



咬筋への筋電気刺激が食体験に与える影響

The effect of electrical stimulation of the masseter muscle on eating experience

前田錬¹⁾, 嵯峨智²⁾

Ren MAEDA and Satoshi SAGA

- 1) 熊本大学 大学院自然科学教育部 (〒 860-8555 熊本県熊本市中央区黒髪 2-39-1, renmaeda@saga-lab.org)
2) 熊本大学 大学院先端科学研究部 (〒 860-8555 熊本県熊本市中央区黒髪 2-39-1, saga@saga-lab.org)

概要: 食事は私たちの日常生活において欠かせないものであり, その楽しさを左右する要素の一つに食感がある. これまで音や視覚情報を用いて食感を変化させる研究は存在したが, 実際に食品を口に含んだ状態で筋電気刺激を用いることで食感を変化させる研究は私の知る限り見当たらない. そこで本研究では, 咀嚼の際に用いられる咬筋に電気刺激を与えることによる食感の変容可能性について調査を行った. その結果を報告する.

キーワード: 食感, 筋電気刺激, 咀嚼

1. はじめに

食事は私たちの日常生活において, 切り離すことができないものである. 食事は毎日欠かさず行う行為であり, 毎日の食生活が生活の質に繋がっていることに疑いの余地はない.

食事を司る要素の一つに食感がある. 咀嚼という行為は, 食べ物を消化しやすくするために行うものだ. しかし, この際に生まれる食感も食事を楽しむために必要な要素である. 例えば茹すぎた麺や水の量を間違えて炊いたお米は, 美味しさが損なわれてしまう. また, 「歯ごたえがあって美味しい」など, 食感が食べ物のアピールポイントになることも数多く存在する. このように食感は食を楽しむ上で重要な要素の一つである.

食品知覚に影響を与えることを目的とした研究は既に行われており, その手法も様々である. Iwata らは食感を提示するための触覚インターフェースである「Food Simulator」を開発した [1]. また, Nijjima らは筋電気刺激を用いることでバーチャル食感を表現している [2]. しかし, 実際に食品を口に含んだ状態で筋電気刺激を用いることで食感を変化させる研究は私の知る限り見当たらない. そこで本研究では食品を口に含んだ状態での食感に重きを置き, 咬筋に筋電気刺激を与えることによる食感の変容可能性について調査する.

2. 提案手法

2.1 筋電気刺激

本研究では食体験に変化を及ぼす要素として咬筋への筋電気刺激を用いる. 筋電気刺激とは電気刺激を用いることで, 筋収縮を誘発する手法のことである. 主に怪我や病気で身体が動かせないときにリハビリなどで使用され, 自発

的な努力を伴わない運動不足に起因する筋萎縮を回復させる可能性が示されている. 本研究では咀嚼の際に用いられる咬筋に使用することで, 咬筋の不随意的な運動を誘発させ, 食品知覚に影響が現れないかを調査する. 以下の図 1 は咬筋の位置と本研究で実験協力者に貼る電極パッドの位置である. 上の電極パッドが陰極であり, 下の電極パッドが陽極を表している.

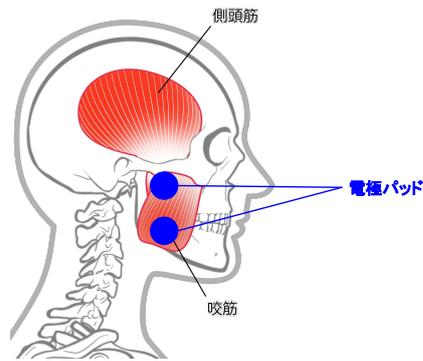


図 1: 咬筋の位置および電極パッドの位置

使用する電気刺激は刺激無しの場合 O を含め, 以下の計 9 パターンであり, 全てパルス波を用いた. パルス波を選択した理由は, 予備実験にてパルス波, 正弦波, 鋸歯状波, 逆鋸歯状波を用いた際にパルス波がもっとも咀嚼のタイミングに合わせた際の立ち上がりが自然であったためである.

