

減塩生活者を対象とした電気味覚による塩味増強効果の調査

鍛治 慶巨^{1,a)} 安蔵 健司^{1,b)} 佐藤 愛^{2,c)} 宮下 芳明^{1,d)}

概要: 減塩食品の味をより濃く感じさせることは、電気味覚研究の到達目標のひとつである。一方、減塩生活者を対象とした、電気味覚による塩味増強効果に関する調査は未だ行われていない。そこで本研究では、減塩を意識した食生活を行っている、あるいは過去に行っていた参加者 36 名（年齢：43 歳-65 歳、減塩継続期間：2 ヶ月-300 ヶ月）を対象に実験を行った。実験では、減塩食品と一般食品を模した食塩水ゲルサンプルを用いて、電気味覚による塩味増強効果を調査した。結果、減塩食品を模した食塩水ゲルサンプルの試食時に電気味覚を提示することで、有意に塩味が強く感じられた。そして、その塩味強度は一般食品を模した食塩水ゲルサンプルと同等であった。また、電気刺激によってもたらされる違和感は、8 割以上の参加者に対し、実用において問題となるようなレベルではないことが判明した。本研究ではさらに、日常生活での電気味覚の活用を想定し、減塩味噌汁の塩味強度や風味の変化について、定性的な分析を試みた。

1. はじめに

「食事をより美味しいものにする」ことは、電気味覚研究が目指すビジョンのひとつである。特に、減塩食品の味を濃く感じさせることができれば、おいしさによる精神的な満足感と栄養面から導かれる健康の両方を、減塩生活者に対して提供できる。こうしたコンセプトは中村らにより示され [1]、アートプロジェクト NO SALT RESTAURANT^{*1} 等で、社会からも賛同を得られた。

その後、青山らは陰極刺激による味質制御の機序がイオン泳動に基づくことを示した [2]。また、中村らは陽極刺激を用いて塩味を増強可能であることを示した [3]。我々も、さらなる電気味覚効果の探索を目的として、電気味覚の刺激波形を総合的にデザインし、ノイズを低減しつつ出力できる環境を提案している [4]。

こうした電気味覚研究の成果は、学会においてデモ発表することで実証したり、ラボ内の 20 代を中心とする参加者層での実験により評価したりすることが多い。しかし、デモによる実証には概して多くのバイアスがかかる。例えば、「味が濃くなる食器」であると事前に示したデバイスを用いて、原理説明を開発者から聞きながらのデモ体験では、そうした場から影響を受けている可能性が高い。本来は、

見た目が同一であるが味強度の異なる食品サンプルと、同一なデバイスを用い、味の変化が食品の影響があるいはデバイスの影響であるかが分からないような、中立的な実験を行うべきである。また、減塩生活者の反応と、ラボ内の 20 代を中心とする参加者層の反応が同一である保証は全くない。まず、食生活や年齢層の違いによって、味覚感度は異なる可能性があるだろう。そのほか、電気刺激による違和感の感じ方についても、差がみられるかもしれない。

そこで本研究では、減塩を意識した食生活を現在行っている、もしくは過去に行っていた参加者（43 歳-65 歳、減塩継続期間 2 ヶ月-300 ヶ月）を 36 名集め、実験を行った。実験では、見た目から味の濃さがまったく分からない食塩水ゲルサンプルを用い、常に同一の箸型デバイスを用いながら、電気味覚の有無による塩味の強さを Visual Analog Scale (VAS) で評価させた。また、電気刺激がもたらす違和感についても 5 段階で回答させた。その結果、減塩食品を模した食塩水ゲルサンプルの試食時に電気味覚を提示することで、有意に塩味が強く感じられた。そして、その塩味強度は一般食品を模した食塩水ゲルサンプルと同等であった。また、電気刺激によってもたらされる違和感は、8 割以上の参加者に対し、実用において問題となるようなレベルではないことが判明した。さらに、日常生活での電気味覚の活用を想定し、減塩味噌汁の塩味強度や風味の変化について、定性的な分析を試みた。その結果、塩味の増強だけでなく、おいしさが増すといった意見もみられた。

2. 関連研究

本章では、主に電気味覚を用いた塩味の提示および増強

¹ 明治大学

² キリンホールディングス株式会社

a) cs212004@meiji.ac.jp

b) yasukura.kenji@gmail.com

c) ai_sato@kirin.co.jp

d) homei@homei.com

^{*1} <http://archive.j-mediaarts.jp/festival/2017/entertainment/works/20e.no.salt.restaurant/> (参照 2021-10-15)

手法について述べる。電気味覚の提示方法は、両電極を舌にあてる両極型の提示方法と、一方の電極のみを舌にあてる一極型の提示方法に大別される。ここからは、それぞれの提示方法を利用した関連研究について述べる。

