

擬似咀嚼音による介護食の食感改善の試み —側頭筋を用いた咀嚼計測方法の検討—

遠藤 博史^{*1} 金子 秀和^{*1} 大森 信行^{*2} 井野 秀一^{*1} 藤崎 和香^{*1}

Attempts to improve the perceived texture of nursing care foods using pseudo-chewing sounds —Mastication measurement using temporalis muscles—

Hiroshi Endo^{*1}, Hidekazu Kaneko^{*1} Nobuyuki Ohmori^{*2} Shuichi Ino^{*1} and Waka Fujisaki^{*1}

Abstract - To improve the perceived texture of foods provided during nursing care, we developed a system to vary perceived food texture using pseudo-chewing sounds generated by electromyogram signals (EMG). In our previous studies, a masseter was used to measure EMG signals during mastication. In this study, we investigated the usefulness of temporalis muscles to measure mastication. In addition, the influence of chewing side on EMG amplitudes was investigated. The results indicated that temporalis were available for the purpose of pseudo-chewing sound presentation, showing a sufficient magnitude of EMG signals. However, the chewing side affected the EMG amplitude, though the influence on temporalis was smaller than masseter. Therefore, the EMG recording methods that eliminate the influence of chewing side were proposed. Experimental results indicate that mastication measured via proposed methods is chewing side independent, verifying that temporalis muscles are useful to generate the pseudo-chewing sounds.

Keywords: Chewing sound, Temporalis muscle, Electromyography, Food texture and Mastication

1. はじめに

加齢に伴い嚥下機能が低下すると、誤嚥のリスクが高まり、食品の物性値が調整された食感の乏しい介護食しか食することができなくなってしまう。食の楽しみは、味や見た目だけでなく、食感も重要な要素であるため、食感のない食事は食への興味を低下させ、食事量減少の要因となる。食事量の減少は低栄養を引き起こすため、誤嚥のリスクを上げずに食感の変化を感じさせることができれば、食への興味が回復することで食事量が増し、栄養状態の改善にも貢献できる可能性がある。

食感は口腔内の感覚だけでなく、咀嚼音によっても形成される複合的な感覚であり、これまでに咀嚼音が食感の知覚に影響を及ぼすことが報告されている^[1-5]。このような音の錯覚で介護食に食感を与えるため、我々は咬筋の筋電を使って擬似的に咀嚼音を提示する擬似咀嚼音提示システムを開発した^[6,7]。介護食のような柔らかい食品の咀嚼中に擬似咀嚼音を聞かせることで、硬さ感やざらざら感のような食感が変化するだけでなく、食べている実感が増すなどの心理的效果もある^[6,8]。さらに疑似咀嚼音と食品との違和感が小さくなると、得られる効果が増大することも確認している^[9]。

効果の確認を目的としたこれまでの実験では、左右ど

ちらかに噛む側（咀嚼側）を決めて、咀嚼側の咬筋の筋電のみを使用していた。しかし咀嚼側を事前に決めてしまうことや頬への電極装着は、実際の食事での使用を想定した場合、大きな制約となる。高齢者の食事支援技術として有用なものとしていくためには、上記の制約を小さくすることが必要である。そこで本研究では、咬筋以外の筋として側頭筋の有効性、さらには咀嚼側／非咀嚼側の区別を必要としない咀嚼計測法について検討することを目的とし、以下の2つの実験を行った。

まず実験1では、側頭筋の計測位置の検討を行った。側頭筋はこめかみから側頭部にかけての広い範囲を覆う筋肉であるため、最適な計測位置を探すこと、さらに咀嚼側／非咀嚼側の違いが信号強度に及ぼす影響を検討することが実験1の目的である。次に実験2では、咀嚼側／非咀嚼側の影響を排除するため、左右の側頭筋を使った2種類の筋電導出方法について検討を行った。

