測定し、試料の力学的特性が及ぼす影響について検討した。健康な成人被験者が食品6gを自然に摂食する時に、代表的な咀嚼筋である咬筋の筋電位と筋音、舌骨上筋群からの筋電位を同時に収録した。一回噛む毎に、閉口に伴う咬筋の筋電位と、開口に伴う舌骨上筋群の筋電位が交互に出現し、咬筋の収縮前後に筋音が発生した。どちらの方法でも咀嚼回数や咀嚼時間、咀嚼周期等の咀嚼運動情報が得られた。一方、強い咀嚼力が必要な硬い食品で筋電位振幅が増加したが、筋音振幅は咀嚼力には対応していなかった。以上のことから、咀嚼運動の分析には筋電図、筋音図とも使用できるが、食品テクスチャー研究には筋電図の方が優れていることが示唆された。

キーワード：テクスチャー評価、咀嚼、筋音図、筋電図、ゲル

## 緒言

近年、食品テクスチャー研究に摂食中のヒトの挙動の直接計測が取り入れられるようになった<sup>1-4)</sup>。古くから行われてきた力学機器測定や官能評価によるテクスチャー測定法を補完する情報が得られる。例えば、摂食中に大きく変化するテクスチャーの動的な分析、歯で噛む／舌と硬口蓋の間で押し潰す等の摂食様式の違い、摂食挙動の個人差を客観的に数値として表現することができる。

食品研究者が行う摂食中のヒト計測では、咀嚼筋の皮膚表面から記録した筋電位計測 [Electromyography (EMG)] が最も広く用いられている<sup>5,6)</sup>。筋電位を時間に対してプロットした筋電図は、表面電極を用いた場合多数の筋繊維の活動電位が重畳した波形となり、筋の電気的活動を反映する<sup>5,7)</sup>。咀嚼筋のうち咬筋は皮膚表面に近い位置にある大きな筋肉で、測定に高度な技術は不要で、噛む力が増すと振幅が大きくなることが知られている<sup>6)</sup>。装置も比較的安価である。基礎研究の場にとどまらず、近年では企業における食品開発でも取り入れられている<sup>4)</sup>。

一方、筋音測定 [Mechanomyography (MMG), Vivromyography (VMG), Acoustic myography (AMG), Soundmyography, Sonomyography (SMG), Phonomyography (PMG) 等と呼ばれる] は、筋肉の収縮伸張に伴う微細な振動を記録するもので、筋の機械的活動を反映する信号が得られる<sup>7)</sup>。近年ではMMGとその図としてのmechanomyogramが最も使われる用語だが、日本では直訳とは違う筋音という名称が一般的である<sup>7)</sup>。筋音も、筋肉表面に音、振動、加速度を

検出するいずれかのセンサを装着して計測され非侵襲的であること、筋音計は筋電位測定の装置よりさらに安価で小型であることから、もし食品テクスチャー分析に有効な情報が得られれば、広く応用できると期待される。

筋電位と筋音は同じ筋で同時測定することができ、手指<sup>8)</sup>や大腿部<sup>9)</sup>の筋について運動生理学研究がある。食品咀嚼に関しては、筋電位は多くの文献がある<sup>1-6)</sup>のに対し、筋音の応用はみられない。関連分野としては、持続的に食いしばった時の咬筋活動<sup>10)</sup>及び嚥下時の顎下筋の活動<sup>11)</sup>について、筋電図と筋音図が報告されているのみである。

本研究では、摂食様式が異なる、低粘性の液体から固体状食品までのテクスチャーが広範囲な食品を用いて、代表的な咀嚼筋である咬筋の筋電位と筋音を同時測定し、試料による影響について検討した。

## 実験方法

### 1. 食品試料

低粘性の液体である水 (サントリーフーズ(株)、南アルプスの天然水)、高粘性の液体として嚥下困難者用増粘剤で調製したゾル (キッセイ薬品工業(株)、スルーソフトリキッド15%w/w)<sup>12)</sup>、舌と口蓋で潰して食べられる軟らかいゼリー (雪印メグミルク(株)、フルーティりんごゼリー) と歯で噛んで食べるプロセスチーズ (雪印メグミルク(株)、ベビーチーズ、以下チーズ) 及び寒天をベースとしたゲル状食品 (鈴木製菓(株)、マルキミックスゼリー、以下寒天ゲル) を用いた。測定は20℃の室内で行った。チーズはカットした後冷蔵庫に入れ、実験直前まで5℃に保った。そ

