

陰極刺激による塩味増強効果の定量化

Quantifying the Effect of Saltiness Enhancement by Cathodic Stimulation

大塚勇人¹⁾, 青山一真²⁾, 宮下芳明³⁾

Yuto OTSUKA, Kazuma AOYAMA and Homei MIYASHITA

1) 明治大学大学院 先端数理科学研究科

(〒164-8525 東京都中野区中野 4-21-1, cs192008@meiji.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

(〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1, aoyama@vr.u-tokyo.ac.jp)

3) 明治大学大学院 先端数理科学研究科

(〒164-8525 東京都中野区中野 4-21-1, homei@homei.com)

Abstract: In this article, we quantified the amount of saltiness enhancement by presenting and stopping the cathode stimulus. The amount of current (0.125 mA to 1.00 mA) and the amount of enhancement for each concentration of the solution (0.5 % to 2 %) were examined within the range where participants did not feel pain. The results show that the taste is enhanced as the current is increased, and the average effect is about 1.2 times greater at 1.00 mA. There was no significant difference in the solution concentration between 0.5 % and 2 %.

Key Words: Electric Taste, Cathodic Stimulation, Saltiness Level

1. はじめに

電気味覚とは、味覚器に電気を流した際に味が感じられる現象である。電気味覚では、主に陽極刺激と陰極刺激の2種類の刺激の方法がある。陽極刺激では、電池を舐めた時のような電気味が提示される[1]。また、陰極刺激では、刺激時に味覚が抑制され、電流を停止した瞬間、味覚が増強される[2]。この仕組みを利用し、近年は電気味覚を利用した様々なデバイスの開発が行われている[3][4][5]。

電気味覚の基礎研究として、Hettinger らによって陰極刺激により味覚が増強することを発見し[6]、Aoyama らは味覚抑制のメカニズムがイオン泳動によることを示した[7]。しかし、未だ電気味覚の研究分野では基礎研究が少なく、電流量や溶液濃度による味覚の増強の効果の大きさ(以下、味覚増強量)の関係など解明されていないことが多い。

本研究では、陰極刺激を用いて塩味を呈する溶液(以下、塩味溶液)の味覚増強現象における電流量と溶液濃度の関係の調査を行った。これにより、今まで判明していなかった陰極刺激の味覚増強量についての知見が得られた。

2. 関連研究

電気味覚は、Sulzer が2枚の金属を舌にのせた時に味を感じたことから発見された[8]。Hettinger らは、塩味溶液

に陰極刺激を提示し、ハムスターの鼓索神経の活動電位を直接測定することにより、陰極刺激中は味覚が抑制され、停止直後に味覚が増強されることを明らかにした[6]。その後、Aoyama らは、電解質と非電解質の基本五味を呈する溶液において、陰極刺激を印加した際の味覚抑制の大きさを比べ、陰極刺激による抑制現象がイオン泳動説によって説明できることを示した[7]。イオン泳動説とは、電流を印加すると、味を呈するイオンが電気泳動によって舌表面より遠ざかるため、味覚が抑制される説である。

櫻井らは陰極刺激の電流量をスライダーで操作することにより、味覚抑制量を調査した[9]。この結果としては、電流量が増すと味覚の抑制効果も強くなった。原らは陰極刺激を連続矩形波刺激で印加することによって基本五味を継続的に増強できることを示した[10]。

3. 実験

3.1 実験デザインと実験タスク

実験参加者はストローを用いてコップから塩味溶液を口に含み、一定の電流が流れる定電流装置を用いて電流を印加した。その際、首の裏に貼られた電極と、ストローに刺した電極に溶液が通ることによって体内を1周する回路が構成された。

陰極刺激を印加する塩味溶液(以下、基準溶液)は精製

水に塩化ナトリウムを混ぜた溶液であり、0.5%、1%、2%の3段階の濃度を採用した。印加する電流量は0.125 mA、0.250 mA、0.500 mA、1.00 mAの4段階を採用した。味覚増強量を定量的に測定するために基準溶液とセットで用いた比較用の溶液（以下、比較用溶液）の濃度は、基準溶液の1.1倍、1.2倍、1.3倍、1.4倍、1.5倍で用意した。（例えば1.0%濃度の塩味溶液が基準溶液である場合は、比較用溶液は1.1%、1.2%、1.3%、1.4%、1.5%であった。）