2. 実験1：側頭筋計測位置の検討

2.1 計測方法

側頭筋の筋電を計測する電極位置および咀嚼側／非咀嚼側の影響を検討するため、咬筋の左右2か所、側頭筋は頭髪部を避け、前腹の3か所（右2か所（下位、上位）、左1か所（中間位））に電極を貼り、筋電を計測した（図1）。電極間距離は18mmとし、ワイヤレス筋電センサ（Wave Wireless EMG、Cometa Systems）を用い、サンプリング周波数1kHzで計測した。計測後、50HzのHPF処理をした。

*1: 産業技術総合研究所 人間情報研究部門

*2: 長野県工業技術総合センター 材料技術部門

*1: Human Informatics Research Institute, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

*2: Material Technology Department, Nagano Prefecture General Industrial Technology Center

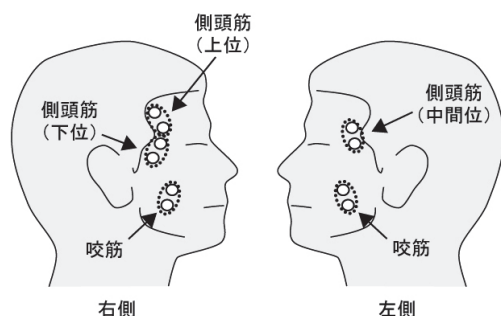


図1 筋電の計測位置 (実験1)
Fig.1 EMG recording sites (Exp.1)

咀嚼する食品にはガム（咀嚼力判定ガム、ロッチ）を用いた。1 分間自由に咀嚼後、右咀嚼、左咀嚼を交互に 2 回ずつ、各 10 回の咀嚼を行い、その際の筋電を計測した。実験には、咀嚼機能に異常のない実験協力者 4 名（男性 4 名、年齢 45 ± 11 才）が参加した。

2.2 解析方法

背景ノイズとして、非咀嚼時（咀嚼前の 1 秒間）の RMS 値を計算した。咀嚼筋活動強度には、咀嚼時間帯（背景ノイズの 2 倍以上の筋電）の区間の RMS 値を計算した。得られた値は、咀嚼側の咬筋の RMS 値で正規化した。

2.3 実験結果

図 2 に結果を示す。S/N 比は良好で、どの計測部位でも十分な大きさの筋電が得られたが、側頭筋は最上位で最も大きな筋電が得られ、計測位置が下に行くほど筋電強度も弱くなった（4 人全員）。しかし側頭筋でも十分な筋電が得られるため、側頭筋を使った擬似咀嚼音提示システムを実現することが可能であることが分かった。側頭筋の計測場所は上側が良く、外眼角と外耳道を結ぶ長さの約 50% 上方を目安に決定可能である（図 1）。

咀嚼側／非咀嚼側に関しては、咀嚼側は非咀嚼側よりも信号強度が大きかった（4 人全員）。咀嚼側に対する非咀嚼側の活動強度の割合を計算すると、咬筋は非咀嚼側で 4 割程度に減少したが、側頭筋では平均で 7 割程度であり、咬筋よりも咀嚼側／非咀嚼側の差は小さかった。側頭筋は咬筋よりも咀嚼側の影響を受けにくかったが、偏りは存在するため、咀嚼側の影響をなくす必要がある。咀嚼側の影響をなくすためには、左右の側頭筋を使うのが有効である。そこで実験 2 では、左右の側頭筋を使う方法を検討した。

3. 実験 2：側頭筋の筋電の導出方法の検討

3.1 計測方法

左右の側頭筋を使う方法として 2 種類の筋電導出方法を検討した（図 3）。第 1 の方法では左右の側頭筋の筋電をそれぞれ別に計測し、その平均値を用いた（左右平均法：左右の筋電計測後に 2 つの筋電データの平均化処理）。第 2 の方法では左右の側頭筋位置で双極誘導を行い、筋電を計測した（左右差分法）。電極位置は実験 1 の最上部