の他の試料はすべて20℃に1時間以上放置した。

## 2. 力学的特性の測定

テクスチャー特性試験は、2バイト法のテクスチャー分析法で行った。すなわち、一軸引張圧縮試験機 (RE-33005, 山電(株)) で、試料表面の5 mm上方から試験を開始し、第1バイトでは食品の高さの66.7%まで1 mm/sの等速圧縮した後、直ちに同じ速度で逆向きにプランジャーを初期位置まで引き上げ、続いて第2バイトを実施した。荷重をプランジャー断面積で除して応力、貫入距離を試料の初期高さで除して歪を求め、得られた応力-移動距離曲線から、第1バイト時の最大応力である「硬さ」、第1バイトでプランジャーを引き上げる際の試料体積あたりの仕事量である「付着性」、第2バイトと第1バイトの圧縮時の仕事量の比「凝集性」を算出した<sup>14)</sup>。

水、ゾル、ゼリーは、「えん下困難者用食品」の基準測定法<sup>13)</sup>に従い、食品試料を直径40 mm、高さ15 mmのステンレス製シャーレに充填し、直径20 mmの樹脂製円柱状プランジャーを用いて行った。なお、「えん下困難者用食品」の基準による液体状食品の測定では、「凝集性」は流動しやすさを示し、凝集しやすさとは異なる意味をもつ。そこで、本文中では、「硬さ」、「付着性」、「凝集性」と、「」つきで示した<sup>14)</sup>。

噛んで食べられる固体状食品 (チーズと寒天ゲル) については、一片15 mmの立方体状に切り、直径

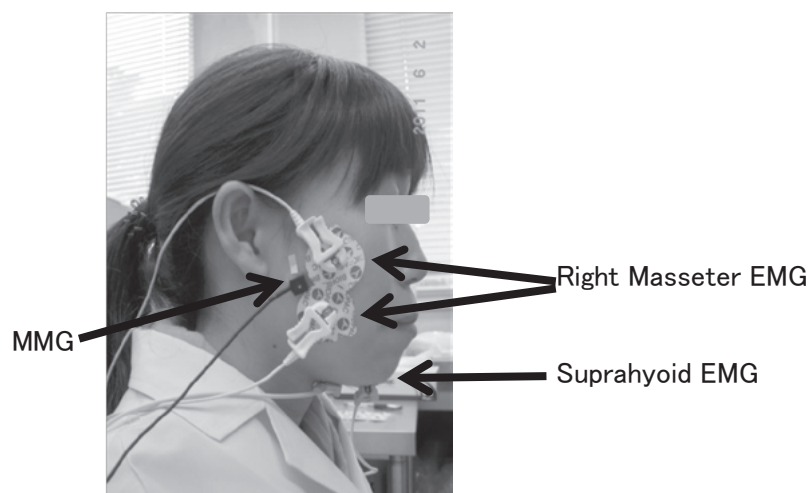
3 mmの樹脂製円柱状プランジャーを用いて、同上の条件で2回圧縮し、「硬さ」、「付着性」、「凝集性」を求めた。

## 3. 咀嚼計測

実験計画は、(独) 農業・食品産業技術総合研究機構食品総合研究所、人間を対象とする生物医学的研究に関する倫理委員会の承認を得て、実験方法・安全性について事前に説明し、同意を得たうえで実験を行った。健康有歯顎者9名 (男性3名、女性6名、平均年齢41.1歳) を被験者とした。

被験者の左右の咬筋及び舌骨上筋群に表面電極 (バイオパック製EL503) をそれぞれ2個貼り付け、アンプ (バイオパック製筋電アンプEMG100C) を用いて増幅 (Gain 1000, 収録周波数範囲10~500 Hz, 50 Hzの交流ノイズを除去) し、筋電位を測定した。なお、基準電極は咀嚼時に動かない利き腕でない側の手首に装着した。同時に、筋音計 (メディセンス製MPS110) を用いて、右咬筋の筋電位電極の間に加速度トランスデューサ (9×9×4 mm, 約1.5 g) を両面テープで貼り、筋音図を得た (Fig. 1)。筋音は、ヘッドアンプで増幅 (Gain 1, 500 mV/G) 後、Gain 5×1, 周波数範囲1~250 Hzの条件で測定した。

被験者を装置に慣れさせ、実験者が電極類の装着位置を確認するために、本試験前に食いしばり、開口、チューインガム (ロッテ(株)、フリーゾーン) 1粒の



**Fig. 1 Setting of EMG electrodes and an MMG sensor**

The electrodes for EMG of the left masseter muscle are placed on the left side of the cheek.