また、実験参加者が陰極刺激を印加し、味覚増強を生起させた基準溶液と比較用溶液を飲み比べ、味覚増強量が近いと感じた比較用溶液を選んだ後、回答用紙に回答させた。回答方法は、味覚増強を感じない場合の味覚増強量1倍と、味覚増強量1.1倍、1.2倍、1.3倍、1.4倍、1.5倍（比較用溶液5種類）の計6択の強制選択である。

3.2 スクリーニング実験

官能評価を用いて味覚増強量を測定するため、実験参加者のスクリーニング実験を行った。このスクリーニング実験では、塩味溶液において、1.0%基準溶液と、1.1%、1.2%、1.3%、1.4%濃度の比較用溶液の濃度を識別可能か否かを測定した。基準溶液と、比較用溶液を1.4%、1.3%、1.2%、1.1%濃度の順に飲み比べることをタスクとした。まず1.0%と1.4%の塩味溶液を実験参加者に飲み比べさせ、濃く感じる方を答えさせた。正答であった場合は、次に1.0%と1.3%の塩味溶液で飲み比べ、同様に1.0%と1.2%、1.0%と1.1%の塩味溶液のペアの比較まで行う。最後まで正答するか途中で誤答した場合は2週目に移り、上記と同様の手順でスクリーニング実験を行う。2週目を最後まで正答するか途中で誤答した場合は、スクリーニング実験を終了とした。

本スクリーニング実験では、2周とも1.0%と1.1%の差が判別できない実験参加者を除外することとした。

3.3 実験参加者

実験参加者は、実験当日の体調や味覚に問題がなく、電気刺激に関わる持病がなく、実験の同意を得た上で20歳～24歳の男性13名であった。そのうち、5名が電気味覚を1度でも体験したことがあり、8名は電気味覚初体験であった。

スクリーニング実験の結果、全ての実験参加者が最低1回は1.0%と1.1%塩味溶液濃度の差を正答することができたため、実験参加者のスクリーニングを行わなかった。

また、全ての実験参加者に1.00 mAの電流を印加した際、痛みを感じないことを確認した。

3.4 実験手順

電気味覚の体験が初めてである参加者も多かったため、全ての実験参加者に1%の塩味溶液を使って1.00 mAの陰極刺激による増強を体験させた。このとき、定電流装置の使い方を教え、本実験では実験参加者自身で定電流装置を操作させた。

次に、スクリーニング実験を行った後、本実験として濃

度をブラインドした上で0.5%の基準溶液と比較用溶液を渡した。そして、実験者が0.125 mA、0.250 mA、0.500 mA、1.00 mAからランダムに電流量を設定し、味覚増強量の測定を行った。実験参加者は、ストローを用いて舌が基準溶液でしっかりと浸る程度口にはみながら、自由に定電流装置を用いて陰極刺激の提示と停止を行った。陰極刺激の増強効果を確認できたら、比較用溶液を口にはみ込むことで濃度の比較を行い、回答用紙への記入を行った。これを1回の測定と呼ぶ。各測定の最初は基準溶液から口にはみ込む様に指示し、その後は自由に基準溶液と比較用溶液を飲み比べられる旨を実験参加者に伝えた。

1回の測定終了後は、まだ実験で用いていない電流量の中からランダムに実験者が電流量を設定し、4パターンの電流量をそれぞれ1回ずつ、計4回の測定を行った。4回の測定の後、1段階濃い基準溶液を用いて、3種類の濃度全てで同様に実験を行う。濃度3種類分行うことを1セットと呼ぶ。今回の実験では2セット分行い、全試行回数は4つの電流量 × 3つの濃度 × 2セットの計24回の測定を行った。

実験時の注意事項として、基準溶液と比較溶液は同じように飲み比べ、どちらも舌を動かさずに飲み比べる様に指示した。基準溶液や比較用溶液を口にはみ込む毎に吐き出させ精製水で口をゆすがせた。

1回の測定が終わった後は約30秒、1セット終わった後は約5分の休憩時間を設けた。この休憩時間は口に残ってしまう味の影響や疲労の影響をできるだけ抑えることを目的に設定した時間である。実験参加者の要望により休憩時間を延長したケースもあった。