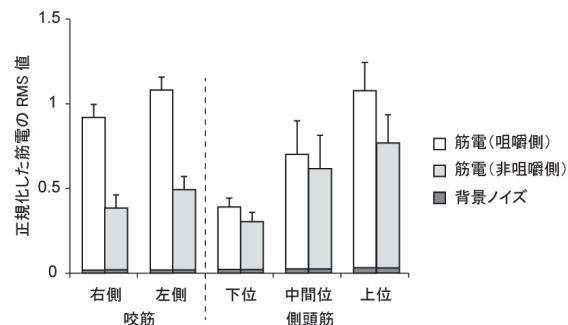


図2 活動強度への計測位置の影響 (平均±SE)
Fig.2 EMG depending on recording sites

位置とした。左右差分法の場合、電極間距離が離れるため、この計測には別の筋電センサ（PowerLab8/35 と BioAmp、ADInstruments）を使用した。参考値として咬筋の筋電の左右平均法も行った。

3.2 検討条件と解析方法

側頭筋の筋電の 2 種類の導出法に関して、以下の 3 つの計測条件で検討を行った。(1) 柔らかい食品の咀嚼、(2) 眼球のアーチファクトの影響、そして(3) 発話時の筋活動の影響である。

(1) 柔らかい食品咀嚼による検討

咀嚼する柔らかい食品としてプロセスリード（大塚製薬、6g）を用いた。プロセスリードは、ゼリーやペースト食等の食形態から、咀嚼が必要な食形態に移行する段階で用いる咀嚼訓練食で、非常に柔らかいが咀嚼を必要とする硬さを有する食品である。また硬さのある食品としてガム（咀嚼力判定ガム、ロッチ）も使用した。右咀嚼、左咀嚼を交互に 2 回ずつ、各 10 回の咀嚼を行った際の筋電を計測した。筋電の活動強度（咀嚼側の咬筋の値で正規化した RMS 値）と活動時間幅（オンセット・オフセット時間間隔）を比較した。

(2) 眼球の影響の検討

瞬きと視線移動を行った際の筋電への影響を検討した。瞬きは 5 回、視線移動では目を上下左右に動かすように被験者に指示した。影響の検討では、背景ノイズの 2 倍を超える値を示した動作を調べた。

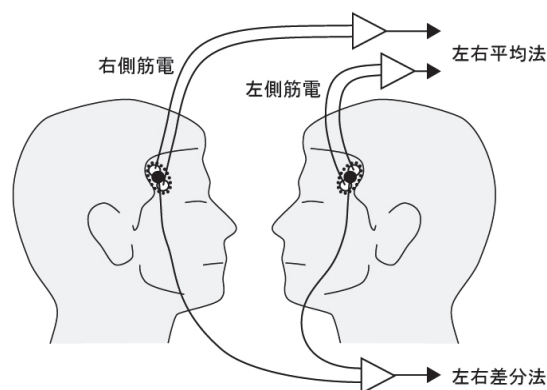


図3 側頭筋筋電の導出方法 (実験2)
Fig.3 Measurement of temporalis EMG (Exp.2)

(3) 発話の影響

発話時の筋活動の影響は、「ア行」、「ガ行」、「バ行」をゆっくりしたペースと早いペースで発話させ、眼球の影響と同様に、背景ノイズの2倍を超えた場合を調べた。

3.3 実験結果

(1) 柔らかい食品咀嚼による検討

筋活動強度の結果を図4に示す。ガム咀嚼においてプロセスリードよりも、より大きな筋電が得られた。またプロセスリード咀嚼時の平均活動強度は、咬筋と側頭筋で大きな違いは観測されなかった。さらに2種類の導出方法（左右平均法、左右差分法）において得られた活動強度は、咀嚼側に関係なく左右どちらで噛んでもほぼ同程度であった。4人すべての被験者がこれらの傾向を示した。

