

陽極顎部電気刺激による甘味増強効果の検証

青山 一真*¹ 西村 脩平*² 大野 雅貴*¹

Abstract --- 味覚電気刺激は電気刺激によってバーチャルな味を提示したり、食品の味を弱めたり強めたりすることができる。その中でも、顎と首の後ろに電極を設置して電流を印加する顎部電気刺激は、口腔内に電極を設置することなく食品の味を増強・抑制することができるため、食事体験を変容させる拡張現実技術としての利用が期待されている。この顎部電気刺激による味覚調整手法においては、顎部を陽極にした陽極刺激によって、刺激中に継続して塩味を増強することができることが近年明らかにされている。しかしながら、現状甘味に関してはその増強効果は確かめられていない。そこで本研究では、顎に陽極を設置した陽極顎部電気刺激がもたらす甘味の口腔外からの味覚増強効果を検証する。

Keywords: 味覚電気刺激, 食体験, 拡張現実

1 はじめに

バーチャルリアリティ(VR)等の分野において、食事の体験を変容させ、よりおいしい、より楽しい食事の体験や、食事制限を支援する技術を創出する研究が行われている。食事の体験は、一般的なVR体験とはやや異なり、視聴覚に加えて味覚や嗅覚といった化学感覚が重要な構成要素となる。

しかしながら、化学感覚は化学物質の存在を検知して知覚するための感覚であり、そこには物理的なエネルギーが存在しない。このため、コンピュータを使ったデジタル技術による感覚の人工的な再現の難易度は高く、視聴覚と比較して化学感覚ディスプレイの研究は未開拓であるといってもよいだろう。

このため、味覚や嗅覚のディスプレイだけで食体験をバーチャルに創出することは現状困難であり、食体験の変容をもたらす技術の研究の多くは、感覚間相互作用(クロスモーダル)を活用した研究が行われている。鳴海ら(2010)はプレーンクッキーの見た目を変えたり、クッキーを食べる際に鼻腔周辺に香りを噴霧することで、プレーンクッキーの味を変容させるメタクッキーを開発している[1]。また、鳴海ら(2018)は食卓上の天ぷらに映像をプロジェクションマッピングすることで天ぷらのおいしさが変わることや、コップの大きさを変える事で、一口当たりの飲料の消費量を変が変わることを示している[2]。これらは、食品や料理を使ってその味やおいしさなどに起因する食体験を変容させる研究である。

これに対して、味物質を口腔やトレーに噴霧して味を作り出す研究も行われている。宮下(2021,2022)は基本

五味の味がついている液体をフィルムや食品に噴霧し、設計した味を感じることでできる手法を開発している[3,4]。また、宮下らは食品やフィルムに対して味物質を噴霧する設計であるが、Iwata ら(2003)は口腔内に味物質を噴霧する設計の装置である FoodSimulator を開発している[5]。この FoodSimulator はモーターによって噛み応えも再現する事ができるようになっている。

これらの味を作り出す技術は、味物質を利用して味を提示する。しかし、実際に食品を摂取してもらう必要があることや、味物質の管理が困難である等の理由から、現状味を作り出すディスプレイ技術として標準的な地位を確立しているとは言えない。

味物質を使わずに味を作り出したり、食品に追加の味物質を添加することなく味を調整する手法として、味覚電気刺激の研究が行われている。

味覚電気刺激は、その刺激の手法により、舌に電極を直接接触させる「舌直接刺激型」、フォークやスプーンなどの食器を模して、食品を通して舌を刺激する「食器型」、顎や下顎などに電極を設置して口腔外から印加した電流によって味を操作する「口腔外型」に分類できる。

舌直接刺激型は、Ranashinghe ら(2012)の Tongue Mounted Interface がある[6]。これは2枚の電極で舌を挟み込み、様々な周波数で電流を印加しつつ、電極の温度を変化させることで、多様な味質をバーチャルに提示する事ができる。食器型の味覚電気刺激には、Nakamura ら(2011)の提案する箸型やフォーク型やカップ型[7,8]、キリンホールディングス株式会社と明治大学宮下研究室の提案するスプーン型、おわん型の装置がある[9]。この手法は、舌直接型と比較して、食事を阻害せず味を調整する事ができるため、食事の体験に自然な形で装置を取り入れることができる。一方で、この食

