



# タバスコ同等の辛味増強感を実現する舌部電気刺激手法の評価

大野雅貴<sup>1)</sup>, 青山一真<sup>2)</sup>, 鳴海拓志<sup>3)</sup>

Masaki OHNO, Kazuma AOYAMA, and Takuji NARUMI

- 1) 東京大学大学院学際情報学府 (〒 113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1, masaki@cyber.t.u-tokyo.ac.jp)  
2) 東京大学バーチャルリアリティ教育研究センター (〒 113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1, aoyama@vr.u-tokyo.ac.jp)  
3) 東京大学大学院情報理工学系研究科 (〒 113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1, narumi@cyber.t.u-tokyo.ac.jp)

**概要:** 舌部電気刺激手法はユーザの辛味知覚を増強可能であり, 過剰な辛味物質摂取を避けながら食事に辛さを追加できるインタフェースの基盤技術として期待されている。本研究では, 電気刺激による辛味増強効果が実際にどの程度の辛味物質の添加に相当するのか検証した。参加者に対して異なる濃度のタバスコ溶液と舌部電気刺激を呈示した際の辛味・塩味・酸味の各モダリティの知覚強度を評価する実験を行った。その結果, 0.5wt%のタバスコ溶液に対して 1.0mA または 2.0mA の陽極舌部電気刺激を呈示した場合, 電気刺激なし条件と比較して参加者の辛味と酸味の知覚強度に統計的に有意な差は確認されず, 塩味に対してのみ増強効果が示唆された。

**キーワード:** 辛味, 電気刺激, 電気味覚, Human Food Interaction

## 1. はじめに

現代の食事は, 生命維持に必要な栄養摂取に加えて, おいしさに伴う精神的満足感を得る役割を担う重要な人間の営みである。バーチャルリアリティ分野では, 食体験における感覚情報の編集・変容技術の対象として基本五味(甘味・塩味・苦味・酸味・うま味)に焦点を当てた研究が主流であった。一方で, 辛味も食体験において重要な役割を果たしており, 料理の中では香辛料として広く利用され, 香辛料の消費量は増加の一途を辿っている [1]。辛味物質の適度な摂取は脂肪吸収抑制や減塩効果に加え, 食事の精神的満足感の向上に寄与することが明らかになっている [2, 3]。しかし, 辛味の過剰摂取は健康に悪影響を及ぼすため, 少量の辛味物質でも十分な辛味を感じさせるバーチャルな辛味増強技術の開発が期待される [4]。

問題の解決法として, 一極型舌部電気刺激によって辛味知覚を増強する手法が提案されている [5]。この電気刺激手法では, 舌尖部に設置した金属製スプーンを陽極, 後頸部のシール型電極を陰極として用いることで電気回路を構成し, 舌部の辛味受容関連神経システムを刺激し, バーチャルな辛味感覚を呈示する技術である。本手法は舌表面を金属板などで覆う必要がないため, 日常的な飲食の場面で使用することが容易であるとされている。これまでの研究で舌部電気刺激の電流量制御によって唐辛子やワサビによる辛味感覚を操作する手法が提案されている [6]。一方で, 辛味増強効果の評価は電気刺激条件間の比較にとどまっている。電気刺激による辛味変調を実際の食事に適用することを考えた時, 舌部電気刺激による辛味の増強効果が実際の辛味調味料の添加同等の辛味増強感覚が得られるのか検証することはインタフェース設計に必要である。本研究では, 辛

味調味料としてタバスコペッパーソース(以下, タバスコ)を用い, 舌部電気刺激による辛味の増強効果がタバスコ添加と同等の辛味増強感覚に相当するのか検証を行う。

## 2. 実験

本実験では, タバスコ溶液を口に含んだ状態で舌部電気刺激を行い, 電気刺激による辛味増強効果がどの程度のタバスコ添加に相当するのかを検証した。なお, 実験は安全面を十分に配慮し, 東京大学倫理審査専門委員会の承認を受けて実施した。