次に活動時間の結果を図5に示す。咀嚼側の咬筋の活動開始時刻を基準として活動時間を計算した。活動時間幅には、咀嚼側（右側、左側）、筋肉（咬筋、側頭筋）に関して顕著な違いは認められなかったが、導出方法（左右平均法、左右差分法）に関し、左右差分法が左右平均法よりも開始時刻が早くなる傾向が見られた。左右差分法で得られた筋電波形は、局所的に双極誘導を行う通常の計測法と比較して活動の立ち上がり緩やかであった。このために左右差分法では活動の開始時刻が早くなったと考えられた。図5はプロセスリードの場合であるが、ガム咀嚼も全く同じ傾向を示し、4人すべての被験者に

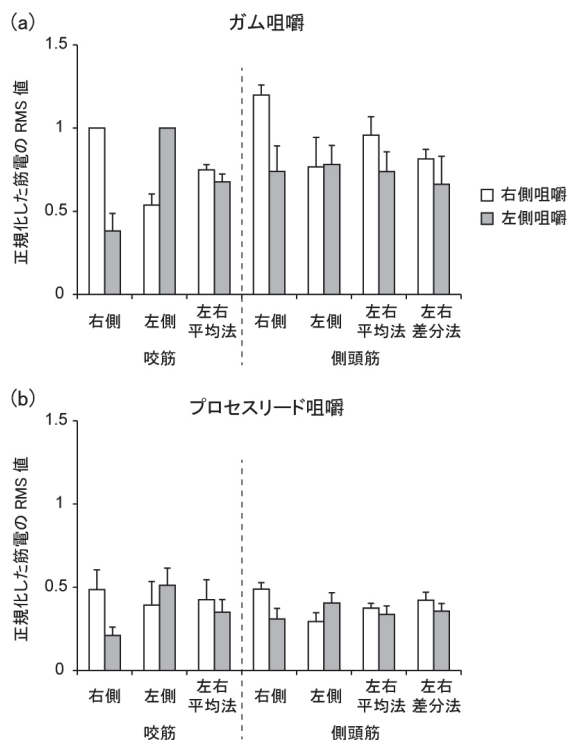


図4 食品咀嚼時の筋電活動強度（平均±SE）(a) ガム咀嚼 (b) プロセスリード咀嚼

Fig.4 EMG amplitudes (a) Gum chewing (b) Processlead chewing

おいて、これらの傾向が見られた。

以上の結果から、柔らかい食品咀嚼でも活動強度は咬筋と側頭筋で変わらず、側頭筋が有効であること、さらに左右の筋電を使うことで咀嚼側の影響をなくすることが可能であることが確認された。

(2) 眼球の影響の検討

瞬きや眼球運動は、咬筋の筋電に全く影響を与えなかったが、側頭筋の筋電には影響が見られた。瞬きの場合、左右差分法で背景ノイズの2倍を超える活動が見られる場合があった。眼球運動に関しては、左右平均法、左右差分法のどちらの導出法の場合も、上方向への眼球運動で影響があり、4人すべての被験者でこの影響が見られた（図6）。

(3) 発話の影響の検討

発話の影響の結果を図7に例示する。咬筋、側頭筋ともに発話の影響があり、特に「い」の段で影響が出やすかった。「い」の段の発話には口を左右に開く動作が含まれ、その動作に閉口筋が用いられ、筋活動が顕著に見られたと考えられた。左右平均法、左右差分法のどちらの導出法の場合も、4人すべての被験者で「い」の段の発話の影響が見られた。

