

連続咀嚼筋電位の測定と解析

泉本 勝利・弘津 聖也・内藤 一郎・米原万紀子
宮本 拓・ペトロ ピペック
(応用動物科学コース)

Measurement and Analysis of Electromyography for Sequential Mastication

Masatoshi Izumimoto, Seiya Hirotsu, Ichiro Naito
Makiko Yonehara, Taku Miyamoto and Petr Pipek
(*Course of Applied Animal Science*)

岡山大学農学部学術報告 Vol. 96, 59-63 (2007) 別刷

Reprinted from THE SCIENTIFIC REPORTS OF THE FACULTY OF AGRICULTURE
OKAYAMA UNIVERSITY Vol. 96, 59-63 (2007)

連続咀嚼筋電位の測定と解析

泉本 勝利・弘津 聖也・内藤 一郎^{a)}・米原万紀子
宮本 拓・ペトロ ピペック^{b)}
(応用動物科学コース)

Measurement and Analysis of Electromyography for Sequential Mastication

Masatoshi Izumimoto, Seiya Hirotsu, Ichiro Naito^{a)}
Makiko Yonehara, Taku Miyamoto and Petr Pipek^{b)}
(Course of Applied Animal Science)

In the palatability of food, texture is a major factor of food quality. The physical shear force value of meat has been measured. However, quantitative relationship and characterization between shear force value and tenderness as a sensory perception has not been clear. Therefore, a computer system was developed to analyze and to measure the electromyography (EMG) for mastication.

The integral EMG values were almost constant by sequential mastication up to five times. The average of integral EMG values were 63.6 mV with tender meat of pork fillet and 153.8 mV with firm meat of beef round, giving a ratio of 2.4 times. The shear force values of similar samples were 2,300 g and 8,300 g each, and the ratio was 3.6 times. Sensory texture of the subjective feeling was 3-4 times that corresponded with the shear force value. The integral EMG value could be thought to compress the amount of texture sense.

The integral EMG varied greatly in food, and showed lower value in order of boiled fish surimi, steamed fish paste, pork sausage, *konnyaku* (devil's tongue), pork fillet, beef loin, pork ham portion, roast beef, pork loin and beef round. Generally this order reflected the sensory texture of chewing. The deviation of the integral EMG value was smaller than expected, so it has a definite possibility for practical use.

Key words : Texture, Electromyography, EMG, Mastication, Meat

緒 言

食品は根源的にはヒトが生きていくための栄養成分の質を主眼として分析化学側面から発展し、その機能が生理、生化学的に研究されている。一方、視覚^{1,2)}、嗅覚³⁾、味覚⁴⁾、テクスチャー⁵⁻⁷⁾などの食生活を豊かにする嗜好的側面の重要性が注目され、人工感覚センサー⁸⁾によって、その測定方法が開発されてきている。主観的な感覚をヒトが直接表現する言語や数値化する官能検査は科学的に統計処理^{1,2)}によって客観化が試みられるが、個人差の大きいヒトの感覚に起因する嗜好性の定量化は発展途上にあるといえる。

最近、テクスチャーの官能検査に代わり感覚受容器が発生する神経パルスの解析⁹⁻¹³⁾が試みられている。食品の嗜好性において、咀嚼時の軟らかさの要因であるテクスチャー特性は品質を決定する主要因である。以前から食肉の物理的なせん断力値⁵⁻⁷⁾が測定されてきているが、せん断力値と感覚的な軟らかさとの定量的相互関係さらに

特性化の解明には至っていない。そこで、咀嚼筋電位の測定と解析を行うためのコンピュータシステムを開発した。これによって、テクスチャーの官能検査をリアルタイムによる数値化を行い、従来の主観的で曖昧な検査に代わるリアルタイムの科学的測定を目指すことができる。さらに、食品の物理的強度と感覚の電気生理的応答との関係を示す特性の解明に期待ができる。