電気刺激を与えるタイミングは 2 パターンあり, 咀嚼の際中, 常に刺激を与えているパターンと, 咀嚼のタイミングに合わせて刺激を与えるパターンで行った. 咀嚼のタイミングは, 歯と歯の間に食品が挟まった瞬間と規定した.

また, 筋肉の運動を誘発するために必要な電気刺激の強

表 1: 各刺激パターン

条件	説明
O	刺激なし
A	100 Hz, 常に刺激を与える
B	150 Hz, 常に刺激を与える
C	200 Hz, 常に刺激を与える
D	250 Hz, 常に刺激を与える
E	100 Hz, 咀嚼に合わせて刺激
F	150 Hz, 咀嚼に合わせて刺激
G	200 Hz, 咀嚼に合わせて刺激
H	250 Hz, 咀嚼に合わせて刺激

度には個人差があるため、実験協力者によって刺激強度は変更する必要がある。そのため、本研究では後述するモーターポイントに刺激を加えたときに筋肉の運動が誘発される強度を使用することとした。実験協力者に与えられる最大の電圧は 150 V であり、最大の電流は 20 mA である。また、周波数を変えたときの刺激強度も、モーターポイントに刺激を加えたときに筋肉の運動が誘発される強度を使用し、周波数によるエネルギーの違いについては本研究では論じない。

2.2 モーターポイント

電気刺激を用いて筋収縮を引き起こす場合には、いかにして十分な筋収縮を誘発させるかが大切である。表面電極を用いて対象筋を刺激する場合、対象部位を直接刺激するだけでは筋全体を収縮させることは困難であり、モーターポイントを確認する必要がある。モーターポイントとは解剖学的には運動神経が筋膜を貫通する部位であり、この部位上の皮膚に電極を置いて刺激することで筋収縮を効率的に引き起こすことができる。

電極が正確にモーターポイント上に配置されている場合、運動神経を刺激して筋収縮を誘発するために必要な電流は少なくなる。その一方、モーターポイントでない部位を刺激する場合は、運動神経に到達するために高い電流強度が必要となり、痛みを伝える感覚神経が刺激される可能性が高くなる。

つまりモーターポイントに正しく電極を配置することは、電気刺激特有のピリピリ感を抑えつつ、効率的に筋肉の運動を誘発することを指す。一般的にモーターポイントの位置の指定は難しいとされているが、本研究では電極を動的に動かし、他の部位と比較して痛みを感じにくいかつ、筋収縮を効率的に起こしている場所をモーターポイントであると推定し、電極を配置した。

3. 実験

本実験では、咬筋への筋電気刺激が食感を主とした食品知覚に与える影響を調査する。実験協力者は 21 歳から 24 歳の男性 10 名とした。また、そのうち 1 名は電気刺激が感じづらく、モーターポイントの同定が難しかったため実験を中止した。実験協力者には、椅子に座った状態で食品を咀嚼してもらった。この時、電極パッドを貼っている右側で咀嚼してもらった。実験の様子を以下の図 2 に示す。

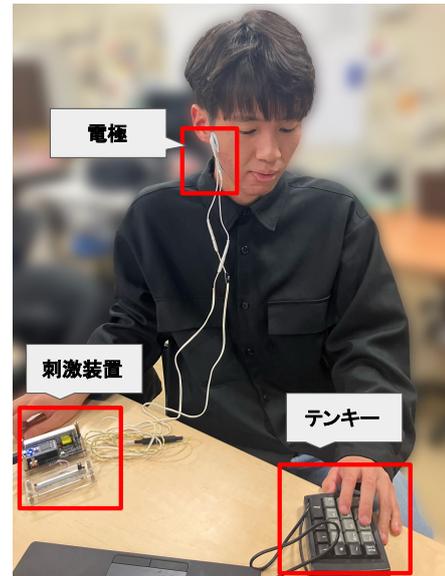


図 2: 実験の様子

条件 A から H までの 8 パターンにおいて、条件 O を基準の 4 点とした上で、知覚された風味や食感、食べやすさなどについて 7 段階の SD 法 (Semantic Differential Method) で評価してもらった。各項目は左側の項目に近いほど数字が小さく、右側の項目に近いほど数字が大きくなるように評価してもらった。以下は行ったアンケートの評価項目である。