4. 疑似咀嚼音提示

図8には、咬筋（右側で計測）と側頭筋（左右差分法）を使った場合の疑似咀嚼音の生成例を示す（ガム咀嚼）。咬筋の右側計測の場合、反対側の左咀嚼で音が非常に小

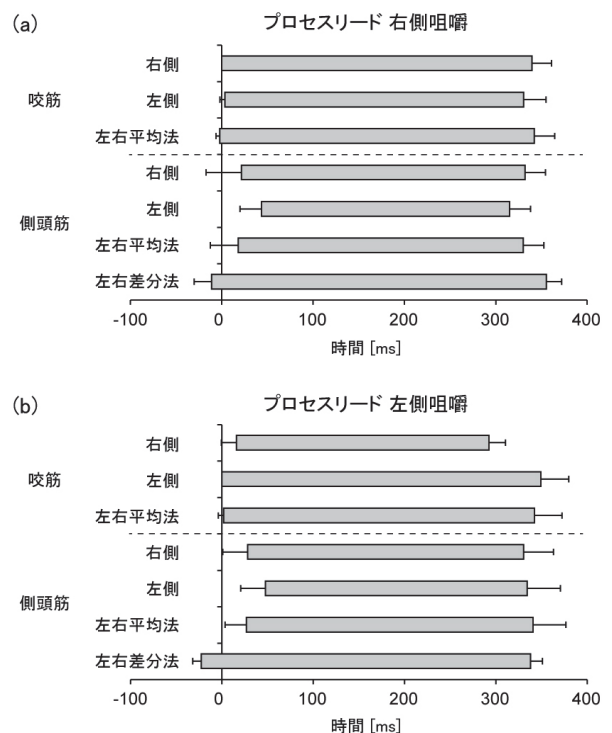


図5 食品咀嚼の筋電活動時間（プロセスリード咀嚼時、平均±SE）(a) 右側咀嚼 (b) 左側咀嚼

Fig.5 Durations of EMG (Processlead chewing) (a) Right chewing (b) Left chewing

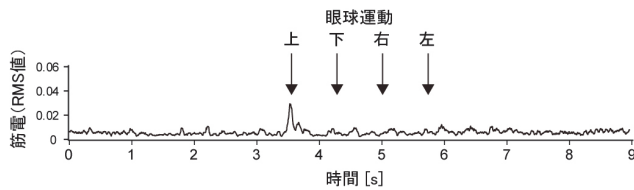


図6 眼球運動の影響の例 (側頭筋左右差分法)
Fig.6 Influences of eye movements on temporalis EMG

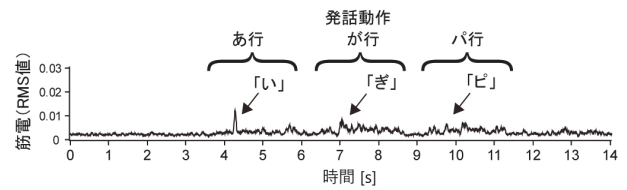


図7 発話の影響の例 (側頭筋左右差分法)
Fig.7 Influences of speech on temporalis EMG

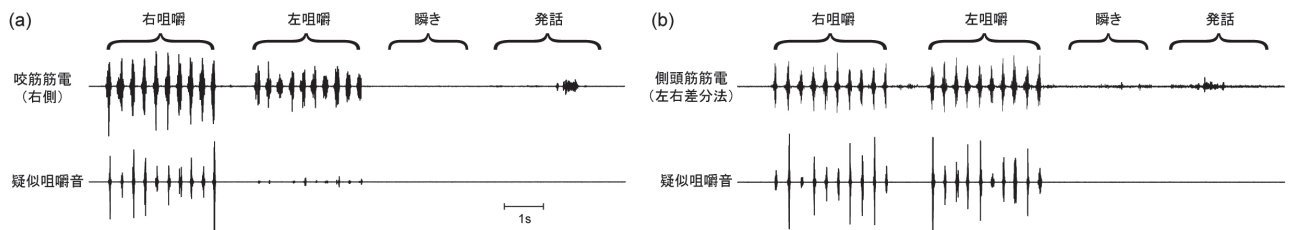


図8 疑似咀嚼音の生成結果 (ガム咀嚼) (a) 咬筋右側計測 (b) 側頭筋左右差分法
Fig.8 Presentation of pseudo-chewing sound (a) Right masseter (b) Temporalis (differential)