### 2.1 実験参加者

本実験は 21 名(20 歳~54 歳, 平均年齢 29.4 歳,  $SD=8.5$ , 男性 9 名, 女性 12 名)の実験参加者に対して, 参加者内計画で行われた。実験参加者はいずれも味覚に異常がなく, 辛味を含む飲食物の喫食に抵抗感がないことを事前に確認した。また, 身体に電気刺激を印加することを事前に伝え, 同意の上で実験を施行した。

### 2.2 システム構成

本実験で使用したシステムは, 制御用 PC (Apple, MacBook Pro 13-inch M1 2020)・定電流電気刺激装置・電極から構成される。制御用 PC と定電流型電気刺激装置は光絶縁された状態でシリアル通信を行い, 刺激パターンは TouchDesigner (Derivative 社) から操作した。実験参加者は後頸部にシール型電極 (3M, Red Dot) を装着し, 舌部には電極に接続された洋白金メッキのスプーン (NORITAKE, 12Y/71G) を設置した。両電極は定電流型電気刺激装置に接続された。

### 2.3 実験条件

本実験では, タバスコ溶液の濃度条件と電気刺激条件の組み合わせが異なる 5 条件を採用した (表 1)。タバスコ溶

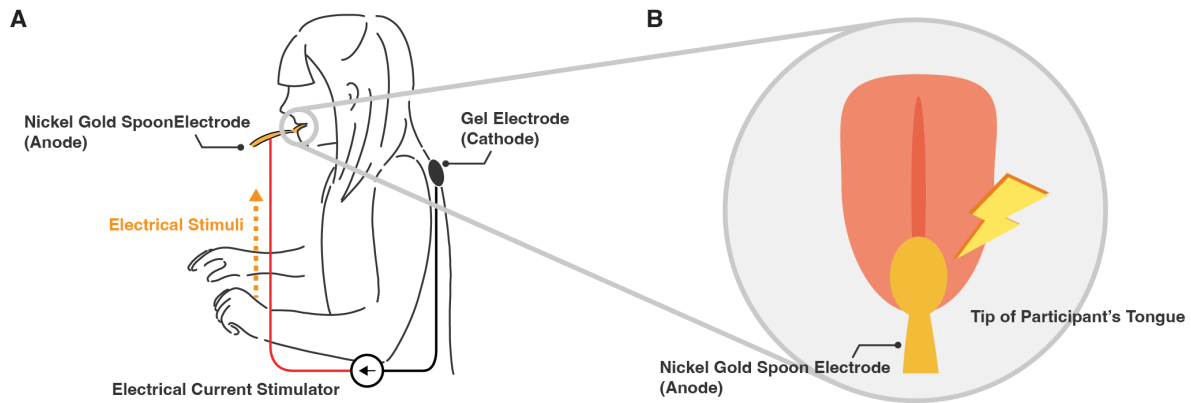


図 1: 実験システムの概要。(A) 参加者は金属製スプーン [陽極] を口にくわえ、後頸部にシール型電極 [陰極] を設置した。(B) 金属製スプーンは舌尖部につぼ部が触れるように設置した。

表 1: 本実験で用いた刺激条件

条件	タバスコ溶液の濃度 (wt%)	電気刺激 (mA)
a	0.5	—
b	0.5	1.0
c	0.5	2.0
d	1.0	—
e	2.0	—

液の濃度は、0.5wt%、1.0wt%、2.0wt%の3種類を用いた。各溶液は、飲料水（日本コカ・コーラ株式会社、い・ろ・は・す天然水）にTABASCO® オリジナルレッドペパーソース（McIlhenny Company）を溶解させて作成した。タバスコ溶液は冷蔵庫で保管され、実験開始1時間前から室温25°Cに戻して使用した。食品衛生上の観点から、タバスコ溶液は3日毎に新しいものに交換した。電気刺激呈示として、電気刺激を呈示しないコントロール条件（条件a）に加えて、最大電流値1.0mAの正の片側矩形波（条件b）、最大電流値2.0mAの正の片側矩形波（条件c）を用いた。両条件共に片側矩形波の持続時間は10sとした。上記の電気刺激条件は既に辛味増強効果が確認されている条件を採用した[6]。各条件は1回のみ呈示され、繰り返しは行わなかった。