咀嚼を行わせた。装着位置が適正であることを確認後、一口量として6gの試料をプラスチックスプーンに載せ、ランダムな順で被験者の口に入れ、自由に摂食、嚥下させた。被験者には、ボタンスイッチを渡し、嚥下をする毎に押すように指示した<sup>15)</sup>。筋電位（3筋）、筋音及び押ボタン信号は、5チャンネル分を同時にバイオバック製MP150システムにより、PCにサンプリングレート2000 Hzで収録し、付属の波形解析ソフトウェア（バイオバック製AcqKnowledge ver. 3.8.2）を用いて解析した。既報<sup>15)</sup>のように、バースト状の筋電位信号が出現する毎に、振幅、筋活動時間、筋活動量（バースト面積）、周期を求め、活動1回毎の平均値を計算した。また、嚥下までの筋活動回数と、筋活動量総和を算出した。咀嚼側を決めずに自由に摂食しているため、咬筋筋電位のパラメータは左右の咬筋の平均値を用いた。咀嚼回数、咀嚼周期等、開口筋と閉口筋の筋電位と、閉口筋の筋音とで、ほぼ同等の情報が得られ

るパラメータは、もっともS/N比が大きかった咬筋筋電位から求めた。

#### 4. 統計解析

有意水準を $p < 0.05$ とし、統計処理ソフトSPSS 17.0J for Windowsを用いて、一元配置分散分析により試料差を解析した。有意差が認められた場合は、Tukeyの多重比較を行った。

### 結果及び考察

#### 1. 機器測定結果

Table 1 にテクスチャー機器測定結果を示す。歯を使わずに、直ちにあるいは舌と硬口蓋の間で押し潰された後に嚥下される食品試料（Fig. 2(a)）は、水<ゾル<ゼリーの順で応力が高く、「硬さ」と「付着性」が高値になった。「硬さ」は、ゾルが水の約2倍、ゼ

Table 1. Mechanical properties of food samples

Sample	Hardness (kPa)	Cohesiveness	Adhesiveness (J/m <sup>3</sup> )	Fracture Stress (kPa)	Fracture Energy (kJ/m <sup>3</sup> )
Water	0.166 a	0.998 <i>e</i>	14.1 c	nf	nf
Sol	0.334 a	0.907 <i>d</i>	42.1 c	nf	nf
Jelly	1.46 a	0.341 a	25.0 c	1.46 a	0.158 a
Cheese	332 b	0.606 c	78100 a	258 b	29.6 b
Agar Gel	593 c	0.393 b	47400 b	593 c	54.4 c

Mean values of more than 3 replicates.

nf, not fractured.

<sup>1)</sup>Cohesiveness of liquid samples written in *italics* relates to fluidity and does not mean cohesive property.

Mean values followed by a different alphabetical letter were significantly different as determined by Tukey's multiple comparison test.

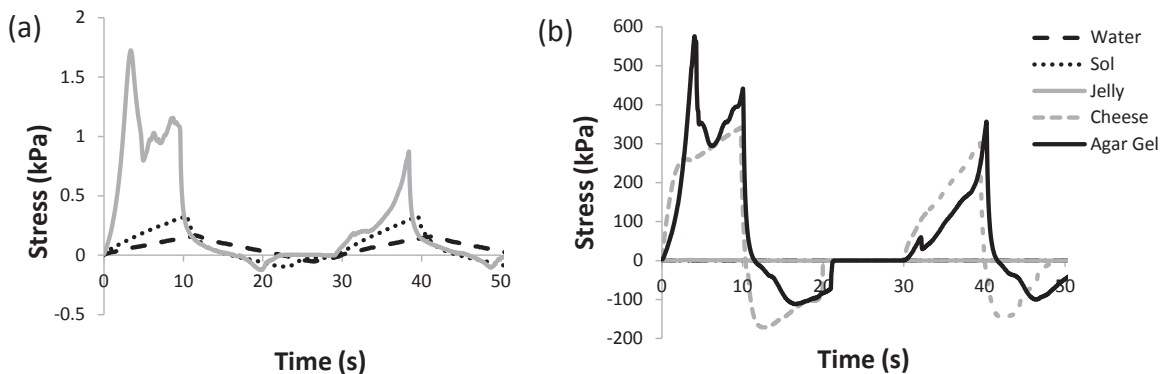


Fig. 2 Texture profile curves of five food samples

(a) Sample in a cup ( $\phi 40 \text{ mm} \times 15 \text{ mm}$ ) is compressed using a cylindrical probe ( $\phi 20 \text{ mm}$ ).