- Q1 柔らかい - 硬い
- Q2 歯ごたえがない - 歯ごたえがある
- Q3 サクサク感がない - サクサク感がある
- Q4 なめらか - ざらざら
- Q5 味が薄い - 味が濃い
- Q6 噛みにくい - 噛みやすい

本研究では、食品知覚の評価を行う食品としてポテトチップス (ヤマザキビスケット株式会社 チップスターうすしお味)、グミ (株式会社明治 果汁グミぶどう) を使用した。これらの食品は大きさや堅さに個体差がなく、一口で食べることができる。また、食感が大きく異なるため、実験結果にも違いが現れるのではないかと考えた。実際に使用した食品を以下の図 3 に示す。

4. 実験結果

本節では、本実験で得られた実験結果について説明する。



図 3: 使用する食品

4.1 ポテトチップス咀嚼実験の結果

ポテトチップス咀嚼時において、条件 A から H における実験協力者が回答した点数の分布を以下の図 4, 5 に示す (* は $p < 0.05$ を表す)。ここでは有意差が見られたアンケート項目のみ示す。

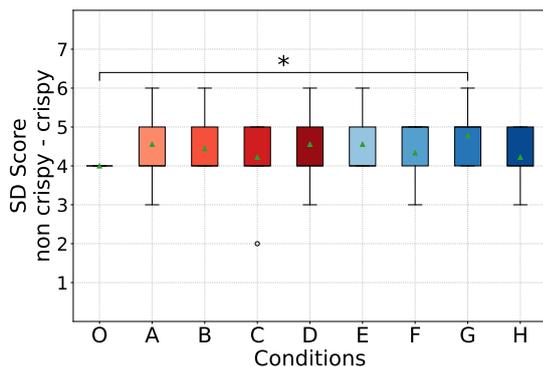


図 4: Q3 サクサク感がない - サクサク感がある

A, B, C, D: 常に刺激を与える

A:100 Hz, B:150 Hz, C:200 Hz, D:250 Hz

E, F, G, H: 咀嚼に合わせて刺激

E:100 Hz, F:150 Hz, G:200 Hz, H:250 Hz

Q1 から Q7 について評価してもらった点数について、条件 O とその他の条件に対し、ウィルコクソンの符号順位検定を有意水準 5% で行った。検定の結果、サクサク感に関する質問と噛みやすさに関する質問において有意差が確認された。その他の項目においては有意差は確認されなかった。

4.2 グミ咀嚼実験の結果

グミ咀嚼時においても同様に、実験協力者が回答した点数の分布を以下の図 6 に示す (* は $p < 0.05$ を表す)。ここでは有意差が見られたアンケート項目のみ示す。