#### 2.4 評価手法

本実験では、タバスコ溶液摂取時における舌部電気刺激が辛味知覚強度に与える影響を評価した。従来研究と比較して実験刺激の溶液が辛味物質以外の味質を含むため、辛味以外の塩味・酸味の変化が辛味知覚に影響を与える可能性もある。そこで、舌部電気刺激が主観的な塩味・酸味それぞれに与える影響についても検討した。参加者は刺激印加時に感じられた辛味および塩味・酸味知覚の強度をVisual Analog Scale (VAS) で評価するタスクを行った。VAS評価タスクにおいては、各項目の左端(0)を「全く何も感じない」、右端(100)を「これまでに感じた最大の強さ」として回答した。

#### 2.5 実験手順

実験は参加者内計画で行なった。実験参加者は開始前に実験についての説明を受け、同意書を記入した。その後、後頸部をアルコール消毒された後にシール型電極を貼り付け、絶縁のためゴム手袋を装着した。実験開始後、参加者はコップに注がれたタバスコ溶液20mLを全て口を含み、金属製スプーンを口腔内に含み、スプーンをつぼ部を舌尖部に設置するように指示された。辛味溶液と金属製スプーンを口腔内に含んだ10秒後に電気刺激を10秒間呈示した。その後、口からスプーンを出してから辛味溶液を吐き出すように指示され、刺激中に感じられた辛味・塩味・酸味の強度をVASで評価するタスクを行った。回答完了後、口内環境を統制するため飲料水（日本コカ・コーラ株式会社、い・ろ・は・す天然水）で口腔内をすすぎ、3分間の待機が指示された。辛味が完全に消失すると実験参加者は次の試行を開始した。実験全体は平均で約60分で行われた。

#### 3. 結果

参加者が各刺激条件において感じた知覚強度を感覚モダリティごとに整理したグラフを図2に示す。グラフの横軸は各刺激条件、縦軸は知覚強度のVAS評価値を示す。各感覚モダリティごとの知覚強度の分布をヒストグラムとシャピロウィルク検定で確認したところ正規性が確認できなかったため、刺激条件を要因としたノンパラメトリックのFriedman検定を行った。その結果、辛味・塩味の項目のみ有意水準5%で有意差が認められ、条件間に分布の差があることが示唆された( $p < .01$ )。そこで、辛味・塩味の各モダリティごとにHolm法で補正したWilcoxonの符号順位検定を用いて各実験条件間で多重比較を行った。結果を以下に示す。

##### 3.1 辛味

図2-Aで確認できるように、0.5wt%のタバスコ溶液かつ電気刺激なしのコントロール条件aは、タバスコ溶液の濃度を変化させ電気刺激は行わなかった条件d,eとの間でのみ有意差が見られた(条件a-d間:  $p < .05$ , 条件a-e間:  $p < .05$ )。1.0mAの電気刺激を行った条件bも同様に、タ