材料と方法

1. 材 料

咀嚼筋電位の測定にはさまざまな硬さの食品を選んだ。測定には厚さ 3 cm の試料を直径 16 mm のコルクボーラ

Received October 1, 2006

a) 大学院医歯薬学総合研究科

(Graduate School of Medicine, Dentistry and
Pharmaceutical Science)

b) Faculty of Food and Biochemical Technology, Institute
of Chemical Technology, Prague, Czech Republic

一でくり抜いたものを使用した。その際、食肉のように線維の方向によって硬さが異なるものは線維の方向に沿うようにくり抜いた。

均質材料として、市販のコンニャク、ハンペン、カマボコ、ポークソーセージを用いた。加熱肉として、豚ヒレ肉、豚ロース肉、豚モモ肉、牛モモ肉、牛ロース肉を加熱調理して用いた。加工肉として、市販のローストビーフを用いた。冷凍肉（厚さ 3 cm）は 25℃ の流水中で 20 分間解凍した。

食肉重量に対して食塩を 2 % 添加し、真空包装（脱気度：97.5%）し、冷蔵庫内（5℃）で 20 時間塩漬した。加熱は 70℃ 恒温槽に試料を入れ、中心温度を温度センサーでモニターして 65℃ に達した後ヒーターをオフして 30 分間保持した。その後、氷水中にて急冷し、供試材料とした。

2. 咀嚼筋電位の測定のためのコンピュータシステム

咀嚼筋電位測定装置は Fig. 1 に示すように筋電位センサー、アンプおよびデータ取得解析用のパソコンから構成されているシステムである。咀嚼筋電位センサーは顔面表皮の左右両方の咬筋部各 2ヶ所とアース部位の左手首 1ヶ所にディスポ電極（日本光電工業，F-150 S / G210 C）を取り付けた。センサーからの信号はアンプ（原田電子工業，EMG-025）によって 500 倍に増幅し、AD 変換機（コンテック，AD116-4）を通して USB 信号にして、パソコンに測定値を取得して咀嚼筋電位図

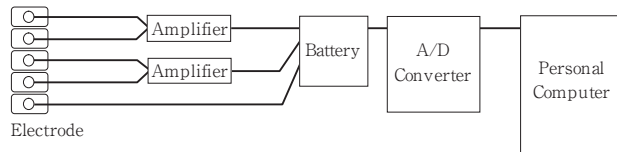


Fig. 1 Diagram of computer system for electromyography measurement during mastication.

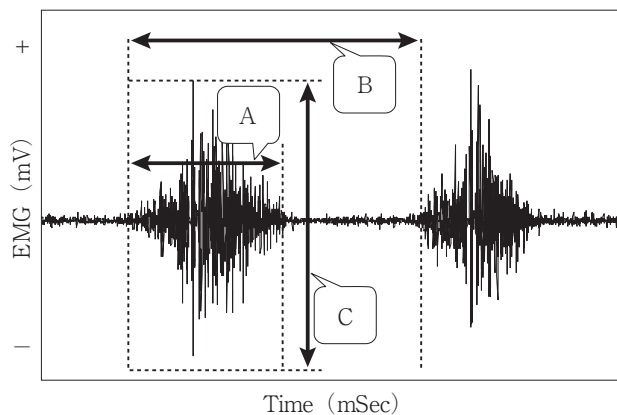


Fig. 2 Explanation of EMG parameters. A : duration of chewing, B : chewing cycle, C : amplitude

(EMG : Electromyography) のデータを解析した。

3. 咀嚼筋電位の測定

左臼歯で咬むように試料を口に入れ、1秒前後の時間になるように力を加えた。歯と歯がしっかりと触れ合うように連続して咀嚼した。

EMG パラメータを Fig. 2 に示す。活動電位の現れる咀嚼時間 (duration of chewing), 咀嚼開始から次の咀嚼開始までの期間を咀嚼周期 (chewing cycle), 高さを振幅 (amplitude) とよぶ。咀嚼筋活動量は一回の咀嚼についてその筋活動電位の絶対値について積算した値、積算 EMG 値とした。

