



顎部電気刺激による辛味の増強効果

大野雅貴¹⁾, 青山一真²⁾, 雨宮智浩³⁾, 葛岡英明³⁾, 鳴海拓志³⁾

Masaki OHNO, Kazuma AOYAMA, Tomohiro AMEMIYA, Hideaki KUZUOKA, 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) 東京大学先端科学技術研究センター (〒 153-8904 東京都目黒区駒場 4-6-1, aoyama@cyber.t.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,
{amemiya, kuzuoka, narumi}@cyber.t.u-tokyo.ac.jp)

概要: 辛味の摂取は減塩や脂肪吸収抑制などの健康支援が期待できる一方で、過剰摂取すると健康被害を引き起こすため、トレードオフの関係にある。この問題を解消するため、舌部の神経線維を電気刺激してバーチャルに辛味を増強する手法などが提案されているが、舌表面に電極を設置するため咀嚼を前提とする実際の飲食の場面では利用が困難である。本研究では、顎部と後頸部に装着した電極から舌部の神経線維を電気刺激して口腔外から辛味を増強する手法を提案し、辛味の増強効果を評価した。顎部電気刺激時の辛味の知覚強度を評価する実験を実施したところ、2.5 mA の顎部電気刺激では統計的に有意な辛味の増強効果は確認されなかった。

キーワード: 辛味, 顎部電気刺激, 電気味覚, 三叉神経

1. はじめに

食事は、生命維持に必要な栄養素を摂取する行為であると同時に、精神的な満足感を得る役割を担っている。食の役割が多様化する中で、食体験に計算機を介することでより良い食体験を設計する Human-food interaction (HFI) という学問領域が注目されている [1, 2]。これまで HFI 分野では狭義の味覚が注目され、基本五味（甘味・塩味・苦味・酸味・うま味）などを編集・提示する研究が進められてきた [3, 4, 5, 6]。

一方で、広義の味覚に含まれる辛味も食体験において重要な役割を果たしている。辛味物質は香辛料として世界中の料理に用いられ、辛味物質の消費量は近年増加傾向にある [7, 8]。また、辛味物質を料理に付与することで脂肪吸収の抑制や減塩効果が得られる他、食体験の精神的な満足感を向上させる効果が明らかになっている [9, 10]。しかし、最大摂取量を超えた辛味物質の過剰摂取は、胃食道逆流症などを引き起こす可能性があり、健康面に悪影響を及ぼすと指摘されている [11, 12, 13, 14]。さらに、辛味物質を摂取することで endorphin が分泌され精神的な満足感を感じさせるが、これは同時に中毒症状を引き起こすため、辛味物質の過剰摂取に繋がるのが指摘されている [15, 16, 17]。このトレードオフの関係を解消するため、少量の辛味物質でも多量の辛味物質を摂取したように感じられるバーチャルな辛味増強インタフェースの実現が期待される。

辛味物質は主に三叉神経の神経終末に発現するイオンチャネルによって受容され、このイオンチャネル型受容体の総称を Transient Receptor Potential (TRP) チャネルという [18]。従来研究ではこの TRP チャネルのポリモーダル性

を応用し、温度の急峻な勾配によって痛みを惹起するサーマルグリル錯覚を発生させて辛味を錯覚させる手法 [19] や、舌部への電気刺激に加えて温度や香りを同時に提示することで辛味を変容する手法が提案されてきた [20, 21]。また、辛味の増強手法として、金属製スプーンを舌部に設置し、舌部の三叉神経を電気刺激する手法も提案されている [22]。しかし、これらの手法はいずれも舌面を電極やヒートシンクで覆う必要がある。日常的な飲食の場面では口腔内に設置された電極は咀嚼を阻害する要因となるため、ユーザは利用しにくいと考えられる。例えば、サーマルグリル錯覚を応用した手法は飲食物とヒートシンクの両方が同時に舌部に接する必要があるため、咀嚼しながら辛味の増強効果を得ることは困難である。そのため、日常的な飲食の場面での利用を鑑み、飲食物の咀嚼を阻害せずに口腔外から辛味を増強可能な手法の確立が望まれている。