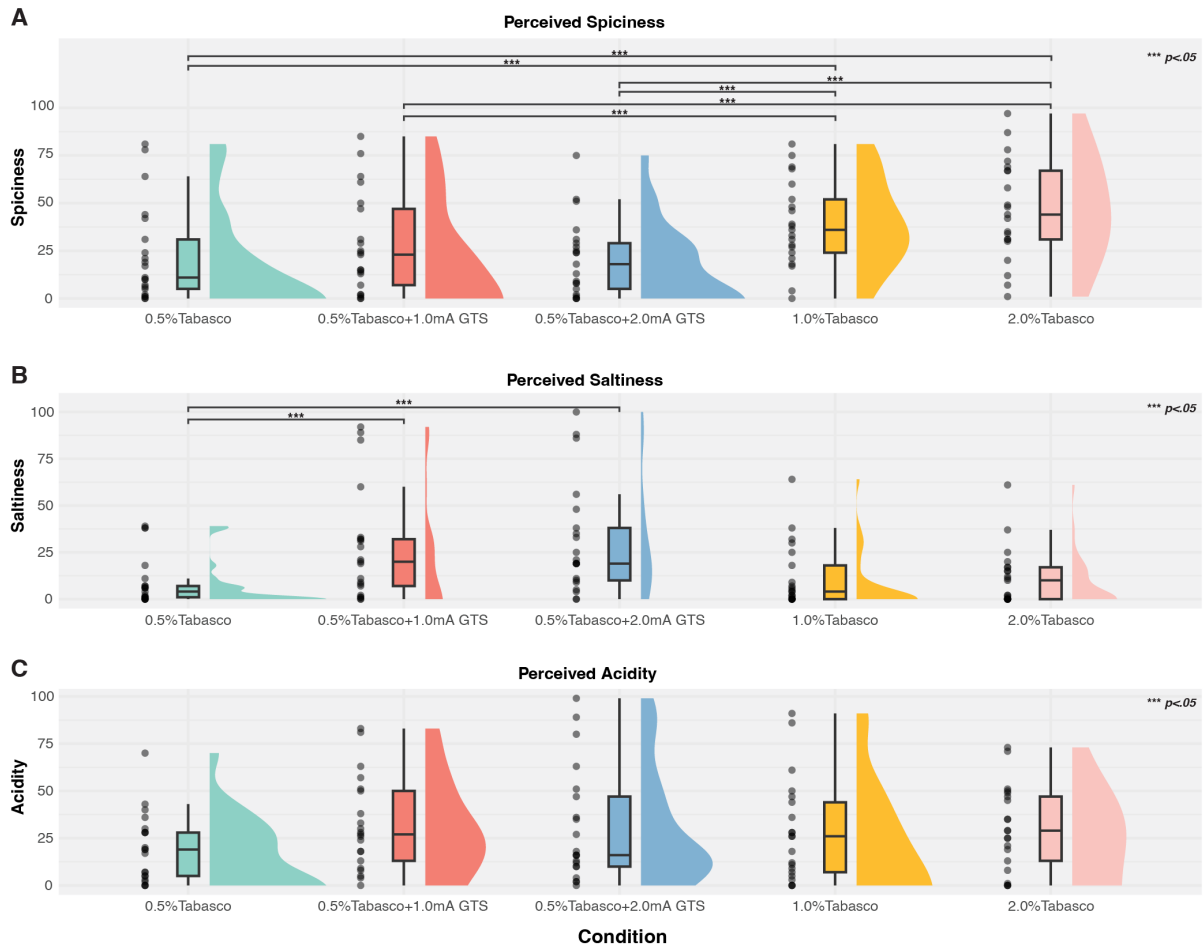


図 2: 各実験刺激条件下における (A) 辛味, (B) 塩味, (C) 酸味の知覚強度の分布。

バスコ溶液の濃度を変化させ電気刺激は行わない条件 d,e との間でのみ有意差が見られた (条件 b-d 間:  $p < .05$ , 条件 b-e 間:  $p < .05$ ). また, 2.0mA の電気刺激を行った条件 c も同様に, タバスコ溶液の濃度を変化させ電気刺激は行わない条件 d,e との間でのみ有意差が見られた (条件 b-d 間:  $p < .05$ , 条件 b-e 間:  $p < .05$ ).

### 3.2 塩味

図 2-B で確認できるように, 0.5wt% のタバスコ溶液かつ電気刺激なしのコントロール条件 a において, コントロール条件と同一濃度のタバスコ溶液が呈示されかつ 1.0mA または 2.0mA 電気刺激が呈示された条件 b,c との間で有意差が見られた (条件 a-b 間:  $p < .05$ , 条件 a-c 間:  $p < .05$ ).