Ranasinghe らは、両電極を直接舌にあて、そこへ電気刺激を与えることで塩味を提示する手法を提案した [5]。このとき提示する刺激波形は、矩形パルス波であった。また、食器にこうした電気味覚の提示機能を組み込むことで、飲料 [6] や食品 [7] の摂取時に塩味を提示できる。なかでも、箸形状のデバイスを用いた実験では、電気刺激の印加によって、無塩マッシュポテトに対して塩味を提示可能であることを示した。

中村らは、一方の電極を舌へ、他方の電極を手や腕などの人体へ設置することで、舌へ電気刺激を提示する、一極型の電気味覚の提示手法を提案した [8]。このとき、舌側の電極が陰極である場合を陰極刺激、陽極である場合を陽極刺激とそれぞれ呼ぶ。

陰極刺激を用いることで、飲食物に含まれる塩味が制御でき、刺激波形の工夫によって様々な味質変化を提示できる。例えば、陰極刺激を提示することで塩味が抑制され、その抑制効果は電流量が高いほど大きくなる [9]。また陰極刺激を停止した瞬間には塩味が増強され [1]、その増強効果は陰極刺激時の電流が高いほど大きくなる [10]。他にも、連続矩形波の陰極刺激を用いることで、継続的な塩味増強が可能である [11]。こうした陰極刺激による味質制御の機序は、飲食物に含まれる電解質のイオン泳動とする説が有力である [2][11]。そのため、電解質であれば基本五味全てに対し、味質の制御が可能である。

陽極刺激を提示することで、味の濃さや塩味を増強できる。有賀らは、スープの摂取時に陽極刺激を提示することで、塩味や酸味、味の濃さを増強可能であることを示した [12]。また中村らは、陽極刺激の提示によって、食塩水の塩味を増強可能であることを示した。このとき、陽極刺激の提示による塩味増強の効果量は、連続矩形波の陰極刺激を提示したときの効果量よりも大きいことを示した [3]。

3. 刺激波形のデザイン

本研究では、著者らの事前の調査や探索によって、陰極刺激がイーズインしたのち陽極刺激に反転する刺激波形をデザインした。その概形を図 1 に示す。刺激波形は、最大電流量 0.5mA および 0.3mA の 2 種類を用意した。実験の際、最大電流量 0.5mA の刺激波形において、電気刺激による強い違和感を参加者が感じた場合は、最大電流量 0.3mA の刺激波形を利用した。

ここからは、刺激波形のデザイン意図や、それにより想定される味覚変調効果について、時系列順に述べる。まず、0.3 秒かけてイーズインで陰極刺激が提示される。この理由は、なだらかに電気刺激を提示することで、急激な電流

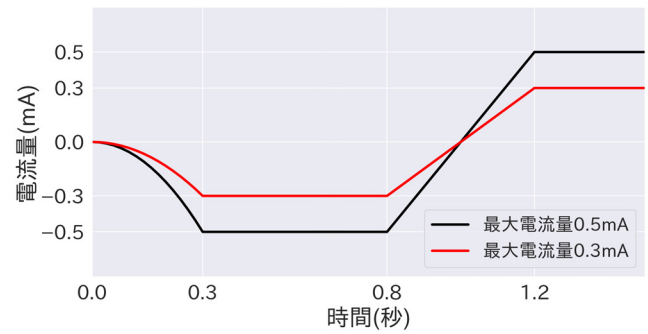


図 1 本研究で用いる刺激波形。0.3 秒かけてイーズインし、0.5mA (0.3mA) の陰極刺激を 0.5 秒間提示。その後、0.4 秒かけて 0.5mA (0.3mA) の陽極刺激へ反転。

値変化によって生じる痛覚刺激を防ぐためである。次に、0.5mA (0.3mA) の陰極刺激を 0.5 秒間提示し、その後 0.4 秒かけて 0.5mA (0.3mA) の陽極刺激へ反転する。ここでは陰極刺激の停止による塩味の増強効果と、陽極刺激の提示による塩味の増強効果が同時に発生する。これにより、反転のタイミングである 1.2 秒付近において、従来より強い塩味の増強効果が得られると考える。また、陰極刺激から陽極刺激への反転時は、0.4 秒の緩やかな電流変化となるようデザインした。この理由は、イーズインと同様になだらかに電気刺激を提示することで、急激な電流値変化によって生じる痛覚刺激を防ぐためである。

4. 参加者

参加者は、日常生活において減塩を意識した食生活を現に行っている、あるいは過去に行っていたと自己申告をした者であった。実験実施期間は、8月中旬から10月上旬であった。参加者は、調査会社の登録モニターに対して募集し、事前アンケートを実施した。アンケートの内容は、性別、年齢、減塩継続期間、および自身の食生活の特徴についてであった。各参加者のアンケート結果を表 1 に示す。

実験全体の参加者は 36 名 (年齢 43 歳-65 歳、平均年齢 58.3 歳、23 名が男性、13 名が女性) であった。参加者 36 名中 1 名はデータ欠損があり、4 名はインストラクションにおいて箸で食品を扱えない、ゲルサンプルを舐めて評価できない等の実験遂行上の課題がみられたため、実験 1 の開始前に実験中止とした。そのため、実験 1、2 ともに検討対象となったのは 31 名であった。試験の実施前には、参加者に対して本研究の趣旨を十分に説明し、本人の文書による同意を得て実施した。また、参加者には謝礼として 5000 円が支払われた。

5. 実験 1

本実験の目的は、電気味覚による塩味の増強効果を利用することで、減塩生活者が得られる減塩効果について調査することである。そこで本実験では、減塩食品と一般食品

表 1 参加者へのアンケート結果.