そこで、本研究では、口腔外に電極を設置して咀嚼を阻害しない辛味増強手法として顎部電気刺激を提案し、顎部電気刺激が舌部電気刺激と同様に辛味の増強効果が確認されるか検証する。

2. 顎部電気刺激を用いた辛味増強手法

我々は先行研究において、TRP チャネルが発現する舌部の三叉神経を電気刺激する舌部電気刺激手法 (GTS: Galvanic Tongue Stimulation, 図 1-(A)) を用いることで、辛味の増強効果が得られることを明らかにした [22]。舌部電気刺激手法による辛味の増強効果が確認されたことで、舌部に直接電極を設置しなくとも、舌部の三叉神経を刺激可能な十分な電流量を与えて神経発火を誘発できれば、口腔

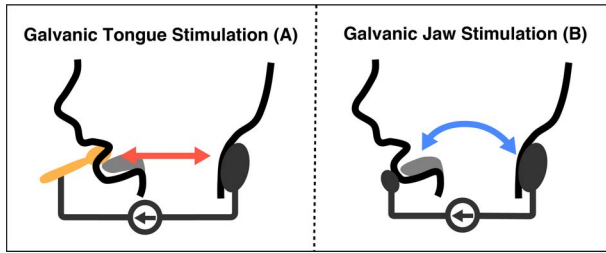


図 1: 舌部電気刺激 (A) と顎部電気刺激 (B) のイメージ

外から辛味を増強可能である可能性が示唆された。

口腔外から口腔内の電流密度分布を制御して舌部の三叉神経を刺激可能な手法として、下顎部と後頸部に電極を設置して電気刺激を行う顎部電気刺激 (GJS: Galvanic Jaw Stimulation) が考えられる (図 1-(B))。青山らの研究 [23] によると、顎部電気刺激でも口腔内に電極を設置した際と同様の味覚抑制・増強効果が得られることが明らかになっている。また、顎部電気刺激は顎部に設置した電極から口腔内を通過して後頸部に設置した電極と電流回路を形成し、口腔内の電流密度分布を変化させることが示唆されている。一方で、舌部電気刺激による辛味の増強メカニズムも、口腔内の電流密度分布を操作して舌部の三叉神経を刺激することで辛味が増強したように感じられる [22, 24]。そのため、舌部表面に電極を設置せずとも、顎部の電極から電気刺激を行い口腔内の電流密度分布を変化させることで、舌部の三叉神経を刺激し辛味を増強可能であると考えられる。

3. 実験

本研究では、顎部電気刺激による辛味の増強効果を明らかにするため、電気刺激の印加時に口腔内で知覚された辛味の知覚強度を評価する実験をおこなった。なお、実験は安全面を十分に配慮し、東京大学大学院情報理工学系研究科倫理委員会の承認を受けて実施した。

3.1 実験参加者

本実験は 6 名 (23 歳~26 歳, 平均年齢 24.8 歳, 男性 1 名, 女性 5 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。

3.2 実験刺激

本実験では、顎部電気刺激によって舌部電気刺激と同様の辛味の増強効果が得られるかを検証するため、3つの実験刺激条件を設定した。顎部から舌部の神経線維を刺激する実験条件 (Anodal GJS) では最大電流値 2.5 mA, 持続時間 10s の陽極電気刺激を用いた [23]。また、辛味の増強効果が既に明らかになっている舌部電気刺激条件 (Anodal GTS) では、最大電流値 1.5 mA, 持続時間 10s の舌部への陽極電気刺激を用いた [24]。これらの電気刺激波形は、いずれも矩形波を用いた。また、電気刺激を行わないコントロール条件を設定した。