## 4. 考察

本研究ではタバスコ添加と等価な辛味増強感を実現するための舌部電気刺激手法の定量評価を目的として, タバスコ溶液の濃度条件と電気刺激条件が異なる全 5 条件が呈示された際の主観的知覚強度を回答する実験を実施した. その結果, 辛味知覚強度について, 0.5wt% のタバスコ溶液を含みながら電気刺激を行った条件 b,c と同濃度のタバスコ溶液を含み電気刺激を行わなかったコントロール条件 a の間に有意差は見られなかった. この結果は, 唐辛子やワサ

ビの辛味が陽極舌部電気刺激で増強可能であると主張する先行研究 [5, 6] とは反する. このような結果が得られた理由として以下の 2 つの要因が考えられる.

仮説 1 舌電気刺激による辛味増強効果は辛味溶液の濃度に依存する

仮説 2 舌部電気刺激によって知覚強度が変化した辛味以外の味質により辛味知覚がマスキングされる

Nakamura らの研究では, 参加者が口に含む味物質の濃度によって電気刺激でもたらされる味覚増強効果変動することが示唆されている [7]. 従来の舌部電気刺激による辛味増強効果を検証した研究は, すべて 2wt% で唐辛子油を含む溶液を用いて実験を実施していた. 一方で, 本実験では 0.5wt% でタバスコを含む溶液を用いた. 唐辛子の辛味強度を定量評価した値であるスコヴィル値を各サンプルにおいて計測していないため単純比較はできないが, 辛味溶液の濃度によって電気刺激でもたらされる辛味増強効果変動する可能性がある (仮説 1). 本実験では舌尖部表面全体に電極を設置しており, 辛味知覚に関連する三叉神経の神経システムのみを独立に電気刺激しているとは考えにくい. 基本五味の受容に関わる鼓索神経も舌部まで伸びているため, 舌部電気刺激によって鼓索神経等を刺激した結果, 辛味以



外の感覚が惹起した可能性がある。従来研究 [8, 9] でも陽極電気刺激を呈示した際に電気味や金属味・苦味などが感じられると報告されており、舌部電気刺激によって辛味以外の味質が増強または惹起された結果、辛味の増強効果が相対的に感じられにくくなった可能性がある (仮説 2)。

塩味の知覚強度については、コントロール条件 a と電気刺激を行った条件 b, c の条件間にのみ有意差が見られ、0.5wt% のタバスコ溶液に 1.0 mA または 2.0 mA の陽極舌部電気刺激を印加することで主観的な塩味が増強されることが示唆された。この結果は、顎部に対して陽極電気刺激を行った中村らの研究で得られた結果に合致する [7]。一方で、酸味の知覚強度においては、全ての条件間で有意差があるとは言えないことが示唆された。基本五味を対象にした従来研究では、電気刺激による味覚変容の要因として、電解質のイオン泳動によって口腔内に濃度勾配が生まれることで味が変調して感じられるとする仮説や、電気刺激による確率共鳴効果によって特定の味が増強して感じられるとする仮説が提唱されている [10, 7]。食塩・食酢という複数の電解質を含むタバスコ溶液を用いた本実験において、塩味のみ増強効果が確認され、辛味や酸味の増強効果は確認できなかった。この結果は、イオン泳動説や確率共鳴現象説のみでは十分に説明できない。他方、辛味を受容する TRPV1 チャンネルは辛味だけでなく金属塩も受容することが先行研究で明らかになっている [11]。陽極電気刺激によって TRPV1 を含む舌部の三叉神経システムが刺激されて金属塩様の感覚が得られたことで参加者がより強い塩味を感じた可能性がある。

従来の電気味覚研究は一つの物質に対してのみの効果を評価することがほとんどであり、複数の味物質、特に三叉神経系の味質である辛味物質との混合状態を対象にした電気刺激による感覚変容効果の検証や説明モデルの提案は行われていない。今後は、舌部電気刺激による辛味増強効果の生起条件を精査する他、辛味と他の味質の混合溶液において辛味のみを独立増強可能な手法を探る。