*1 東京大学

*2 アサヒクオリティアンドイノベーションズ株式会社醸造科学研究所

*1 The University of Tokyo

*2 Brewing Science Laboratories, Asahi Quality & Innovations, Ltd

器型の欠点は口腔内に電極部があるときや、電極部と接触している食品が口腔内にある時だけしか味を調整する事ができないというところである。これでは、食事を通して味を変容させ続けることが困難である。

口腔内に電極や電極と設置した食品がなくとも、味を変調させることのできる、口腔外型の味覚電気刺激手法として、青山ら(2016)の提案している顎部電気刺激がある。この刺激では、顎と首の後ろに電極を設置して、皮膚を通して口腔内に電流を印加し、食品の味を調整する事ができる[10]。

味覚電気刺激は、口腔内あるいは口腔周辺に設置する電極の極性によってもたらされる効果が異なる。口腔内にあるいは、口腔周辺に陽極がある場合の刺激手法を陽極刺激と呼ぶ。この陽極刺激には、刺激中に電気味や金属味などと呼ばれる味を作り出す、味覚提示効果[11]と、主に電解質(食塩水など)の呈する味を増強する味覚増強効果[12]がある。特に、陽極刺激の味覚増強効果は、近年 Nakamura ら(2021)によって発見[13]され、食体験の変容技術として期待されている。

陰極刺激は刺激中と刺激停止直後でその効果が異なる。陰極刺激の刺激中には、電解質の呈する味が抑制される、味覚抑制効果が見られる。また、刺激停止直後には味が強く感じる、味覚増強効果が見られる[12]。

これらの味覚電気刺激が及ぼす味覚の提示・抑制・増強効果の中でも、味を強く感じさせることができる味覚増強効果は最も社会応用が期待されている効果である。

味覚電気刺激による味覚抑制効果や味覚増強効果は、基本五味すべてにおいて検証されており、味を呈する物質によってそれぞれを抑制も増強もできるとされている。一方で、これらは口腔内に電極を設置した刺激手法によるものであり、顎部電気刺激によって味覚増強効果が認められているのは、現状食塩水の呈する塩味だけであり、食体験の変容において塩味と同様に好ましい味である甘味については、十分に検証されていない。

そこで、本研究では甘味を呈する食品の水溶液に対して味覚電気刺激を行い、その味覚増強効果について検証することを目的とする。

2 方法

2.1 予備的検討

本研究では、甘味を呈する食品の味覚増強効果について、その増強効果の有無と増強効果の強度を検証する。甘味を呈する食品は非常に多くあり、これらの中から、著者が予備的に食品の水溶液を口腔に含み、顎を陽極とした刺激を行ったところ、スクラロースと果糖ブドウ糖液糖の呈する甘味が増強される可能性があるかと判断した。また、甘味が増強されない可能性が高いと判

断した上白糖(DM 三井製糖社製)を対照条件の甘味物質として採用した。

2.2 実験方法

本実験の参加者は、健康な成人(平均 26.25 歳) 12 名であった。全ての実験参加者から、十分にインフォームドコンセントを得て実験に参加してもらった。

実験は静かな実験室で椅子に座って行われた。実験参加者は、電極を設置する皮膚をウェットティッシュで拭かれ、その後、顎(陽極)と首の後ろ(陰極)にゲル電極を設置された。

実験参加者には、5%砂糖水、0.0187%スクラロース水溶液、8.87%果糖ブドウ糖液糖のいずれかを「刺激用水溶液」30g 口腔に含んでもらい、2mA の電流刺激を印加し、その時に感じた甘味の強度を覚えてもらった。この時、刺激時間は実験参加者から合図をしてもらって終了するものとした。