図 2: 実験参加者の電極配置

3.3 システム構成

本実験で使用したシステムは、制御用 PC (msi, GS65 Stealth)・定電流型電気刺激装置・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、刺激パターンを専用アプリケーションから操作した。実験参加者は図 2 に示すように電極を装着した。後頸部と下顎部にシール型電極 (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) を接触させた。

実験で使用する辛味溶液すべて同じ濃度を使用し、飲料水 (日本コカ・コーラ株式会社, い・ろ・は・す 天然水) に乳化剤である大豆レシチン (株式会社丸藤, 豊生 大豆レシチン) を溶解後, capsaicin を抽出した油脂を攪拌することで生成した。辛味溶液は約 1% の濃度で capsaicin を抽出した油脂を含有し, 常温で提供された。また, capsaicin の抽出は, 180°C に熱したサラダ油 (日清食品株式会社) 200g を一味唐辛子 (ユウキ食品株式会社) 40g に加え, 1 時間後に濾過することで得た。

3.4 実験手順

実験開始前に、実験参加者は試行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、後頸部と顎部の皮膚をアルコール消毒された後にシール型電極を貼り付け、絶縁のため右手にゴム手袋を装着した。ゴム手袋の装着を確認後、実験を開始した。本実験は、記憶フェーズと評価フェーズの 2 つから構成されている。

まず、辛味感覚とは異なる感覚を辛味として評価することを避けるため、記憶フェーズを実施した。記憶フェーズでは、実験に使用する辛味溶液と同様の液体を口に含み、口腔内で知覚された感覚を記憶し、実験における「辛味」として扱うように指示された。その後、辛味溶液から感じた辛味の質を回答する事前アンケートを記入し、回答完了後に評価フェーズを開始した。

評価フェーズでは、実験参加者は辛味溶液 20 mL を口に含み、その後金属製スプーンを口腔内に含んだ。参加者が辛味溶液と金属製のスプーンの両方を口腔内に含んだ 5 秒後に、3つの実験条件のうちいずれかの刺激を印加された。その後、辛味溶液を吐き出すように指示され、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) で口腔内をすすいだ。その後、休憩時間を設け、実験参加者の口腔内の辛味が完全に消失するまで待機させた。辛味が完全に消失した後に、7 段階のリッカート

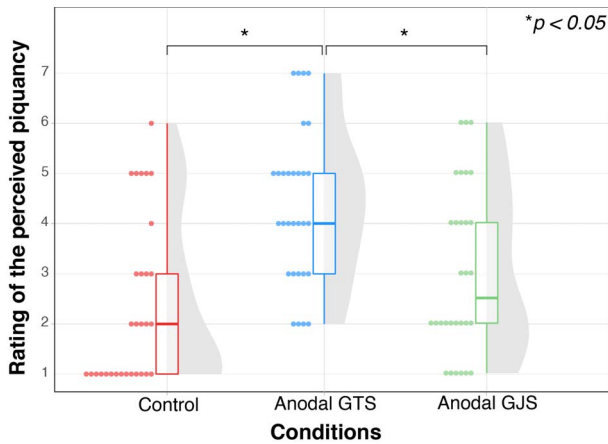


図 3: 各刺激条件における辛味の強さの評価値

尺度（1—全く辛くない，7—とても辛い）で辛味の強さを評価する課題を行った。回答が完了後に，次の試行を開始した。以上の試行を，3つの実験条件に対してそれぞれ5試行ずつ合計15試行を実施した。また，途中に5分間の休憩をとった。実験全体は平均で約90分で行われた。

4. 結果

実験参加者が各刺激条件において感じた辛味の強さを図3に示す。グラフの横軸は各刺激条件，グラフの縦軸は辛味の強さを7段階リッカート尺度で評価した値を示す。各刺激条件の評価データの分散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，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 ($p < 0.05$)。Bonferroni補正によるWilcoxonの符号順位和検定で多重比較を行った結果，Control条件–Anodal GTS条件間とAnodal GTS条件–Anodal GJS条件間で有意差が見られた ($p < 0.05$)。