番号	性別	年齢	減塩継続期間	食生活の特徴
1	女性	60歳	10ヶ月	減塩の味噌汁をさらに半分に薄めている.
2	男性	65歳	60ヶ月	自分で料理をすることは嫌いである.
3	女性	64歳	60ヶ月	家庭での調理に対するこだわりは強い.
4	男性	47歳	36ヶ月	昔はよく味噌汁を飲んでしたが、今は一切飲まなくなった.
5	男性	65歳	7ヶ月	「これはOK」と自分の中でルールがあり、具体的に減塩に取り組んでいるわけではない.
6	男性	55歳	8ヶ月	家族の好みも考慮しながら減塩を行っている.
7	男性	64歳	18ヶ月	減塩は面倒だが、ある程度は慣れた. 本当はラーメンが食べたいと強く思っている.
8	女性	53歳	120ヶ月	「これはOK」と自分の中でルールがあるが、減塩に取り組めているかは怪しい.
9	女性	57歳	6ヶ月	減塩はものたりない. 塩気が足りないと、いまいち味がしまらない. 食事が楽しくなくなる.
10	男性	56歳	50ヶ月	ほとんど減塩に着手しないまま、脱落した. 食の楽しみを削いでまで取り組みたくない.
11	女性	61歳	40ヶ月	単純に調味料を半分にしている. 食べる量を減らして摂取塩分を減らしている.
12	女性	60歳	36ヶ月	減塩調味料を用いて、薄味の食事を心がけている.
13	男性	65歳	125ヶ月	減塩調味料や出汁を活用しているが、メニューを考えたり調理に難しさを感じている.
14	男性	54歳	66ヶ月	減塩には慣れて不満を感じていない.
15	女性	45歳	24ヶ月	薄味には慣れたが、薄い味噌汁は美味しくない.
16	男性	56歳	2か月	減塩継続の難しさを常に感じ、カレーやレモンの味でごまかすところから開始している.
17	男性	51歳	2か月	減塩継続の難しさを頻繁に感じている. 麺類が好きで週2,3回食べている. 汁物は毎日飲む.
18	男性	62歳	300ヶ月	今はルーチンの食事内容で、週1回だけ褒美的な食事(ハンバーグ, カレー等)を食べている.
19	女性	65歳	24ヶ月	減塩食は、売られている食品では物足りないと思う.
20	女性	53歳	12ヶ月	減塩調味料を購入して薄味を心がけているが、味付けが難しく、物足りないと感じている.
21	男性	65歳	150ヶ月	減塩調味料を購入し、薄味を心がけているが、味に物足りなさを感じる.
22	男性	61歳	240ヶ月	減塩に関する取り組みについて、今は減塩調味料を使っている程度である.
23	男性	58歳	16ヶ月	外食は週1回, 麺類は毎日, 汁物は週2,3回食べている.
24	男性	51歳	60ヶ月	減塩調味料や食材を購入し、日々薄味で調理しているが、薄味でものたりない.
25	男性	62歳	60ヶ月	減塩調味料を購入しているが、味付けが難しい. 週3回ラーメンを食べている.
26	男性	54歳	72ヶ月	日々薄味の食事を心がけているが、特別何かしているわけではない(出汁は濃くしている).
27	男性	65歳	120ヶ月	市販の調味料や総菜を希釈して使っている. インスタントラーメンを週2回食べる.
28	男性	59歳	36ヶ月	減塩調味料を用いて、日々薄味にしているが、味の物足りなさを感じている.
29	男性	61歳	12ヶ月	薄味と野菜中心の生活を心がけている.
30	女性	43歳	120ヶ月	減塩調味料を使う他、出汁や酢で味をごまかす対応をしているが、味に物足りなさを感じている.
31	男性	65歳	42ヶ月	日々の食事を薄味にして、酢や香辛料で味をごまかしている. 出来合いのものは買わなくなった.
32	男性	65歳	180ヶ月	減塩調味料を購入し、日々の食事を薄味にしている.
33	女性	64歳	60ヶ月	健康的な食への興味も高い. 減塩調味料を購入して、薄味調理を行っている.
34	男性	59歳	180ヶ月	減塩調味料を使う他、調味料をあまり使わないで薄味にしている. 味付けが難しい.
35	女性	57歳	12ヶ月	減塩表示の食料品を買い、日々薄味を心がけている.
36	女性	50歳	12ヶ月	減塩の調味料や食材を購入し、出汁や香辛料を使って調理している.