この濃度は事前の予備実験において、著者 1 名を含めた 5 名の実験参加者を募り、5%の砂糖水と等価な甘味となるようにスクラロースと果糖ブドウ糖液糖を調整してもらったときの平均値を採用している。この等価濃度の推定値を今回の刺激用水溶液の濃度として採用した理由は、先行研究において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しうと考えられるためである[13]。

実験参加者は、刺激終了後に実験参加者は水(いろはす、コカ・コーラ社製)と「刺激用水溶液」と同じ水溶液を「調整用水溶液」として渡され、そこに、砂糖、スクラロース、果糖ブドウ糖液糖の内、刺激用水溶液と調整用水溶液に使われている食品が渡された。実験参加者には、これらの食品を使って、調整用水溶液の呈する甘味を電気刺激中に感じた甘味と同じようになるように調整してもらった。この時、実験参加者は調整用水溶液の味を確かめるためにスポイトを使って 2ml を採水して口に入れるようにしてもらった。

これらの調整用水溶液、調整に使用した水、調整に使用した甘味物質それぞれの重さを実験参加者が調整用水溶液を調整するたびに記録しつつ、スポイトを使った回数とタイミングを記録し、調整用水溶液の最終的な濃度を計算した。

この計算において、スポイトで 2ml を採水した際に、その 2ml の水溶液の重さは未知となる。このため、本研究では、事前に水と 5%砂糖水、5%果糖ブドウ糖液糖水溶液のそれぞれの 100ml ずつの重さを計測し、水溶液の濃度と重さの関係を線形近似するものとして取り扱った。この結果、水は 100ml あたり、102g、5%砂糖水は 114g、果糖ブドウ糖液糖は 105 であった。よって、砂糖水は 1%あたり 2.4g、果糖ブドウ糖液糖は 1%あたり 0.6g、

100ml あたりの重さが増すものとして近似した。

ここで、スクラロースは、非常に軽量で、微量で甘くなる性質がある。このため、本稿ではスクラロースは濃度によらず 100ml あたり 102g であるものとして近似した。

この実験では、砂糖水、スクラロース水溶液、果糖ブドウ糖液糖の 3 つの甘味物質を実験参加者に調整してもらいが、この条件はランダムな順番で行われ、3 つの試行を 1 セッションとした。このセッションを 3 回繰り返して行い、合計 9 回の試行を行った。

3 結果

本研究では、甘味を呈する食品の味覚増強効果について、その増強効果の有無と増強効果の強度を検証する事を目的としている。

表 1 は、砂糖水、スクラロース水溶液、果糖ブドウ糖液糖水溶液のそれぞれの調整用水溶液の平均濃度を示している。この表における p 値は、この砂糖水、スクラロース水溶液、果糖ブドウ糖液糖水溶液の濃度データそれぞれと、砂糖水は 5%、スクラロース水溶液は 0.0187%、果糖ブドウ糖液糖水溶液は 8.87% の刺激用水溶液の濃度との Wilcoxon 符号順位和検定を実施して計算されたものである。

この表から、砂糖水の調整用水溶液濃度の平均値は刺激用水溶液の濃度よりも高いものの、その間に有意な差はなかった。一方で、スクラロースと果糖ブドウ糖液糖水溶液は、それぞれ刺激用水溶液濃度よりも調整用水溶液の濃度の方が高く、かつ有意な差が認められた ($p < 0.05$)。

表 1 甘味物質ごとの調整用水溶液の平均濃度・標準偏差・刺激用水溶液濃度ならびに統計検定の p 値

Table 1 Averaged concentrations of adjusted sample, standard deviation, concentration of stimulation sample, and p-value against each taste sample.