グミ咀嚼時においてもポテトチップス同様、ウィルコクソンの符号順位検定を行った。検定の結果、歯ごたえに関

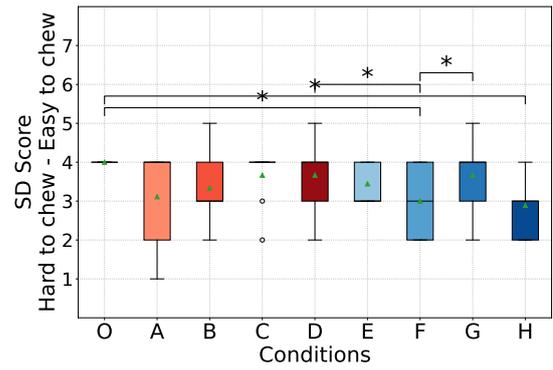


図 5: Q4 噛みにくい - 噛みやすい

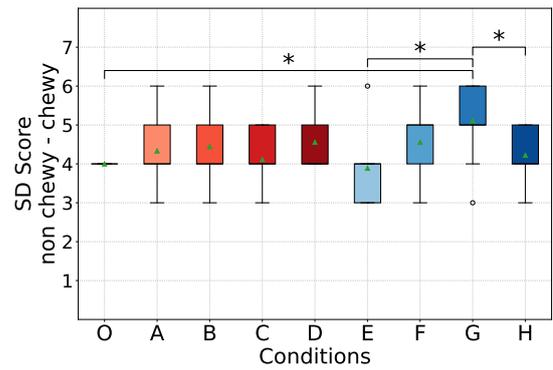


図 6: Q2 歯ごたえがない - 歯ごたえがある

する質問において有意差が確認された。その他の項目においては有意差は確認されなかった。

5. 考察

本節では、第 4 節で得られた結果により咬筋への筋電気刺激が食品の知覚に与える影響について考察する。

5.1 歯ごたえへの影響

本節では、咬筋への筋電気刺激が歯ごたえの知覚に及ぼす影響について考察する。

Q2 歯ごたえがない - 歯ごたえがある

についてグミ咀嚼時における条件 O と条件 G 間において有意差が確認され、歯ごたえが強くなったと知覚された。このことについては、後述する「噛みにくさ」により通常の食事より咀嚼に必要な力が増え、歯ごたえが強くなったように知覚されたと考えられる。また、グミは弾力性があり、持続的な咀嚼が必要なため、電気刺激による持続的な負荷が「歯ごたえ」という形で知覚されたのではないかと考えられる。

5.2 サクサク感への影響

本節では、咬筋への筋電気刺激がサクサク感の知覚に及ぼす影響について考察する。

Q3 サクサク感がない - サクサク感がある

についてポテトチップス咀嚼時における条件 O と条件 G 間において有意差が確認され、サクサク感が強くなったと

知覚された。このことについても「噛みにくさ」により咀嚼に必要な力が増え、その結果、心地よい刻みを感じられるようになったことが考えられる。また、ポテトチップスは初期の破断特性が食感の鍵であり、電気刺激による不随意的筋収縮がその破断の知覚を増幅させた可能性が考えられる。

5.3 噛みやすさへの影響

本節では、咬筋への筋電気刺激が噛みやすさの知覚に及ぼす影響について考察する。

Q6 噛みにくい - 噛みやすい

についてポテトチップス咀嚼時における条件 O と条件 F, H 間において有意差が確認され、噛みにくくなったと知覚された。また自由コメントにおいて「刺激による引っ張られる感覚で噛みにくさが生じられた気がした」といったコメントが得られた。このことより、電気刺激による口周りの締め付け感が噛みにくさに影響を及ぼしたと考えられる。

5.4 刺激のタイミングが及ぼす影響

本実験では、電気刺激を与えるタイミングを

- 咀嚼の最初から最後まで刺激
- 咀嚼のタイミングに合わせて刺激

の 2 パターンで行った。周波数が同じである条件 AE 間、条件 BF 間、条件 CG 間、条件 DH 間で同様のウィルコクソンの符号順位検定を行った結果、どの条件間にも有意差は確認されなかったものの、以下のようなコメントも得られた。

- 咀嚼の瞬間に刺激を流すと、若干ではあるが引っ張られる感覚が強くなったと思う。
- 刺激による引っ張られる感覚は常に流されている状態では感じにくかった。咀嚼の瞬間に流すと感じやすかった。
- 咀嚼のタイミングだけ電流を発生させた方が噛むときの変化が感じやすかった。