を模した食塩水ゲルサンプルを用い、電気味覚による塩味増強効果を定量的に調査した。

5.1 機材

刺激波形の出力には TasteSynth[4] のシステムを用いた。その構成を図 2 に示す。システムは、PC 上のソフトウェアおよび電流出力装置で構成される。PC 上のソフトウェアの操作により、刺激波形の出力および停止が可能である。また電流出力部は定電流回路であり、回路内にはノイズ低減機構を備えている。

電気刺激の提示には、一極型の箸型デバイスを用いた(図 3)。その構造を図 4 に示す。箸型デバイスは、手側電極が銅電極、口側電極がチタン電極であり、それぞれの電極が電流出力装置と独立に接続されている。このデバイス

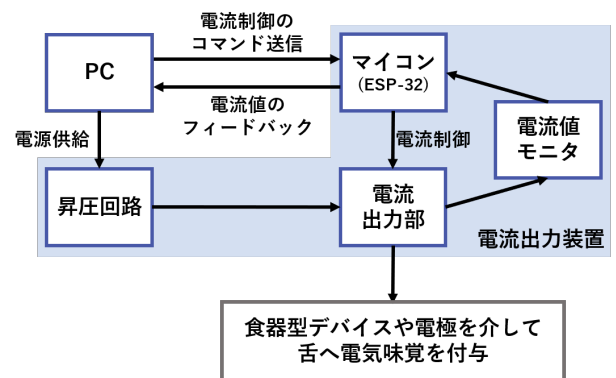


図 2 TasteSynth のシステム構成 ([4] から引用)。

を用いることで、食品の摂取時に人体を通じた回路が形成され、舌へ電気刺激を提示できる。



図 3 実験に利用した管型デバイス。

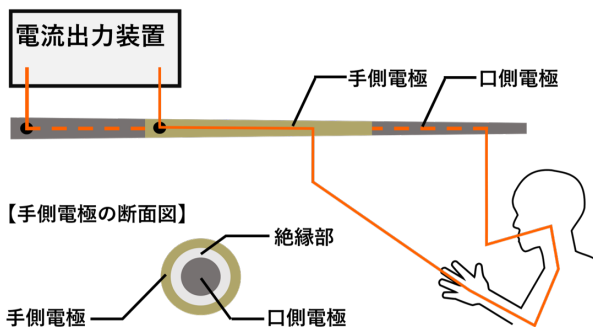


図 4 管型デバイスの構造 ([4] から引用)。



図 5 実験に用いた VAS。

5.2 タスク

参加者は、管型デバイスを用いて食塩水ゲルサンプルを舌にあて、実験担当者が合図したタイミングでの塩味強度と電気刺激によるピリピリとした違和感について評価した。塩味強度の評価には、100mm の VAS を用いた (図 5)。VAS は、左端を水ゲルサンプル、中央を 0.56 % 食塩水ゲルサンプル、右端を 1.12 % 食塩水ゲルサンプルとして、事前に塩味強度を参加者に確認させた。参加者は、実験担当者が合図したタイミングで感じた塩味に最も近いところへ、手書きで線を引くよう指示された。また、違和感は 5 段階で評価させた (1: 無し, 2: 低度 (気になるほどではない), 3: 軽度 (日常で気になるが、耐えられないほどではない), 4: 中程度 (試験であれば耐えられるが、日常では耐え難い), 5: 重度 (耐え難い))。評価の際、味の確認は何度でも可能とした。ただしこのとき、一度味の確認に利用したゲルサンプルは再度利用せず、毎回新たなゲルサンプルを利用させた。



図 6 実験に用いた食塩水ゲルサンプル。0.56 % 食塩水ゲルサンプル (左), および 0.80 % 食塩水ゲルサンプル (右)。

5.3 デザイン

条件は、0.80 % の食塩水ゲルサンプル (電気刺激なし), 0.56 % の食塩水ゲルサンプル (電気刺激なし), 0.56 % の食塩水ゲルサンプル (電気刺激あり) の 3 条件とした。参加者は、3 条件を 1 セットとし、計 6 セット (18 試行) 行った。順序効果を考慮して、各条件についてすべての可能な順序で等しい回数の評価を行った。実験中、これらの条件は参加者に開示していない。

食塩水ゲルサンプルは、一辺約 1.5cm の立方体かつ常温であり、白色の紙皿を用いて提供された (図 6)。これらの食塩水ゲルサンプルの濃度については文献 [13][14] を参考にし、0.56 % 食塩水ゲルサンプルは減塩食品の塩分濃度、0.80 % 食塩水ゲルサンプルは一般食品の塩分濃度として、それぞれ設定した。また食塩水ゲルサンプルは、塩化ナトリウムを 0.80wt % または 0.56wt % と、寒天 (伊那食品工業社製「粉末寒天 S-7」) を 0.80wt % となるよう調製した溶液を煮沸溶解させ、その後約 4 °C で 8 時間以上冷却して固めたのち、1.5cm の立方体形状となるよう切り分けた。