	砂糖水	スクラロース	果糖ブドウ糖液糖
調整用水溶液の平均濃度 [%]	5.102	0.036	11.707
標準偏差	0.668	0.011	3.773
刺激用水溶液の濃度 [%]	5.000	0.0187	8.800
p 値	0.898	0.001	0.042

4 考察

表 1 より、砂糖水の調整用水溶液の平均濃度と刺激用水溶液の濃度の間には有意な差が認められなかった。

このことから、5%濃度の砂糖水を口腔に含んだ際の顎部への 2mA の陽極味覚電気刺激によって甘味が増強されたとは言えない。一方で、スクラロースと果糖ブドウ糖液糖の調整用水溶液の平均濃度と刺激用水溶液の濃度は、いずれも調整用水溶液の平均濃度の方が高く、かつ Wilcoxon 符号順位和検定によって有意差が認められた。よって、0.0186%濃度のスクラロースと 8.87%濃度の果糖ブドウ糖液糖を口腔に含んだ際の顎部への 2mA の陽極味覚電気刺激はこれらの呈する甘味を増強させるといえる。

本研究では、砂糖水の呈する甘味の増強効果は認められなかった。しかしながら、現段階では味覚電気刺激が砂糖水の呈する甘味を一切増強しないかどうかはわからない。異なる濃度や、電気刺激の強度、波形などの条件をさらに検討する必要があるだろう。

本実験にて、甘味の増強効果が認められたスクラロースと果糖ブドウ糖液糖の増強効果は、スクラロースが約 1.9 倍、果糖ブドウ糖液糖は約 1.3 倍であった。特にスクラロースは濃度としては 1.9 倍の増強が見られるものの、少なくとも著者の主観では甘さが 2 倍になるものではない。これは、甘味物質の濃度が 2 倍になっても甘さそのものが 2 倍にならないためでもあると考えられる。主観的な甘さの定量的な強度の計測は非常に困難が伴うため、より詳細な検討は必要である。

謝辞

本研究はアサヒクオリティードイノベーションズ株式会社との共同研究費の支援を受けて行われたものである。また、本研究では東京大学倫理審査専門委員会の承認を受けて実験を実施した。

参考文献

- [1] 鳴海拓志, 谷川智洋, 梶波崇, 廣瀬通孝:メタクッキー: 感覚間相互作用を用いた味覚ディスプレイの検討, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.15, No.4, pp.579-588, (2010)
- [2] 鳴海拓志, 松尾宇人, 櫻井翔, 谷川智洋, 廣瀬通孝: の検討, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.15, No.4, pp.579-588, (2010)
- [3] 宮下芳明: 液体噴霧混合式の味ディスプレイの試作, 第 29 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ(WISS2021)論文集, (2021)
- [4] 宮下芳明: TTTV2 (Transform The Taste and Visual appearance): 飲食物の味と見た目を変える調味家電によるテレイト, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2022 論文集, pp.143-150 (2022)
- [5] Hiroo Iwata, Hiroaki Yano, Takahiro Uemura, Tetsuro Moriya :Food Simulator. ICAT 2003, (2003)
- [6] Nimesha Ranasinghe, Ryohei Nakatsu, Hideaki Nii, Ponnampalam Gopalakrishnakone: Tongue Mounted

Interface for Digitally Actuating the Sense of Taste, 16th International Symposium on Wearable Computers, pp. 80-87, (2012)

- [7] Hiromi Nakamura and Homei Miyashita: In Proceedings of the 2nd Augmented Human International Conference (AH '11), pp.1-2, (2011)
- [8] 中村裕美, 宮下芳明:電気味覚の応用による食メディア開発, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.111, No.479, pp.49-54, (2012)
- [9] 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)
- [10] キリンホールディングスニュースリリース 電気の力で、減塩食の塩味を 1.5 倍※2 に増強するスプーン・お椀を開発:
https://www.kirinholdings.com/jp/newsroom/release/2022/0907_01.html(2023.9)
- [11] 北川純一 他:口・鼻・耳の感覚メカニズムと応用技術;S &T 出版, (2018.3)
- [12] Thomas P Hettinger and Marion E Frank. Salt taste inhibition by cathodal current, Brain Res Bul, vol.80, No.3, pp.107-115, 2009.
- [13] 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)

© 2023 by the Virtual Reality Society of Japan (VRSJ)