このように咀嚼に合わせて電気刺激を与えるほうが効果的に口周りの筋肉の運動を誘発できたというコメントが得られた。これに関しては電気刺激のオン・オフが頻繁に切り替わることで、筋肉の緊張と緩和が繰り返され、その動きを実感しやすくなったと考えられる。ただし、これによる食品知覚への有意な差を確認することは出来なかったため、より掘り下げて調査する必要がある。

5.5 周波数の違いが及ぼす影響

本実験では、電気刺激に用いた周波数として、100 Hz、150 Hz、200 Hz、250 Hz の 4 パターンを使用した。

刺激のタイミングが同じである条件間で同様のウィルコクソンの符号順位検定を行った結果、グミ咀嚼時の歯ごたえに関する質問において条件 EG 間、条件 GH 間において条件 G の方が有意に歯ごたえがあったと知覚され、噛みやすさに関する質問において条件 FG 間において条件 G の方が有意に噛みにくかったと知覚された。

また本実験では各刺激パターン終了後にも自由コメントをもらっていたが、周波数が増えるほど、「電気刺激による引っ張られている感を強く感じた」とのコメントを得ることが出来た。このコメントより、周波数の高い 200 Hz や 250 Hz の方が、筋肉の運動を誘発しやすく、咀嚼に影響を与えやすくなる可能性があると考えられる。ただし、250 Hz より 200 Hz の方が有意な差が得られたことより、200 Hz 付近についてより掘り下げて調査する必要がある。

5.6 咬筋への筋電気刺激が持つ食感知覚の変容可能性

本実験の結果から、咬筋への筋電気刺激は食感の知覚に一定の影響を与えることが示された。具体的には、ポテトチップスに対する刺激では「サクサク感」「噛みにくさ」が増し、グミでは「歯ごたえ」が増す傾向が見られた。

また、「硬さ」「テクスチャ感」「味の濃さ」に有意差が見られなかったことより、本手法は咀嚼に必要な「力」や「抵抗感」に関連する食感に特化して影響を与えることが考えられる。このことより、「咬筋への筋電気刺激は、食品の物理的な破壊特性に関わる知覚を主に変容させるものであり、表面のテクスチャや化学的な味覚には直接的な影響を及ぼしにくい」と結論付けられる。

6. 結論

本研究では、咬筋に電気刺激を加えることによる食品に対する食感知覚に与える影響について調査を行った。実験では、ポテトチップスとグミを対象食品とし、刺激を与えずに咀嚼を行う場合と、8 パターンの刺激を与えた状態で咀嚼を行う場合の食感知覚を比較させ、それぞれの対象食品について評価を行った。実験の結果、ポテトチップスではサクサク感や噛みにくさが増し、グミでは歯ごたえが増加する傾向が見られ、提案手法がこれらの知覚に影響を与えることが分かった。その一方で、柔らかさやテクスチャ感、味の変化には統計的な差は見られなかった。

また、刺激のタイミングを変えた条件では、より顕著な違いを感じるという自由コメントが得られたものの、統計的には有意な差は確認されなかった。周波数毎に比較した条件に関しては、200 Hz が他の周波数に比べ有意に知覚への影響を与えることが確認された。また周波数が増えるほど、筋肉の運動を実感するコメントが多く得られた。しかし、250 Hz では同様の結果は得られず、必ずしも高い周波数の方が食品知覚に影響を与えたとは言えないため、さらなる調査が必要な結果となった。

参考文献

- [1] Hiroo Iwata, Hiroaki Yano, Takahiro Uemura, and Tetsuro Moriya. Food simulator. *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 24, p. 1, 2003.
- [2] Arinobu Nijima and Takefumi Ogawa. A proposal of virtual food texture by electric muscle stimulation. In *2016 IEEE International Conference on Multimedia & Expo Workshops (ICMEW)*, pp. 1–6, July 2016.