(b) Sample (15 mm thick) is penetrated using a cylindrical probe ( $\phi 3 \text{ mm}$ ).

リーが約10倍であった。ゼリーは第1バイトの圧縮途中で破壊された。「凝集性」は水>ゾル>ゼリーと小さくなり、水の値はほぼ1だった。容器に入れた水は瞬時に流動し、元の形に戻るため第2バイトは第1バイトと同じ波形になる。ゾルでは圧縮後元の状態に戻るまでに時間がかかるが、本実験条件（圧縮速度1 mm/s）では第2バイトまでにはほぼ回復しているため「凝集性」値は0.907となった。しかし、もし速度が速ければ、第2バイトまでに十分な時間がなく、見かけの「凝集性」値が低くなる。ここでは水とゾルの「凝集性」は、凝集しやすさではなく、明らかに流動しやすさを示しており、本来の意味とは異なる<sup>12,14)</sup>。

歯を用いて咀嚼する食品では、Fig. 2(b)のようなテクスチャー測定波形が見られた。これらの食品は、水に対して荷重は約100倍、応力は、プランジャーの大きさが異なるため、1000倍以上高くなった。Table 1に示すように、寒天ゲルとチーズを比較すると、「硬さ」は寒天ゲル、「凝集性」および「付着性」はチーズの方が高くなった。

水やゾルは液体であり、容器に入れないと形を保てない。舌で押せば流れ、口腔内で同じ場所に留まてはいない。実際に水は直ちに嚥下された。一方、食品の種類が異なっても、舌と口蓋で食品を十数%ほど圧

縮し、口腔内で認知されたテクスチャーによって食べ方が決定される<sup>16)</sup>。濃厚なゾルや軟らかいゼリーのような場合は、液体か固体かで摂食様式が分かれるのではなく、口腔内において同じような変形がまず与えられると考えられる。液体と固体試料を同じ条件で力学機器測定することは困難だが、ほとんどの食品はその中間の性質を示すものであり、必ずしも異なる摂食様式になるとは限らない。

## 2. ヒト測定結果

Fig. 3は食いしばった時(左)と開口時(右)の筋活動の例である。食いしばる時には閉口筋である咬筋筋電位が大きく現れ、開口時には開口筋である舌骨上筋群筋電位が出現した。咬筋の筋音は閉口、開口の開始と終了時に短く観察された。本研究では加速度を検出しているが、音のセンサを用いて食いしばり時に報告されている<sup>10)</sup>と同様のタイミングで筋音が検出された。

Fig. 4は、水、ゾル、ゼリーの測定結果の例である。水は直ちに嚥下され、閉口筋筋電位がほとんど観察されなかった。ゾルは複数回の嚥下が行われることも多く、この例では3回嚥下されている。舌骨上筋群が嚥下毎に働いており、そのタイミングで、弱い咬筋活

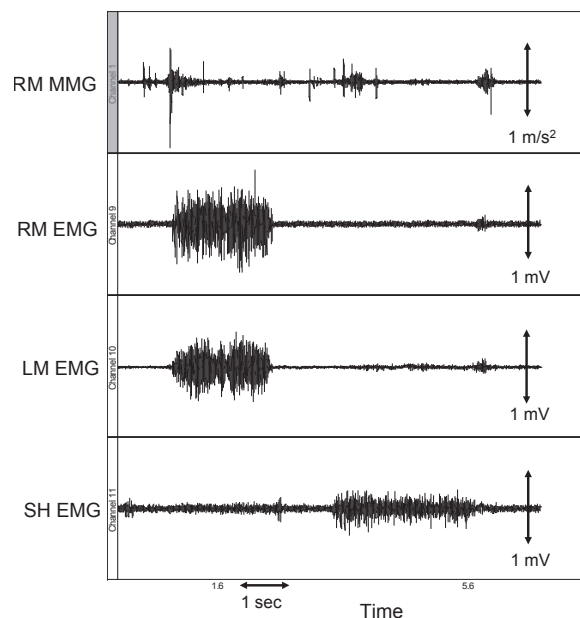


Fig. 3 MMG and EMG signals during clenching and jaw opening

From top to bottom, mechanomyogram of the right masseter muscle, electromyogram of right and left masseter muscles, and electromyogram of suprahyoid muscles.