4. 結果と考察

実験参加者13名の実験結果を濃度ごとに味覚増強量を平均し、電流量と味覚増強量の関係を示したグラフが図1である。電流量毎に平均し、塩味溶液の濃度と味覚増強量の関係を示したグラフが図2である。また、濃度毎に平均せずに電流量と味覚増強量を示したグラフが図3であり、電流毎に平均せずに濃度と味覚増強量を示したグラフが図4である。

js-star¹を用いて電流量と塩味溶液濃度を独立変数とした2要因参加者内の分散分析を行い、多重比較にはBonferroni法を用いた。図中のエラーバーは標準誤差であり、有意差の記述は図1、2のみとした。

分散分析の結果、電流量に主効果が見られ($F_{3,12} = 15.3$, $p < 0.01$)、塩味溶液濃度の主効果が見られなかった($F_{2,12} = 1.15$, $p > 0.05$)。また、電流量と塩味溶液濃度に交互作用は見られなかった。

多重比較の結果、電流量における0.125 mAと0.250 mA、0.500 mA、1.00 mAのペアと、0.250 mAと1.00 mAのペアで有意差が見られたが($p < 0.05$)、塩味溶液濃度における

¹ <http://www.kisnet.or.jp/nappa/software/star/> (2020年11/25閲覧)

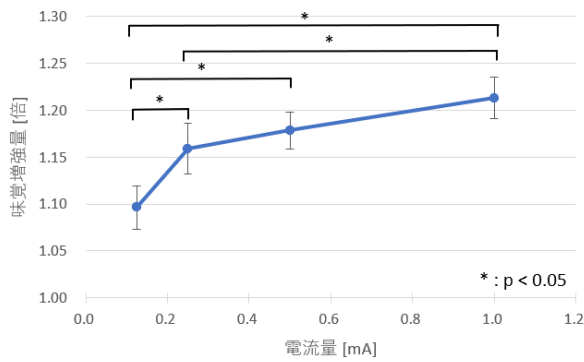


図 1 電流量における味覚増強量

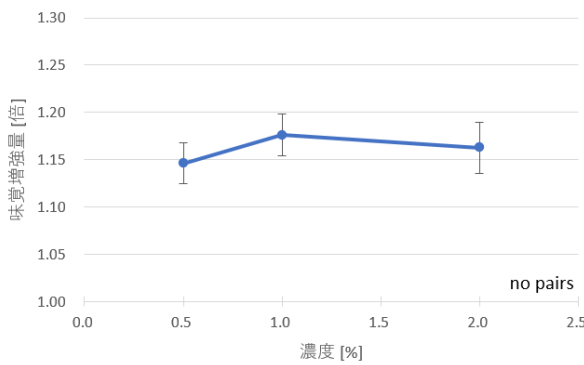


図 2 塩味溶液の濃度における味覚増強量

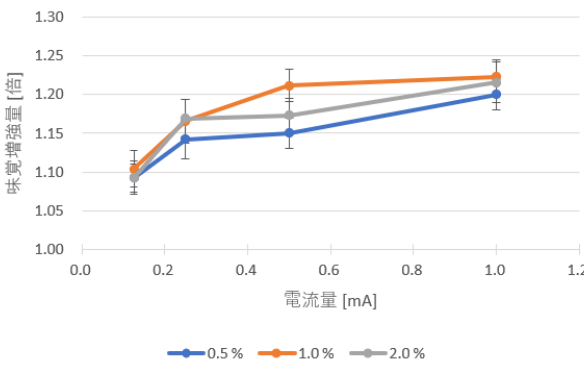


図 3 全ての電流量条件における味覚増強量 (凡例は塩味溶液濃度を示す)

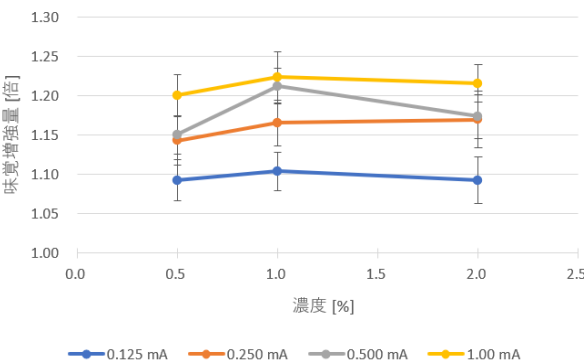


図 4 全ての塩味を呈する塩味溶液の濃度条件における味覚増強量 (凡例は電流量を示す)