結果と考察

1. 連続咀嚼筋電位

連続咀嚼 EMG の例を Fig. 3, 4 に示す。これら EMG に示すように、咀嚼時間と咀嚼周期をほぼ同じにすることによって、連続咀嚼によってもほぼ一定のプロフィールを得ることができた。図のように、5 回程度の連続咀嚼において、その回数によってプロフィールはほとんど同じであった。食肉として軟らかい豚ヒレ肉を咀嚼した咀嚼筋電位を Fig. 3 に示す。筋電位の上部振幅のピーク

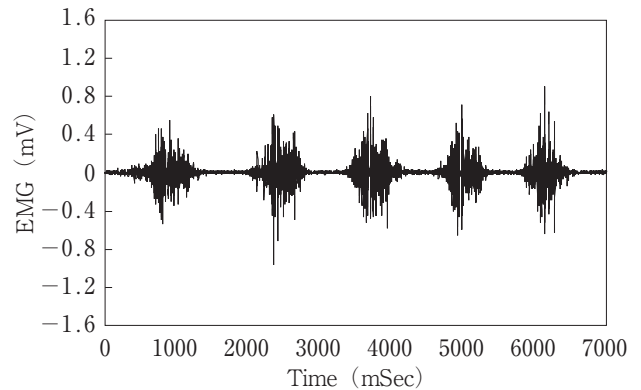


Fig. 3 An example of sequential mastication EMG of pork fillet as a tender meat.

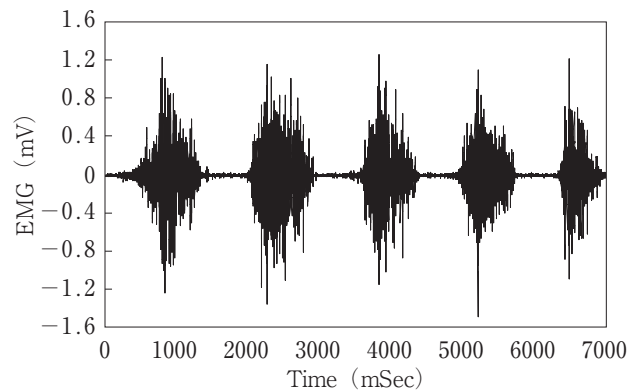


Fig. 4 An example of sequential mastication EMG of beef round as a firm meat.

は0.91mVであった。それに対して硬い牛モモ肉を咀嚼した咀嚼筋電位を Fig. 4 に示す。筋電位のピークは1.27mVであった。この筋電位の比率は1.4倍であった。

2. 積算 EMG 値

連続咀嚼の EMG において、その咀嚼回数毎のデータを取得するには、視覚的に容易にプロフィールを区別できるが、回数毎の筋電位データを区別するには長時間を要し、正確なデータを得るにはかなり困難であった。そこで、咀嚼開始と咀嚼終了の自動検出を試みた。そのアルゴリズムの基本は筋電位絶対値の平滑化した値の積算値を得ることである。積算値のプロフィールにおいて、Fig. 5, 6 の B で示すように、咀嚼開始点は増加開始点によって、咀嚼終了点はその積算値の増加終了点によって検出できた。Fig. 5, 6 に対応して、連続咀嚼の EMG の自動検出によって得られたパラメータを Table 1 に示す。積算 EMG 値は 5 回程度の連続咀嚼ではその回数によってほとんど一定であった。その積算 EMG 値の平

Table 1. Parameters of sequential mastication EMG of meat

Pork fillet as a tender meat				
Chewing number	Integral EMG (mV)	Duration (mSec)	Start point (mSec)	End point (mSec)
1	59.4	801	527	1328
2	65.2	770	2047	2817
3	74.0	770	3318	4088
4	60.8	689	4670	5359
5	58.6	677	5759	6436
Beef round as a firm meat				
Chewing number	Integral EMG (mV)	Duration (mSec)	Start point (mSec)	End point (mSec)
1	159.6	1051	313	1364
2	198.2	956	1956	2912
3	143.6	917	3524	4441
4	133.4	874	4911	5785
5	121.0	605	6304	6909