**謝辞:** 本研究は JSPS 科研費 23H00079, 22K18424, 23KJ0587 およびサントリーグローバルイノベーションセンター株式会社との共同研究による支援を受けておこなわれた。

### 参考文献

- [1] Linda C Tapsell, Ian Hemphill, Lynne Cobiac, David R Sullivan, Michael Fenech, Craig S Patch, Steven Roodenrys, Jennifer B Keogh, Peter M Clifton, Peter G Williams, et al. Health benefits of herbs and spices: the past, the present, the future. *The Medical journal of Australia*, Vol. 185, No. 4, pp. S1–S24, 2006.
- [2] Mayumi Yoshioka, Makoto Imanaga, Hiromi Ueyama, Miya Yamane, Yoshiko Kubo, Andre Boivin, Jonny St-Amand, Hiroaki Tanaka, and Akira Kiyonaga. Maximum tolerable dose of red pepper decreases fat intake independently of spicy sensation in the mouth. *British Journal of Nutrition*, Vol. 91, No. 6, pp. 991–995, 2004.
- [3] Qiang Li, Yuanting Cui, Rongbing Jin, Hongmei Lang, Hao Yu, Fang Sun, Chengkang He, Tianyi Ma, Yingsha Li, Xunmei Zhou, et al. Enjoyment of spicy flavor enhances central salty-taste perception and reduces salt intake and blood pressure. *Hypertension*, Vol. 70, No. 6, pp. 1291–1299, 2017.
- [4] Nadia K. Byrnes and John E. Hayes. Behavioral measures of risk taking, sensation seeking and sensitivity to reward may reflect different motivations for spicy food liking and consumption. *Appetite*, Vol. 103, pp. 411–422, 2016.
- [5] Masaki Ohno, Kazuma Aoyama, Tomohiro Amemiya, Hideaki Kuzuoka, Keigo Matsumoto, Daisuke Mine, and Takuji Narumi. Anodal electrical stimulation enhances the perceived piquancy induced by chili peppers and wasabi. *IEEE Access*, Vol. 10, pp. 134647–134654, 2022.
- [6] Masaki Ohno, Kazuma Aoyama, Tomohiro Amemiya, Hideaki Kuzuoka, Keigo Matsumoto, and Takuji Narumi. Influence of electrical stimulation intensity on the perception of piquancy. In *2023 IEEE World Haptics Conference (WHC)*, pp. 319–325, 2023.
- [7] Hiromi Nakamura, Tomohiro Amemiya, Jun Rekimoto, Hideyuki Ando, and Kazuma Aoyama. Anodal galvanic taste stimulation to the chin enhances salty taste of nacl water solution. *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol. 33, No. 5, pp. 1128–1134, 2021.
- [8] Hiroshi Tomita, Minoru Ikeda, and Yukio Okuda. Basis and practice of clinical taste examinations. *Auris Nasus Larynx*, Vol. 13, pp. S1–S15, 1986.
- [9] Hiromi Nakamura and Homei Miyashita. Controlling saltiness without salt: Evaluation of taste change by applying and releasing cathodal current. In *Proceedings of the 5th international workshop on Multimedia for cooking & eating activities*, pp. 9–14, 2013.
- [10] Kazuma Aoyama, Kenta Sakurai, Satoru Sakurai, Makoto Mizukami, Taro Maeda, and Hideyuki Ando. Galvanic tongue stimulation inhibits five basic tastes induced by aqueous electrolyte solutions. *Frontiers in psychology*, Vol. 8, p. 2112, 2017.
- [11] Céline E Riera, Horst Vogel, Sidney A Simon, and Johannes le Coutre. Artificial sweeteners and salts producing a metallic taste sensation activate trpv1 receptors. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, Vol. 293, No. 2, pp. R626–R634, 2007.