電気刺激は、3 章で示した刺激波形を提示した。参加者には、タスクの実施前に最大電流量 0.5mA の刺激波形を体験させた。このとき、電気刺激の強度について、参加者が強い違和感を感じなかった場合には、最大電流量 0.5mA の刺激波形を用いて実験を行った。一方、電気刺激によるピリピリとした違和感が強いと回答した際には、最大電流量 0.3mA の刺激波形を用いて実験を行った。また電気刺激あり条件では、以下のように電気刺激を提示した。はじめに、実験担当者は参加者が舌へ正しくゲルサンプルを設置していることを確認したのち、電気刺激の出力を開始する。次に、刺激波形の提示開始から約 1.2 秒経過したタイミングで実験担当者が合図し、そのタイミングの味を評価させた。一方、電気刺激なし条件では、実験担当者は参加者が舌へ正しくゲルサンプルを設置していることを確認してから、約 1.2 秒が経過した際に合図し、そのタイミングの味を評価させた。

5.4 手順

はじめに、参加者は評価タイミングと味の表現方法についてトレーニングを行った。まず、VASの基準となる3点の塩味（左端：水ゲルサンプル，中央：0.56%食塩水ゲルサンプル，右端：1.12%食塩水ゲルサンプル）を確認させた。次に、本試験と同様の条件である0.56%食塩水ゲルサンプル（電気刺激あり）を体験させ、5.2節に示したタスクを行った。このとき、実験中の評価の際は、箸2本をゲルに突き刺して、食品を舌の上に乗せた状態で維持し、咀嚼をせずに舐めて評価するよう指示した。

トレーニング終了後、3分の休憩をはさんだのちに本実験のタスクを開始した。本実験では、2セット毎に3分間の休憩を設けた。休憩終了時には、VASの基準となる3点の塩味を必ず確認させた。VASの中央値となる0.56%食塩水ゲルサンプルは、本実験中いつでも味の確認を可能とした。また、味の混同を防ぐために、各タスク間には必ず水を口に含むよう指示した。

6. 実験2

本実験の目的は、実際の減塩食品の飲食時に電気味覚を提示することで得られる、塩味増強効果や風味の変化について定性的な評価を行うことである。そこで、減塩味噌汁を用いた実験を行った。機材は実験1と同様であった。

6.1 タスク

参加者は、コップ内の減塩味噌汁へ管型デバイスの先端をつけつつ、味噌汁を口に含み、実験担当者が合図したタイミングでの電気刺激による違和感を評価した。さらに、そのタイミングでの総合的な味や美味しさの変化について、自由に記述した。違和感の評価方法は、5.2と同様である。

6.2 デザイン

電気刺激ありおよび電気刺激なしの2条件で実験を行った。電気刺激とその提示方法は、実験1と同様である。参加者は、各条件を一度ずつ評価した。実験は、電気刺激なし条件の後に電気刺激あり条件の順で行った。実験中、これらの条件は参加者に開示していない。

また減塩味噌汁は、規定量の1.5倍に希釈した市販の味噌汁（マルコメ社製「タニタ食堂監修減塩みそ汁」の調味みそを使用）を用いた。このとき、味噌汁の塩分濃度を塩分計（TANITA社製「電子塩分計SO-304」）で計測したところ、塩分濃度0.30%であった。また、味噌汁は常温であり、白色の紙コップに入れて提供した。

6.3 手順

参加者には、インストラクションおよび実験タスクを行わせた後、体験に関するコメントを記述させた。インストラクションは以下のとおりである。まず、コップに入っ

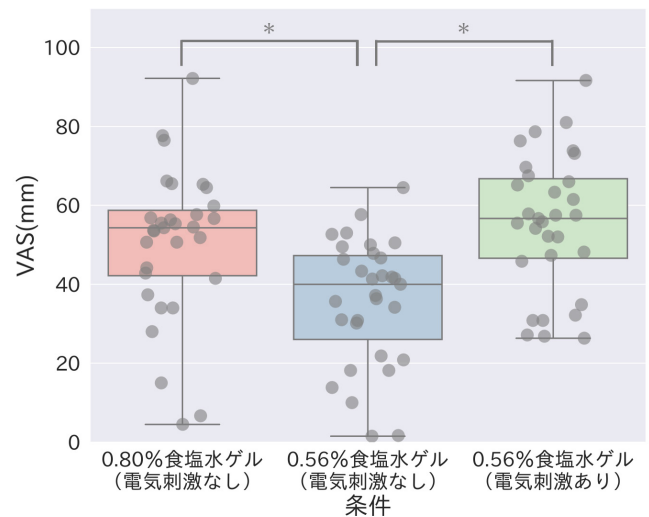


図7 塩味強度の評価結果（*は $p < 0.05$ を示す）。一次元散布図は各参加者の平均値を表す。

た味噌汁に箸型デバイスの先端をつける。次に、コップから味噌汁を口に含む。そしてコップへ口をつけたまま、コップ内と口内の味噌汁が繋がった状態を維持しながら試食するよう指示した。また、体験に関するコメントは、2条件を比較した際に、味やおいしさに変化があるか、および試食時の感覚についての2問へ回答させた。実験時間は実験1および実験2を通して、約1時間であった。