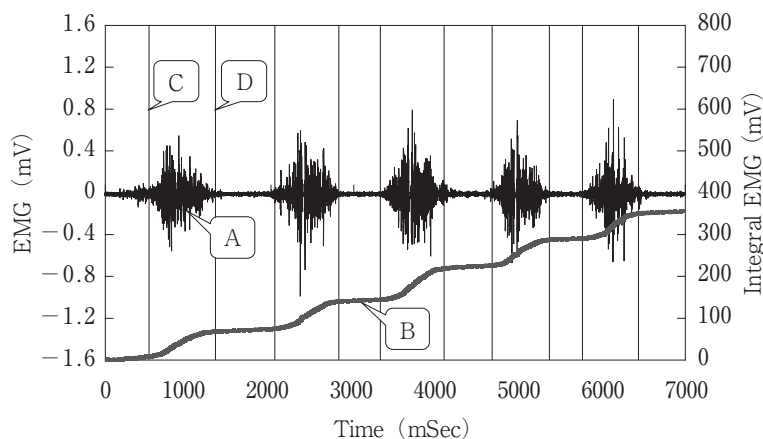


Fig. 5 Analysis of sequential mastication EMG of tender meat.
A : left masseter muscle EMG, B : integral EMG, C : start point; D : end point

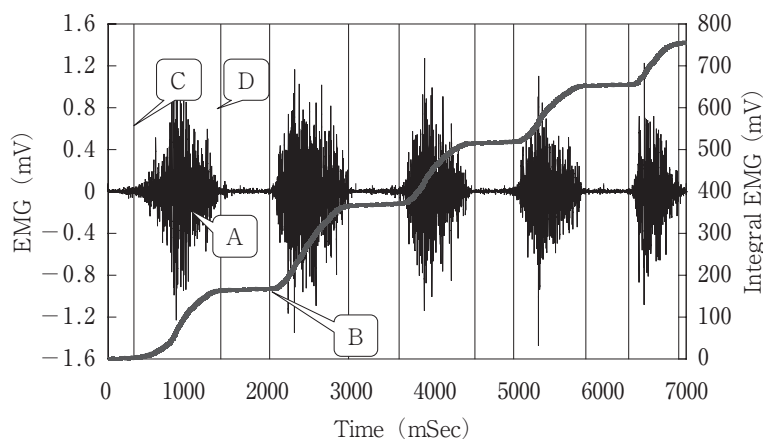


Fig. 6 Analysis of sequential mastication EMG of firm meat.
Symbols in figure are same as Fig. 5.

均は軟らかい食肉の豚ヒレ肉で63.6mVとなり、硬い食肉の牛モモ肉で153.8mVとなり、2.4倍の割合となった。このことは先に述べた上部振幅のピーク値の割合1.4倍よりも大きかった。同様の試料のせん断力値は各々2,300gと8,300gとなり3.6倍になった。主観的ではあるが歯ごたえのテクスチャー感覚は3~4倍であったことに対応した。この結果はEMGが筋肉の負荷を示す指標であり、ヒトの咀嚼活動量を反映している¹⁴⁾ものの、テクスチャー感覚は食品の咀嚼するときの感覚とは異なる物理的な強度であるせん断力に対応し、力(g)に比例して認識されている可能性がある。そこで、積算EMG値はテクスチャー感覚量を圧縮していると考えられるが、詳細については積算EMG値とせん断力値との相互関係について解析する必要がある。