すべてのペア間で有意差は見られなかった。

様々な電流量のペアで、電流量が上がることで味覚増強量が有意に増加していることから、電流量の増加により味覚増強量が増すと言える。この理由の説明として、以下の仮説が考えられる。イオン泳動説の観点から電流量が増すと電気泳動するイオンの量が増え、口腔内で形成される濃度勾配がより大きくなる。そこで電流を停止し、イオンの拡散によって均一な濃度勾配に戻る時に、より多くのイオンが運動を伴って電気泳動する。この時に、舌表面の味を受容する細胞に、より高い確率でイオンが衝突すると考えられる。

実験参加者によっては、最低電流量の 0.125 mA で味覚増強を全く感じない実験参加者もいれば、よく感じる実験参加者もいた。また、最低電流量と最高電流量でほとんど味覚増強量が実験参加者もいた。そのため、電流の感じ方や味覚増強量の個人差は大きいと考えられる。

塩味溶液濃度に関しては有意な差は見られなかった。なぜ濃度が味覚増強量に大きな差がないかは不明である。さらに高濃度や低濃度の塩味溶液では、より顕著に味覚増強量の影響を受ける可能性もある。

5. おわりに

0.125 mA ~ 1.00 mA の間では電流量が増すと味覚増強量も大きくなり、最大で約 1.2 倍の味覚増強量になることが判明した。0.5 % ~ 2 % 塩味溶液濃度の間では濃度の違いで味覚増強量に大きな差がないことが判明した。

将来展望として、2.00 mA や 3.00 mA など、1.00 mA を超える電流量で味覚増強量の変化を調べることで、電流量と味覚増強量の関係をより詳細に知ることができると考えられる。しかし、1.00 mA より大きい電流量は人によって痛みを感じることもあるので、実験参加者への更なる配慮や、電流量による痛みを感じにくい実験参加者の選定などの工夫が必要になると考えられる。

また、今回の実験では塩味の味覚増強量について調査したが、味質によって違う性質を持っているので今後は甘味や酸味など他の味質での調査も必要になると考えられる。

謝辞 本研究はキャノン財団の助成「理想の追求」を受けたものである。

参考文献

- [1] 中村裕美, 宮下芳明: 一極型電気味覚付加装置の提案と極性変化による味質変化の検討, 情報処理学会論文誌, Vol. 54, No. 4, pp. 1442-1449, 2013.
- [2] 中村裕美, 宮下芳明: 塩分を用いない塩味味覚感度制御—陰極刺激の提示と停止による飲食物の味質変化における評価, 情報処理学会論文誌, Vol. 55, No. 4, pp. 1316-1324, 2014.
- [3] 鍛冶慶亙, 宮下芳明: あらゆる金属製食器を電気味覚提示に用いる手袋型デバイスの試作, 第 1 回神経刺激イン

タフエース研究会, 2019.

- [4] 大場直史, 青山一真, 中村裕美, 宮下芳明:無限電気味覚ガム:圧電素子の咬合を用いた口腔内電気味覚装置, インタラクシオン 2018 論文集, pp.587-590, 2018.
- [5] Homei Miyashita : Norimaki Synthesizer: Taste Display Using Ion Electrophoresis in Five Gels, Extended Abstracts of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems Extended Abstracts (CHI '20), pp.1-6, 2020
- [6] Hettinger, T. P. and Frank, M. E. : Salt taste inhibition by cathodal current, Brain Research Bulletin, Vol. 80, No. 3, pp. 107-105, 2009.
- [7] Aoyama, K., Sakurai, K., Sakurai, S., Mizukami, M., Maeda, T. and Ando, H. : Galvanic tongue stimulation inhibits five basic tastes induced by aqueous electrolyte solutions, *Frontiers in Psychology*, Vol. 8, No. 2112, 2017.
- [8] Johann Georg Sulzer : Nouvelle théorie des plaisirs, pp. 155-156, 1767.
- [9] 櫻井悟, 青山一真, 宮本靖久, 古川正紘, 前田太郎, 安藤英由樹 : 電気刺激による塩味および旨味を呈する塩類の味覚抑制, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 20, No. 3, pp. 239-242, 2015
- [10] 原彰良, 安藤英由樹, 櫻井健太, 前田太郎, 青山一真 : 連続矩形波電流刺激による五味の継続的増強. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 24, No. 1, pp. 13-21, 2019.