7. 結果

本章では、実験1および実験2の結果について記す。

7.1 実験1

条件ごとの塩味強度の評価に関する結果を図7に示す。結果は参加者ごとの各条件の平均値を用いて分析した。分析には、IBM SPSSを用いた。反復測定分散分析の結果、主効果がみられた($F_{1,37,41.0} = 21.1, p < 0.001, \eta^2 = 0.413$)。このとき、Mauchlyの球面性検定が成立しなかったため、自由度や p 値などはGreenhouse-Geisserの方法によって補正した。また各条件間において、Bonferroni法を用いた多重比較を行った。その結果、0.80%の食塩水ゲルサンプル（電気刺激なし）および0.56%の食塩水ゲルサンプル（電気刺激なし）条件間、0.56%の食塩水ゲルサンプル（電気刺激あり）および0.56%の食塩水ゲルサンプル（電気刺激なし）条件間で有意差がみられた($p < 0.05$)。

また、全試行の条件ごとの違和感の評価について、図8に示す。0.56%食塩水ゲルサンプル（電気刺激あり）条件では、全参加者の14.5%が4点以上を、85.5%が3点以下の点数をそれぞれつけた。また、0.80%食塩水ゲルサンプル（電気刺激なし）条件および0.56%食塩水ゲルサンプル（電気刺激なし）条件において、それぞれ全参加者の24.7%、19.4%が2点以上の点数をつけた。

表 2 実験 2 の電気刺激あり条件での味やおいしさの変化、および体験についての評価。

提示した味噌汁（電気刺激なし）を薄いと感じない参加者	塩味の変化ではなく、味自体の変化、出汁が強くなったように感じた。 おいしくなった気がした。味わいに深みと幅が広がった感じがした。 塩味だけでなく甘味も感じた。出汁が効いているように感じた。 塩味が強すぎて辛い。 苦味のようなものを感じた。 ミネラル感があり、違和感があった。
提示した味噌汁（電気刺激なし）を薄いと感じる参加者	味が強くなり、コクが感じられた。 出汁とうま味が感じられた。 味が濃くなったので、美味しくなった気がした。 味噌汁としてのバランスが良く感じた。 塩味は増したが、普段飲む味噌汁よりも薄く、美味しさは変わらない。 刺激を若干感じた。

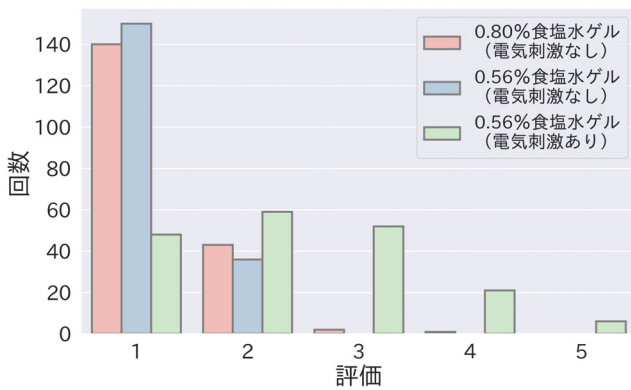


図 8 実験 1 における条件ごとの違和感の評価。評価の数値は、1：無し、2：低度（気になるほどではない）、3：軽度（日常で気になるが、耐えられないほどではない）、4：中程度（試験であれば耐えられるが、日常では耐え難い）、5：重度（耐え難い）をそれぞれ示す。

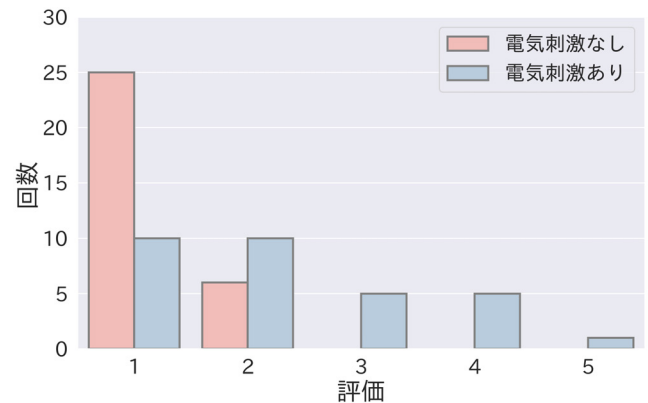


図 9 実験 2 における条件ごとの違和感の評価。評価の数値は、1：無し、2：低度（気になるほどではない）、3：軽度（日常で気になるが、耐えられないほどではない）、4：中程度（試験であれば耐えられるが、日常では耐え難い）、5：重度（耐え難い）をそれぞれ示す。