積算EMG値について再現性の高い結果が得られた。このことは、官能検査によるテクスチャー感覚を表現する際に、主観的にならざるを得ないのでバラツキが大きいヒトの感覚を電気生理的に客観化することが可能であると考えられた。図は咀嚼EMGプロフィールを示しているが、このシステムによって、自由に咀嚼し嚥下までの摂食過程全体のEMGプロフィールを得ることができる。咀嚼回数と咀嚼周期には反比例関係¹⁰⁾が知られているが、さらに全プロフィールによって単位咀嚼時間、咀嚼力、嚥下力、最大咀嚼力などの総合的特性の解析ができると考えられる。

3. 食品の積算EMG値の比較

各種食品の積算EMG値の比較をFig. 7に示す。積算EMG値は食品によって大きく異なり、ハンペン、カムボコ、ポークソーセージ、コンニャク、豚ヒレ肉、牛ロース肉、豚モモ肉、ローストビーフ、豚ロース肉、牛モモ肉の順に低い値を示した。これらの順序は歯ごたえのテクスチャー感覚と全体的に対応した。偏差は予想した値よりも小さく、通常実施されている官能検査の評点法のような主観的な数値表現よりも積算EMG値はかなり客観的であり、実用化される可能性がある。すなわち、

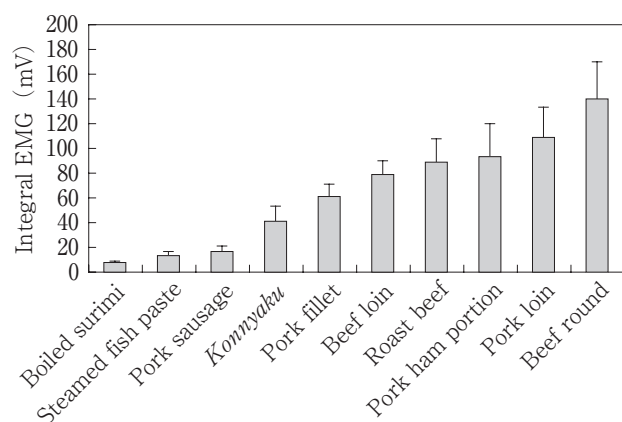


Fig. 7 Comparison of integral EMG values with selected food.

通常の官能検査では食感の量的表現の均一性を得ることはできないが、EMG値はヒトの食感という一種のバイオセンサーの電氣的応答量をコンピュータ処理することで測定値は一様となり主観的要因をできるだけ排除することができる。米飯のテクスチャー特性をEMG値によって解析されている¹²⁾。また、リンゴ、チーズ、米飯、パン、食肉などの比較において、食肉のEMG値が最も高い¹³⁾。しかし、食肉の畜種や部位の違いについてはほとんど明らかにされていない。

食品のなかで食肉とくに塊肉はその組織性のために硬い食品の部類となる。したがって、食肉製品に限らず加工食品は嗜好性の適したテクスチャーをターゲットにして製造されている。加工食品のほとんどは塊肉よりも軟らかいテクスチャーに設定している。

近年、高齢化社会が進行しているが、高齢になると咀嚼や嚥下の摂食機能が低下してくる。摂食機能の低下した高齢者ではPEM(タンパク質・エネルギー低栄養状態)がしばしば見受けられ、このPEMを改善するために食肉などの良質のタンパク質の摂取が有効とされているが、高齢者にとって食肉は硬いので軟らかさが要求される。しかし、挽肉を原料とするハンバーグや肉団子では残渣が残りやすく、誤嚥の原因になるといわれている¹⁵⁾。その結果、肺炎を起こす場合が多いとされている。また、介護食にも良質のタンパク質が要求されるが、介護のレベルに対応したテクスチャーの食肉あるいは食肉加工品は豊富ではない。今後、摂食機能に対応した最善の嗜好性を目指すことが要求されてくると思われる。食品のテクスチャーは品質を決定する重要な項目であり、その評価はあくまでヒトの感覚であることを念頭におくと、EMG値はヒトのテクスチャー感覚のヒューマンインターフェースとして期待がもたれる。そして、EMG値とせん断力値などの物理的な特性との相互関係について定量的に解明されれば、テクスチャー品質の科学的な評価と管理にとって有用になると考えられる。