5. 考察

実験の結果より，Control条件–Anodal GJS条件間の主観的な辛味評価値に有意差が見られなかったため，顎部電気刺激の陽極電気刺激では統計的に有意な辛味の増強効果は示されなかった。

従来の舌部電気刺激とは異なり顎部電気刺激で辛味が増強されない要因として，舌部の三叉神経を刺激するほどの高い電流密度分布が口腔内に形成されないことが考えられる。Iannilliらの研究によると，0.6mAから1.8mAの電流量を与えることで前額部から三叉神経第一枝を電気刺激可能である示されている [25]。我々の先行研究でも1.0mA以上の陽極電気刺激を用いることで舌表面部の電極から三叉神経を刺激し辛味が増強可能であることが明らかになっている [24]。これらの研究はいずれも電極直下の三叉神経を刺激対象としている。しかし，顎部電気刺激手法では刺激対象である舌部の三叉神経から顎部の電極までの物理的距離が離れており，さらに電流経路にインピーダンスの高

い皮膚部が含まれているため，本実験で使用した2.5mAの顎部電気刺激では舌部の三叉神経を刺激するのに十分な電流密度分布が口腔内に形成されなかったと考えられる。

6. 結論

本研究では，顎部に電極を設置して電気刺激を行うことで口腔内の電流密度分布を操作し，飲食物の辛味を増強可能な顎部電気刺激手法を提案した。この手法は口腔内に電極を設置する必要がないため，咀嚼を伴う日常的な飲食の場面に応用可能である。顎部電気刺激による辛味の増強効果を検証するため，コントロール条件・舌部電気刺激条件・顎部電気刺激条件をそれぞれ与えられた際の辛味の知覚強度を回答する実験を実施した。その結果，2.5mAの顎部電気刺激は舌部電気刺激とは異なり，統計的に有意な辛味増強効果はみられなかった。顎部電気刺激による辛味の増強効果が確認されなかった要因として，本実験で用いた顎部電気刺激条件では舌部の三叉神経を刺激するのに十分な電流密度分布が口腔内に形成されなかったと考えられる。

この問題を解決するために2.5mA以上の電気刺激を顎部の電極から与える手法が考えられる。しかし，舌部に局所的な電流密度分布を形成する大きな電流を与えると，顎部の電極直下の皮膚部の神経線維も同時に刺激されて痛みを伴う可能性が高い。日常的な場面で利用するインタフェースへの応用を考えると，痛みを伴う体験はユーザにとって受け入れ難い。今後は，顎部電気刺激手法以外を用いて口腔外から辛味を増強可能な手法を新たに検討する。

謝辞 本研究の一部はJSPS科研費(22H03628)，JSTさきがけ(JPMJPR19J1)による支援を受けておこなわれた。

参考文献

- [1] Carlos Velasco, Kasun Karunanayaka, and Anton Nijholt. Multisensory human-food interaction. *Frontiers in psychology*, Vol. 9, p. 796, 2018.
- [2] Takuji Narumi. Multi-sensorial virtual reality and augmented human food interaction. In *Proceedings of the 1st Workshop on Multi-sensorial Approaches to Human-Food Interaction*, pp. 1–6, 2016.
- [3] Hiromi Nakamura and Homei Miyashita. Augmented gustation using electricity. In *Proceedings of the 2nd augmented human international conference*, pp. 1–2, 2011.
- [4] Homei Miyashita. Norimaki synthesizer: taste display using ion electrophoresis in five gels. In *Extended Abstracts of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1–6, 2020.
- [5] Kizashi Nakano, Daichi Horita, Norihiko Kawai, Naoya Isoyama, Nobuchika Sakata, Kiyoshi Kiyokawa, Keiji Yanai, and Takuji Narumi. A study on persistence of gan-based vision-induced