7.2 実験 2

全試行の条件ごとの違和感の評価結果について、図 9 に示す。電気刺激ありの条件では、全参加者の 19.4 % の人が 4 点以上を、80.6 % の人が 3 点以下の点数をそれぞれつけた。電気刺激なし条件であっても、2 点以上の点数をつける人が 19.4 % いた。

また、実験 2 における定性的な評価結果について表 2 に示す。ここでは、電気刺激あり条件での味やおいしさの変化についての評価、および体験に関するコメントについて、電気刺激なし条件での味噌汁の塩味評価から分類した。

8. 考察

実験 1 の結果より、提案手法の刺激波形を用いることで塩味が有意に増強されることが示された。また、0.56 % 食塩水ゲルサンプル（電気刺激あり）条件での塩味強度は、0.80 % の食塩水ゲルサンプル（電気刺激なし）条件に匹敵する結果であった。この結果から、30 % 塩分低減した食品を摂取する際に提案手法の電気刺激を用いることで、通常の食事と同等の塩味を提供できることが示唆された。

実験 2 の、減塩味噌汁という日常の食生活を想定した状

況下においても、定性的な評価において塩味が増強される効果がみられた。またそれだけでなく、美味しくなるとの回答も多く、出汁やコクを感じるなどの評価もあった。この結果から、電気刺激がうま味にも影響を与えていた可能性や、塩味が増強されたことで食品の味のバランスが良くなった可能性が示された。一方、苦味やミネラル感、刺激を感じたといったネガティブな評価もみられた。これらは、電気刺激の強度が高いために生じる反応であると考えられる。今回の実験では電気刺激の強度を 2 段階にしたが、今後は個人の嗜好や食材に合わせた電気刺激強度の調整が必要だろう。

電気刺激による違和感について、実験 1 で「日常では耐え難い」以上の刺激と評価した例（4 点以上の評価）が、全体の 14.5 % であった。また実験 2 では、全体の 19.4 % であった。これらの結果より、8 割以上の参加者は、少なくとも日常で利用可能な電気刺激の強度であったと考えられる。一方で、「日常では耐え難い」違和感を感じる参加者も 1-2 割程度存在し、違和感の感じ方は、個人差が大きいたことが示唆された。こうした違和感が生じる原因には、舌

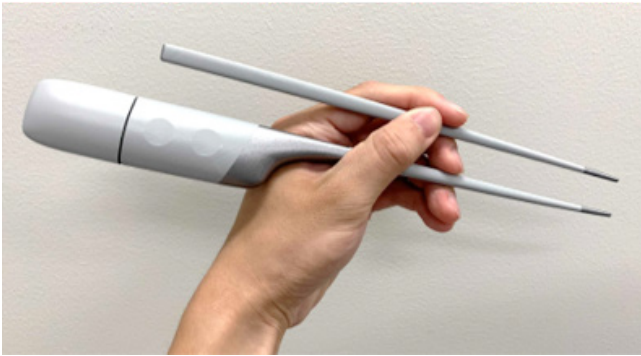


図 10 実際の食事の場面での利用を想定した、箸型デバイスのモックアップ。

と食材や電極との接触面積が不安定であることや、歯に電極が触れてしまうこと、あるいは電流の強度が高いためピリピリとした刺激が生じるといった影響が考えられる。今後は、電気味覚による味覚増強効果を維持しながら、電気刺激による違和感を抑制できるような刺激波形の探索やデバイスのデザイン、あるいは個人に合わせた電流の調整といった工夫が必要だろう。

9. 一般生活者に対する塩味増強効果との比較

本章では、減塩生活者と一般生活者に対する、電気味覚による塩味増強効果を比較する。まず、実験1の結果より、先行研究 [3][11] における一般生活者への効果と同様に、減塩生活者も塩味増強効果が得られることがわかった。また、実験2においても減塩生活者に対して塩味増強効果がみられた(表2)。特に、提示した味噌汁の味を薄いと感じない参加者の中には、塩味が強すぎて辛いという評価がみられた。具体的には、「かなり塩味が強く、しょっぱかった。具材の味も壊しそう。」(番号4)、「濃い味であり、少しピリピリとした感じがあった。」(番号21)、「塩味が少し強い。」(番号35)といった評価が得られた。さらに、表1の食生活の特徴を参考にすると、それらの参加者は特に日頃から薄い塩味を摂取する習慣があることがわかる。そのため、塩味の増強をより鋭敏に感じ取ることができ、このような評価につながったと考える。これらの結果より、一般生活者よりも減塩生活者の方が、より鋭敏に塩味増強効果を知覚できる可能性も考えられる。