この研究の一部は科学研究費2006(萌芽)18658101によって行なわれたことを記して謝意を表します。

要 約

食品の嗜好性において、咀嚼時の軟らかさの要因であるテクスチャー特性は品質を決定する主要因である。以前から食肉の物理的なせん断力値が測定されてきているが、せん断力値と感覚的な軟らかさとの定量的相互関係、さらに特性化の解明には至っていない。そこで、咀嚼筋電位の測定と解析を行うためのコンピュータシステムを開発した。

積算EMG値は5回程度の連続咀嚼ではその回数によってほとんど一定であった。その積算EMG値の平均は軟らかい食肉の豚ヒレ肉で63.6mVとなり、硬い食肉の牛モモ肉で153.8mVとなり、2.4倍の値となった。同様

の試料のせん断力値は各々2,300 gと8,300 gとなり3.6倍になった。主観的な歯ごたえのテクスチャー感覚は3～4倍であったので、せん断力値に対応した。積算EMG値はテクスチャー感覚量を圧縮していると考えられた。

積算EMG値は食品によって大きく異なり、ハンペン、カマボコ、ポークソーセージ、コンニャク、豚ヒレ肉、牛ロース肉、豚モモ肉、ローストビーフ、豚ロース肉、牛モモ肉の順に低い値を示した。これらの順序は歯ごたえのテクスチャー感覚と全体的に対応した。積算EMG値の偏差は予想した値よりも小さく、実用化される可能性がある。

文 献

- 1) 泉本勝利：食肉・肉製品の色調現象の理化学。食肉の科学, **34**, 149-155 (1993)
- 2) 泉本勝利：食肉・肉製品の色調現象の特性化。食肉の科学, **34**, 157-163 (1993)
- 3) 白木善三郎：食品のにおい, pp. 3-239, 光琳書院, 東京 (1965)
- 4) 小原正美：食品の味, pp. 5-141, 光琳書院, 東京 (1965)
- 5) 泉本勝利・土井瑞芳：食肉・食肉製品のせん断力プロフィール特性の解析と比較。日本畜産学会報, **71**(10), J 498-504 (2000)
- 6) 土井瑞芳・泉本勝利：食肉の加熱温度一時間一せん断力プロフィール特性の解析。日本畜産学会報, **72**(9)：J 371-J 377 (2001)
- 7) 森 友彦・川端晶子：食品のテクスチャー評価の標準化, pp. 43-62, 光琳, 東京 (1997)
- 8) 都甲 潔：食と感性, pp. 21-328, 光琳, 東京 (1999)
- 9) 神山かおる・中山裕子・佐々木朋子：アーモンドにおける粒の大きさが咀嚼に及ぼす影響。食総研報, **69**, 13-17 (2005)
- 10) Karkazis, H. C. and A. E. Kossioni : Re-examination of the surface EMG activity of the masseter muscle in young adults during chewing of two test foods. *J. of Oral Rehabilitation*, **24**, 216-223 (1997)
- 11) Kohyama, K., T. Sasaki, F. Hayakawa and E. Hatakeyama : Effects of cross-sectional area on human bite studied with raw carrot and surimi gel. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **68**(10), 2104-2110 (2004)
- 12) Kohyama, K., M. Yamaguchi, C. Kobori, Y. Nakayama, F. Hayakawa and T. Sasaki : Mastication effort estimated by electromyography for cooked rice of differing water content. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **69**(9), 1669-1676 (2005)
- 13) Kohyama, K., L. Mioche and P. Bourdiol : Influence of age and dental status on chewing behaviour studied by EMG recordings during consumption of various food samples. *Gerodontology*, **20**(1), 15-23 (2003)
- 14) 神山かおる：食品咀嚼と口腔感覚テクスチャー。日本食品科学工学会誌, **47**, 341-346 (2000)
- 15) 大越ひろ：介護食・嚥下食開発に求められるテクスチャー。食肉の科学, **47**, 145-149 (2006)