さくなくなってしまうが、側頭筋の左右差分法では、咀嚼側に関係なく疑似咀嚼音を生成することが可能であった。また疑似咀嚼音提示システムの筋電に対する閾値を調整し、閾値以下では生成音のボリュームをゼロにすることで^[7]、通常程度の瞬きや眼球運動、発話であれば、その影響を排除することが可能であった (瞬きをしたり、しゃべったりしても疑似咀嚼音は生成されない)。

5. 議論

本研究では、咬筋以外の筋肉として側頭筋の有効性、さらには咀嚼側／非咀嚼側の区別を必要としない計測法について検討を行った。その結果、

- ・側頭筋でも十分な筋電を得られ、側頭筋を使った疑似咀嚼音生成システムを実現することが可能である
- ・側頭筋の計測場所はこめかみの上側が良い
- ・側頭筋の筋電の導出方法は左右の平均と差分が可能
- ・眼球運動は上方向への視線移動、発話は「い」の段で影響が出やすい

という結果を得た。

現在、日常の食事での使用を想定し、筋電の計測には着脱の容易なドライ電極の使用を検討している。左右差分法は電極が2つ (皮膚との接触点が左右に1点ずつ) で済むため、電極の接触状態を安定に保ちやすい。一方、左右平均法では、接触点が左右に2ヵ所ずつ (2点接触×左右=4点) あり、電極の接触状態を安定に保つことが難しい。しかし左右平均法は左右の筋電を個別に計測するため、片側噛みの傾向 (癖) を見ることができる。導出方法に関しては、使用場面や目的を考慮して、さらに検討していく予定である。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP16H01685、JP17H00755 の研究助成を受けたものです。

参考文献

- [1] Zampini, M., Spence, C. : The role of auditory cues in modulating the perceived crispness and staleness of potato chips; *Journal of Sensory Studies*, **Vol.19**, pp.347-363 (2004).
- [2] 増田, 岡嶋 : 咀嚼音が食感と快・不快度に与える効果; *信学技報*, **HIP2011-51**, pp.57-62 (2011).
- [3] 小泉, 田中, 他 : Chewing JOCKEY - 咀嚼音提示を利用した食感拡張装置の検討 - ; *日本 VR 学会論文誌*, **Vol.18**, No.2, pp.141-150 (2013).
- [4] 飯島, 小池 : 食品の視覚情報と咀嚼音の重量を用いたクロスモーダル効果による食感変化; *信学技報*, **IMQ2013-40**, pp.83-86 (2014).
- [5] 中島, 菅野 : ポテトチップスを利用した咀嚼音遅延フィードバックによる食感拡張の検討; *日本 VR 学会論文誌*, **Vol.21**, No.4, pp.585-594 (2016).
- [6] Endo, H., Ino, S. and Fujisaki, W. : The effect of a crunchy pseudo-chewing sound on perceived texture of softened foods; *Physiology & Behavior*, **Vol.164**, pp.324-331 (2016).
- [7] Endo, H., Kaneko, H., et al. : An attempt to improve food/sound congruity using an electromyogram pseudo-chewing sound presentation system; *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics (JACIII)*, **Vol.22**, No.2, pp.342-349 (2017).
- [8] Endo, H., Ino, S. and Fujisaki, W. : Texture-dependent effects of pseudo-chewing sound on perceived food texture and evoked feelings in response to nursing care foods; *Appetite*, **Vol.116**, pp.493-501 (2017).
- [9] 遠藤, 大森, 他 : 疑似咀嚼音による介護食の食感改善の試み - 音と食品との違和感が効果に及ぼす影響の検討 - ; *信学技報*, **WIT2017-2**, pp.5-10 (2017).