動が認められた<sup>17)</sup>。ゼリーでは、摂食時間が数秒と長く、口の中にゼリーが留まり、咬筋筋電位が明らかではないことから、舌で何回か潰された後で嚥下されている<sup>17)</sup>ことが示唆される。いずれも筋音信号は、筋電位バーストより数多く見られる。

歯で噛まれる食品として、寒天ゲルの咀嚼と嚥下時の測定例をFig. 5に示す。咬筋と舌骨上筋群の筋電位が高頻度で現れており、咀嚼していることが示されている。右側は時間軸を拡大したものであるが、1秒よりも短い周期で閉口筋と開口筋の筋電位が交互に出現していることが解る。振幅は閉口筋の方がシャープである。同じ右咬筋からの筋音は筋電位に対し、2倍の回数、ほぼ筋電位バーストの活動開始期と終了時に出現した。

Fig. 6は同一被験者のチーズ咀嚼時の計測データである。「付着性」や「凝集性」の大きいチーズは、寒天ゲルよりも咀嚼後半、一回目の嚥下後、律動的な咬筋筋電位が観察されなくなってしまう時間が長かった。

以上の測定結果に関して統計処理を行い、食品試料間に有意差が認められたものをTable 2に示す。咀嚼

周期は、閉口筋の筋音、閉口筋及び開口筋の筋電位のどれからも求められ、ほぼ同等の値となる。非活動期が明確で、精度良く活動時間を決定できるのは、閉口筋筋電位だったため、Table 2の咀嚼周期、咀嚼回数は咬筋筋電位から求めた値である。嚥下回数は、有意差は認められなかったが、チーズで最も高値の2.4回、寒天ゲルが1.9回、水が最も少なく1.1回であった。チーズと寒天ゲルはどちらも咀嚼回数が30回で、有意差は認められないが、咬筋筋電位の平均振幅及び筋活動量総和は寒天ゲルの方が大きく、舌骨上筋群の筋電位平均振幅（表には示していない）、筋活動量総和及び嚥下回数はチーズの方が大きかった。このことは「硬さ」値の高い寒天ゲルがより大きな咬筋活動を要し、「付着性」「凝集性」の高いチーズがより大きな舌骨上筋群の活動を要することを示唆している<sup>6, 15, 18)</sup>。

### 3. 筋電図と筋音図の比較

表面電極を用いた筋電図、筋音図とも、測定の実行やすさ、被験者の負担の小ささから考えて、食品研究分野における摂食時の生理学的計測法として実用可能と考えられた。筋電位と筋音の同時計測は、咬筋では