本研究では、これまで電気味覚による塩味増強効果の応用先として議論されていた、減塩生活者に対して初めて実験を行い、その効果が得られることを確認した。さらに、本研究の主たる目的とは異なるが、減塩生活者と一般生活者に対する電気味覚の塩味増強効果の比較も行った。しかし、先行研究 [3][11] と本研究では実験条件等が異なるため、その効果を厳密に直接比較することはできない。今後は、一般生活者と減塩生活者の双方に同条件の実験を行うことで、両者に対する塩味増強効果の差を明らかにしたい。

10. 結論・展望

本研究では、減塩生活者を対象とした、電気味覚による塩味の増強効果について調査した。食塩水ゲルサンプルを用いた実験の結果より、塩分を30%低減した食品を摂取する際に提案手法の電気刺激を提示することで、通常の食事と同等の塩味を提供できることが示唆された。また、減塩味噌汁を用いた実験の結果より、塩味の増強効果や味噌汁全体のおいしさの向上を感じたという意見が得られた。一方、塩味や違和感が強くなりすぎたとの評価から、電気刺激の効果や違和感の感じ方は、個人差が大きいことが示唆された。今回の実験では、電気刺激の強度を2段階としたが、より詳細なキャリブレーションを行うことで、利用者や食材に最適化した刺激を提示できる可能性が考えられる。

今後の展望として、今回利用した刺激波形やその提示機構を搭載した箸型の電気味覚デバイスの社会実装を目指している。実用化における今後の課題を以下に示す。まず、現在のシステムでは、箸型デバイスで食品をつまみ、食品を舌にあてた状態で電気刺激を与えるといった、通常の食事と異なる飲食動作が必要である。そのため、通常の飲食動作に近い形で電気味覚を提示可能かどうか、デバイスを使った試食と観察などを通じて確認したい。次に、箸型の電気味覚デバイスについて、現在のデザイン案を図10に示す。本研究の実験時には、PCや電源装置と箸型デバイスが導線で結ばれているなど、取り回しが難しい機構であった。今後は、それらの機構を箸型デバイス本体にまとめるなどしたうえで、使いやすさや重さを含め、実用に適したデザインについても検討したい。

11. 倫理

本研究は、学校法人明治大学ヒトを対象とした研究等に関する研究倫理委員会、およびキリンホールディングス株式会社ヒト試験倫理審査委員会の承認を受けて実施した。参加者には、実験実施前に本研究の趣旨を十分に説明し、本人の文書による同意を得て実施した。また実験中はいつでも同意撤回のうえ、試験の中止を可能とした。

参考文献

- [1] 中村裕美, 宮下芳明: 陰極刺激の提示と停止による塩味味覚感度制御, インタラクシオン 2013 論文集, pp. 103-110 (2013).
- [2] 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, p. 2112 (2017).
- [3] Nakamura, H., Amemiya, T., Rekimoto, J., Hideyuki, A. and Aoyama, K.: 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).

- [4] 鍛治慶亘, 宮下芳明: TasteSynth: 電気味覚のための刺激波形デザインシステム, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム論文集, Vol. 2021, pp. 266–275 (2021).
- [5] Ranasinghe, N., Nakatsu, R., Nii, H. and Gopalakrishnakone, P.: Tongue Mounted Interface for Digitally Actuating the Sense of Taste, *2012 16th International Symposium on Wearable Computers*, pp. 80–87 (2012).
- [6] Ranasinghe, N., Nguyen, T. N. T., Liangkun, Y., Lin, L.-Y., Tolley, D. and Do, E. Y.-L.: Vocktail: A Virtual Cocktail for Pairing Digital Taste, Smell, and Color Sensations, *Proceedings of the 25th ACM International Conference on Multimedia*, MM '17, p. 1139–1147 (2017).
- [7] Ranasinghe, N., Tolley, D., Nguyen, T. N. T., Yan, L., Chew, B. and Do, E. Y.-L.: Augmented Flavours: Modulation of Flavour Experiences Through Electric Taste Augmentation, *Food Research International*, Vol. 117, pp. 60–68 (2019).
- [8] 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).
- [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] 大塚勇人, 青山一真, 宮下芳明: 陰極刺激による塩味増強効果の定量化, 第2回神経刺激インタフェース研究会 (2020).
- [11] 櫻井健太, 青山一真, 古川正紘, 前田太郎, 安藤英由樹: 連続矩形波陰極電流刺激による塩味および旨味の持続的増強効果, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 22, No. 2, pp. 149–156 (2017).
- [12] Aruga, Y. and Koike, T.: Taste Change of Soup by the Recreating of Sourness and Saltiness Using the Electrical Stimulation, *Proceedings of the 6th Augmented Human International Conference*, AH '15, p. 191–192 (2015).
- [13] 松田康子: 絵で見て分かる定番おかずをおいしく減塩, 女子栄養大学出版部 (2017).
- [14] 牧野直子: いつも食べる量の塩分がひと目でわかる塩分早わかり, 女子栄養大学出版部 (1998).