- gustatory manipulation. *Electronics*, Vol. 10, No. 10, p. 1157, 2021.
- [6] Takuji Narumi, Shinya Nishizaka, Takashi Kajinami, Tomohiro Tanikawa, and Michitaka Hirose. Augmented reality flavors: gustatory display based on edible marker and cross-modal interaction. In *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems*, pp. 93–102, 2011.
- [7] 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.
- [8] Geoffrey A Cordell and Oscar E Araujo. Capsaicin: identification, nomenclature, and pharmacotherapy. *Annals of Pharmacotherapy*, Vol. 27, No. 3, pp. 330–336, 1993.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] Marcello Ferrari, Mario Olivieri, Carlo Sembenini, Luigi Benini, Vinicio Zuccali, Enrico Bardelli, Paolo Bovo, Giorgio Cavallini, Italo Vantini, and VINCENZO Lo Cascio. Tussive effect of capsaicin in patients with gastroesophageal reflux without cough. *American journal of respiratory and critical care medicine*, Vol. 151, No. 2, pp. 557–561, 1995.
- [12] Hisashi Yamamoto, Synunji Horie, Masayuki Uchida, Shizuko Tsuchiya, Toshihiko Murayama, and Kazuo Watanabe. Effects of vanilloid receptor agonists and antagonists on gastric antral ulcers in rats. *European journal of pharmacology*, Vol. 432, No. 2-3, pp. 203–210, 2001.
- [13] Y-J Surh and Sang Sup Lee. Capsaicin in hot chili pepper: carcinogen, co-carcinogen or anticarcinogen? *Food and Chemical Toxicology*, Vol. 34, No. 3, pp. 313–316, 1996.
- [14] Ann M Bode and Zigang Dong. The two faces of capsaicin. *Cancer research*, Vol. 71, No. 8, pp. 2809–2814, 2011.
- [15] Nadia K. Byrnes and John E. Hayes. Gender differences in the influence of personality traits on spicy food liking and intake. *Food Quality and Preference*, Vol. 42, pp. 12–19, 2015.
- [16] Paul Rozin and Deborah Schiller. The nature and acquisition of a preference for chili pepper by humans. *Motiv. Emot.*, Vol. 4, No. 1, pp. 77–101, March 1980.
- [17] 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.
- [18] David Julius. Trp channels and pain. *Annual review of cell and developmental biology*, Vol. 29, pp. 355–384, 2013.
- [19] 吉田圭佑, 小川剛史. サーマルグレル錯覚を用いた辛味提示手法に関する検討. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 23, No. 3, pp. 189–196, 2018.
- [20] Nimesha Ranasinghe, Adrian Cheok, Ryohei Nakatsu, and Ellen Yi-Luen Do. Simulating the sensation of taste for immersive experiences. In *Proceedings of the 2013 ACM international workshop on Immersive media experiences*, pp. 29–34, 2013.
- [21] Nimesha Ranasinghe, Gajan Suthokumar, Kuan-Yi Lee, and Ellen Yi-Luen Do. Digital flavor: towards digitally simulating virtual flavors. In *Proceedings of the 2015 ACM on international conference on multimodal interaction*, pp. 139–146, 2015.
- [22] 大野雅貴, 青山一真, 雨宮智浩, 葛岡英明, 鳴海拓志. 口腔内への電気刺激による辛味の増強効果. 第26回日本バーチャルリアリティ学会, 2021.
- [23] 青山一真, 櫻井健太, 古川正紘, 前田太郎, 安藤英由樹. 顎部電気刺激による味覚提示・抑制・増強手法. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 22, No. 2, pp. 137–143, 2017.
- [24] 大野雅貴, 鳴海拓志, 峯大典, 松本啓吾, 雨宮智浩, 葛岡英明, 青山一真. 舌部への陽極電気刺激による辛味増強効果の評価. 第121巻, pp. 245–249. IEICE, 2022.
- [25] E Iannilli, C Del Gratta, JC Gerber, GL Romani, and T Hummel. Trigeminal activation using chemical, electrical, and mechanical stimuli. *Pain*, Vol. 139, No. 2, pp. 376–388, 2008.