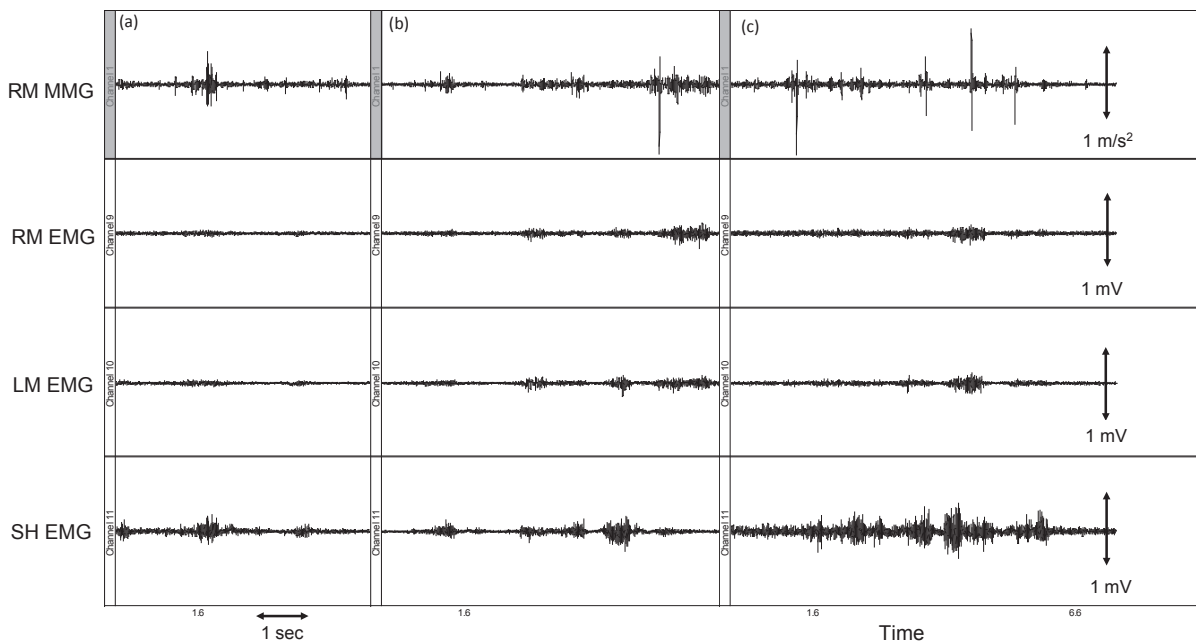
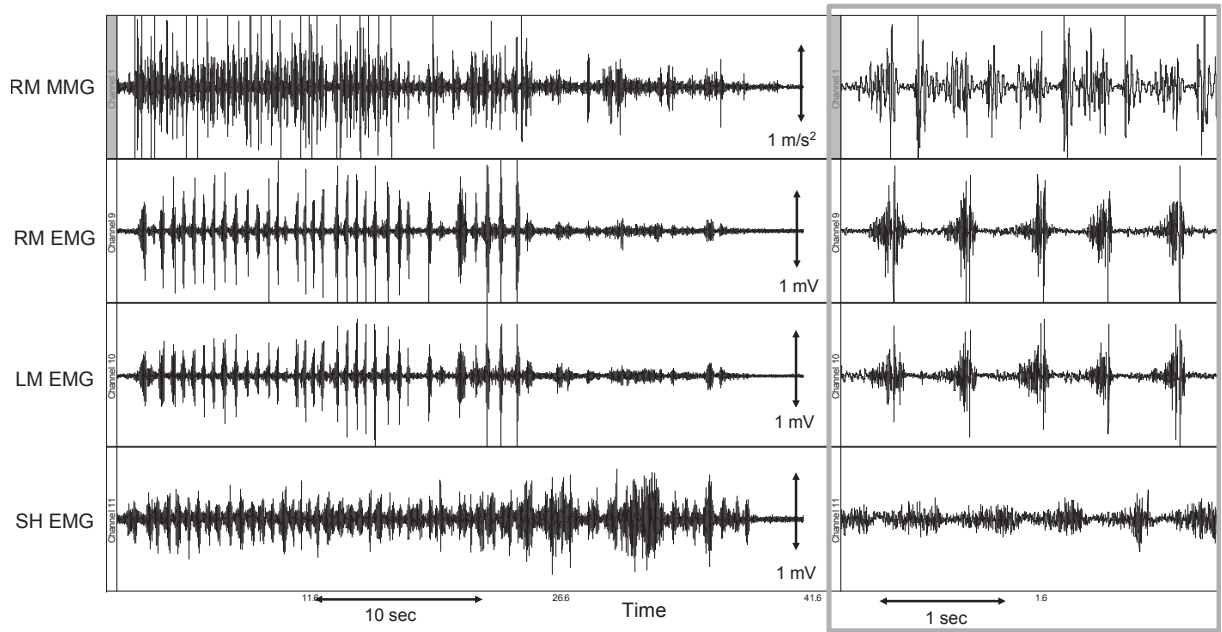


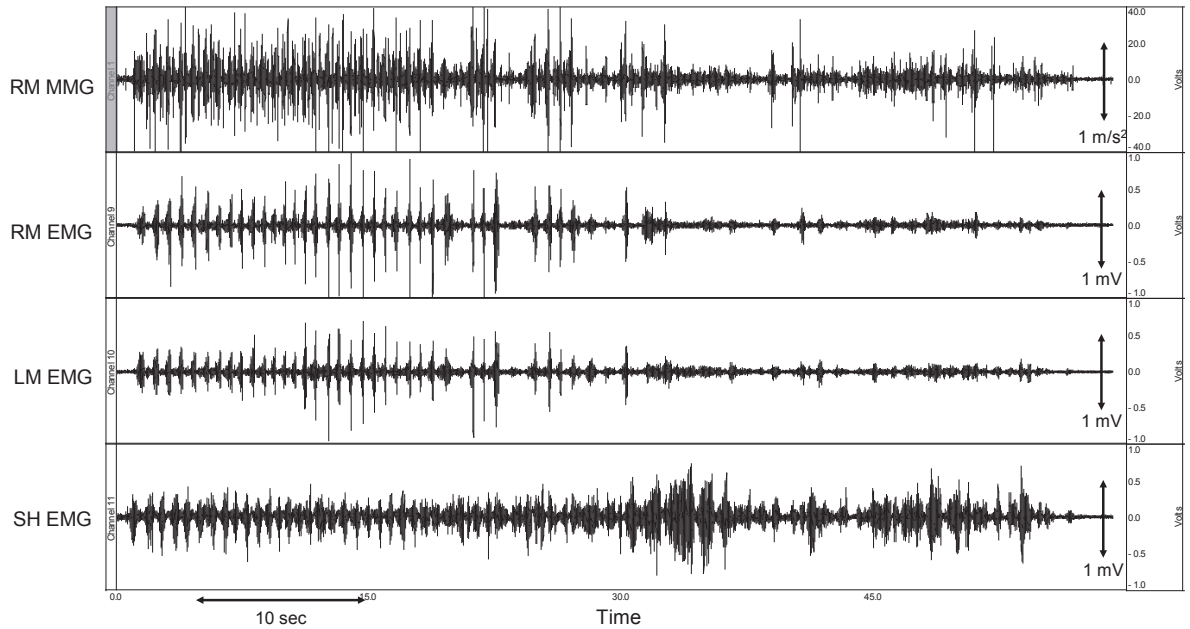
Fig. 4 MMG and EMG signals for (a) water, (b) sol, and (c) soft jelly samples

Channels and subject are the same as Fig. 3.



**Fig. 5 MMG and EMG signals for agar gel**

The right side is a part for recording enlarged time scale. Channels and subject are the same as Fig. 3.



**Fig. 6 MMG and EMG signals for cheese**

Channels and subject are the same as Fig. 3.



Table 2. Mastication parameters for different food samples

Sample	Number of chewing cycles	Chewing cycle (s)	Mean EMG amplitude of masseter muscles (mV.s)	Mean EMG duration of masseter muscles (s)	Total EMG activity of masseter muscles (mV.s)	Mean EMG duration of suprahyoid muscles (s)	Total EMG muscle activity of suprahyoid muscles (mV.s)
Water	1.1 a	nd	0.513 ab	0.796 b	0.029 a	0.927 b	0.053 a
Sol	1.7 a	1.37 b	0.462 a	0.550 ab	0.035 a	0.827 b	0.070 a
Jelly	3.7 a	0.908 a	0.441 a	0.517 ab	0.057 a	0.632 ab	0.096 a
Cheese	30.1 b	0.714 a	1.03 bc	0.324 a	0.808 b	0.399 a	0.876 b
Agar Gel	29.6 b	0.702 a	1.34 c	0.309 a	0.935 b	0.422 a	0.748 b

Mean values of 9 subjects × 2 replicates.

nd, not determined.

Significantly different parameters among 5 samples determined by one-way analysis of variance are listed.

Mean values followed by a different alphabetical letter were significantly different as determined by Tukey's multiple comparison test.

可能だったが、舌骨上筋群は筋肉が小さく装着する場所が取れなかった。

食品を歯で噛む場合には、閉口筋である咬筋と開口筋である舌骨上筋群の筋電位が交互に出現した。硬い食品ほど、咬筋筋電位の振幅が高いこと、「付着性」が高い食品では舌骨上筋群筋電位が強いことが示された。嚥下時には、大きな舌骨上筋群筋電位と、弱い咬筋筋電位が認められた。これらから舌骨上筋群筋電位は舌の咀嚼中及び嚥下時の活動を反映していると考えられる。

咬筋からの筋音信号は、咬筋筋電位の発生開始時と休止時に出現した。どちらの方法も咀嚼運動の検出ができ、咀嚼リズムが咀嚼後期に長くなる現象が観察された。しかし、食品の物性が異なっても筋音振幅には有意差が認められなかった。自然な咀嚼周期は、歯で噛む食品では1秒に満たず、軟らかい食品を舌で扱う場合の周期はやや延びる (Table 2)。一方、2～3秒間食いしばる時 (Fig. 3左) は、律動的な咀嚼より強い咬合力を生じていても、動作が遅い場合は、筋音振幅は小さかった。筋音図は咀嚼力に関する項目の解析には適さないと考えられた。

筋の収縮に伴う加速度を検出する筋音測定では、疲労の影響を解析する等、別の目的であれば有効である場合もある。例えば高齢者や障害者等、摂食能力が低い者にとっては負荷が高いような食品の探索に利用できる可能性もある。

以上の結果から、筋音図よりも筋電図の方が情報量が多く、力学特性を変えた食品の咀嚼過程を分析するには適していることが示唆された。

## 要 約

液体からゲルまでの多様な力学的特性をもつ食品6gを自然に摂食する時の、代表的な咀嚼筋である咬筋の筋電位と筋音を同時計測した。

一回噛みしめる毎に、咬筋の筋電位が発生し、筋の収縮前後に筋音が発生した。どちらの方法でも咀嚼回数や咀嚼時間、咀嚼運動に関する情報が得られた。一方、強い咀嚼力が必要な硬い食品で筋電位振幅が増加したが、筋音振幅は対応していなかった。筋音図からは咀嚼力の強さは解析できないことが示唆された。

本研究は農林水産省実用技術開発事業 (22026) の助成を受けて行い、一部は日本食品科学工学会第58回大会において発表した。

## 参考文献

- 1) Chen, J., Food oral processing – a review. *Food Hydrocolloids*, **23**, 1-25 (2009).
- 2) 神山かおる, テクスチャー解析によるおいしさの評価, *化学と生物*, **47**, 133-137 (2009).
- 3) 竹村元秀, 古郷幹彦, 高橋智子, 柳沢幸江, 神山かおる, 熊谷仁, 谷米温子, 森高初恵, 畑江敬子, 咀嚼と嚥下「進化する食品テクスチャー研究」, 山野善正監修 (エヌ・ティー・エス, 東京), 137-229 (2011).
- 4) 神山かおる, 食品の口腔プロセスの解析, *化学工学*, **77**, 91-94 (2013).
- 5) 塩澤光一, 筋電図「食感創造ハンドブック」, 西

- 成勝好, 大越ひろ, 神山かおる, 山本隆編 (サイエンスフォーラム, 東京), 251-258 (2005).
- 6) Espinosa, Y. G. and Chen, J., Applications of electromyography (EMG) technique for eating studies, in *Food Oral Processing*, Chen, J. and Engelen, L. eds (Wiley-Blackwell, Oxford, UK), 289-317 (2012).
  - 7) 三田勝巳, 筋音図の基礎と応用(1) - 概要と計測・解析 -, *臨床脳波*, **44**, 532-542 (2002).
  - 8) Bajaj, P., Madeleine, P, Sjøgaard, G. and Arendt-Nielsen, L., Assessment of postexercise muscle soreness by electromyography and mechanomyography, *J. Pain*, **3**, 126-136 (2002).
  - 9) Cramer, J. T., Housh, T. J., Weir, J. P., Johnson, G. O., Berning, J. M., Perry, S. R. and Bull, A. J., Gender, muscle, and velocity comparisons of mechanomyographic and electromyographic responses during isokinetic muscle actions, *Scand. J. Med. Sci. Sports*, **14**, 116-127 (2004).
  - 10) L'Estrange, P. R., Rowell, J. and Stokes, M. J., Acoustic myography in the assessment of human masseter muscle, *J. Oral Rehabil.*, **20**, 353-362 (1993).
  - 11) Lee, J., Chau, T. and Steele, C. M., Effects of age and stimulus on submental mechanomyography signals during swallowing, *Dysphagia*, **24**, 265-273 (2009).
  - 12) 高智紅, 谷脇満, 島田宏美, 石原清香, 船見孝博, 神山かおる, 力学的特性の異なる食品の嚥下時舌運動の超音波画像解析. *日本食品科学工学会誌*, **59**(12), 604-610 (2012).
  - 13) 厚生労働省, 医薬食品局食品安全部長通知: 特別用途食品の表示許可等について. 食安発第0212001号 (2009).
  - 14) 野内義之, 安食雄介, 飛塚幸喜, 佐々木朋子, 神山かおる, 2バイトテクスチャー試験における測定速度条件の検討, *日本食品科学工学会誌*, **59**, 96-103 (2012).
  - 15) Kohyama, K., Hayakawa, F., and Sasaki, T., Relations between mastication variables, mechanical properties and sensory scores of cheese samples with various textures. in *Gums and Stabilisers for the Food Industry 16*, P. A. Williams and G. O. Phillips eds. (Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK), 331-338 (2012).
  - 16) Arai, E. and Yamada, Y., Effect of the texture of food on the masticatory process. *Jpn. J. Oral Biol.*, **35**, 312-322 (1993).
  - 17) Ishihara, S., Nakauma, M., Funami, T., Tanaka, T., Nishinari, K., and Kohyama, K., Electromyography during oral processing in relation to the mechanical and sensory properties of soft gels. *J. Texture Studies*, **42**, 254-267 (2011).
  - 18) Çakir, E., Koç, H., Vinyard, C. J., Essik, G., Daubert, C. R., Drake, M., and Foegeding, A., Evaluation of texture changes due to compositional differences using oral processing. *J. Texture Studies*, **43**, 257-267 (2012).