

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 6 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K19828

研究課題名(和文) 嗅覚電気刺激の惹起する刺激臭の脳内メカニズムの解明

研究課題名(英文) Mechanisms in the Brain of Stimulant Odors Induced by Olfactory Electrical Stimuli

研究代表者

青山 一真 (Aoyama, Kazuma)

東京大学・先端科学技術研究センター・特任講師

研究者番号：60783686

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,900,000円

研究成果の概要(和文)：バーチャルリアリティ(VR)等の分野において、嗅覚を提示するディスプレイに関する研究は非常に重要である。しかしながら、嗅覚の提示には臭いを発する化学物質(香り物質)とそれを鼻腔に提示する機構の両方が必要であるため、香り物質を保存するタンクや香り物質を放出するアクチュエータ等の容量と重さ、金銭的コストがかかってしまう。

本研究では、電気刺激によって軽量・安価・小型な嗅覚ディスプレイ装置を構築する装置を開発して電気刺激によって高確率で嗅覚を感じさせる手法の開発を達成した。さらにその質を変化させる方法の構築とそのメカニズムの解明を目指した研究に取り組んだ。

研究成果の学術的意義や社会的意義

鼻腔内に電極等を一切設置せず、高確率で鼻腔内化学感覚を惹起する手法は世界で初めて構築されたものである。鼻腔内化学感覚を化学物質を使わずに人工的に作ることができる本手法は今後の嗅覚の研究において強力なツールとなるだろう。嗅覚はVR等の体験に欠かせない重要な感覚であるとともに、情動等の人の内部状態にも強く働きかける感覚である。本研究は嗅覚の提示技術を作り出したというだけでなく、今後の嗅覚研究を推進する一つの強力なツールを作り出したという意義もある。

研究成果の概要(英文)：In the research field of virtual reality (VR), research on displays that present the sense of smell is importance. However, olfactory presentation requires both chemical substances that induce odorants and a mechanism to present them to the nasal cavity, which requires a tank to store the odorants and an actuator to release the odorants, which are costly in terms of volume, weight, and money. The achievements of this research are (i) the development of a device to construct a lightweight, inexpensive, and compact olfactory display device by electrical stimulation, (ii) the development of a method to increase the variety of olfactory sensations with high probability by electrical stimulation, and (iii) the construction of a method to change their quality and the research efforts aimed at elucidating their mechanism.

研究分野：バーチャルリアリティ

キーワード：嗅覚電気刺激 鼻腔内科学感覚 経皮電気刺激 バーチャルリアリティ

1. 研究開始当初の背景

バーチャルリアリティ(VR)やヒューマンインタフェース分野において、嗅覚を提示するディスプレイ技術の研究は注目を集めている。多くの嗅覚ディスプレイ技術では、鼻腔内あるいは顔面周辺に香り物質を噴霧する手法によって嗅覚の提示を実現していた。しかしながら、香り物質は空間中に残留したり、皮膚や衣服に残ることから、VR等において時間的に香りを切り替得たときに、前の香りが残ってしまうという問題点があった。

一方で、皮膚上にゲルや皿状の表面電極を貼りつけて微弱な電流を印加することで、様々な神経を刺激して感覚を作り出す経皮電気刺激と呼ばれる手法がある。近年では経皮電気刺激を利用して前庭感覚や皮膚感覚などを提示するディスプレイ技術の研究も非常に盛んである。しかし、この経皮電気刺激によって嗅覚を含んだ鼻腔内化学感覚を生起させる実用的な手法は存在しなかった。例えば、鼻腔内の奥部に電極を挿入して電気刺激を印加する手法や、篩骨切除者に対して鼻腔内に電極を挿入する手法などは存在していたが、いずれも非侵襲な経皮電気刺激とは言いにくく、それらの手法で鼻腔内化学感覚が惹起される確率が著しく低いものもあった。このため、これらの手法をVRやヒューマンインタフェース分野における感覚提示技術として利用するのは困難であった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、身体の外表面に設置した電極からの非侵襲な経皮電気刺激によって鼻腔内化学感覚を惹起する新たな手法を構築し、その脳を含めた情報処理メカニズムの解明を通し、様々な質の鼻腔内化学感覚を惹起する嗅覚電気刺激(GOS: Galvanic Olfactory Stimulation)を構築する事である。

3. 研究の方法

本研究の最終的な目的である自在な嗅覚の質を持った鼻腔内化学感覚を生起させる GOS の構築を達成するために、下記の4つの研究フェーズで研究を行う。

- ① 鼻腔内化学感覚の受容に関わる末梢神経系に十分な刺激を及ぼすことのできる電極配置の設計
研究フェーズ①では鼻腔内化学感覚が惹起される刺激を設計し鼻腔外からの経皮電気刺激によって鼻腔内化学感覚が惹起される刺激を構築する。
- ② GOS が鼻腔内化学感覚の生起に及ぼす影響の定量的評価
研究フェーズ②ではその GOS 刺激が本当に鼻腔内化学感覚を惹起するのか、またその感覚はどのようなものであるのかを心理物理実験によって明らかにする。
- ③ 脳を含めた感覚惹起メカニズムの評価
研究フェーズ③では脳活動計測によってその感覚生起メカニズムの解明に挑む。
- ④ GOS によって惹起される鼻腔内化学感覚の質の変化手法
研究フェーズ④では GOS の質を変化させられるかどうかを検討する。

これらの4つのフェーズで研究を実施することで、鼻腔内化学感覚を惹起する GOS 手法を構築し、そのメカニズムの解明と、自在な感覚の質を制御する手法を確立する。

4. 研究成果

- ① 鼻腔内化学感覚の受容に関わる末梢神経系に十分な刺激を及ぼすことのできる電極配置の設計

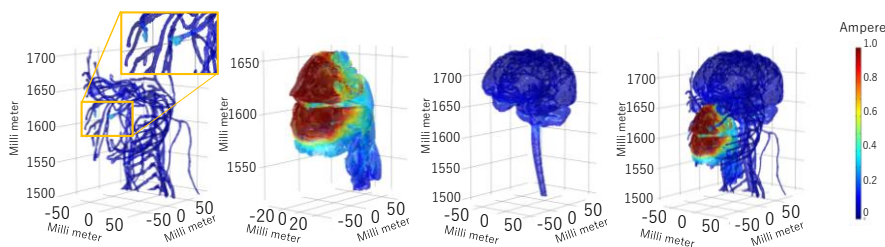


図 1:GOS のシミュレーション結果

鼻腔内化学感覚を惹起するためには、鼻腔内の末梢神経系に十分な刺激を引き起こす電極配置が必要である。鼻腔内には空気中に漂う化学物質を受容して化学感覚を引き起こす、嗅神経や三叉神経などの神経系がある。これらの神経系の上に十分な電流を安全な範囲の刺激強度で誘導するために最も簡単な方法は鼻腔内に電極を設置することである。しかしながら、VR等の応用や衛生面を考えると、鼻腔外の皮膚上に電極を設置することが好ましい。

このため、電流の分布を考慮して鼻梁と首の後ろに電極を設置して、電極対間に電流を印加する事で、経路上にある鼻腔内部に十分な量の電流を誘導できると考えた。この電極配置が十分に鼻腔内に電流を誘導できることを示すため、同様の電極配置によって頭部に電流を印加したときの頭部内電流密度分布を有限元シミュレーションによって解析した。

② GOS が鼻腔内化学感覚の生起に及ぼす影響の定量的評価

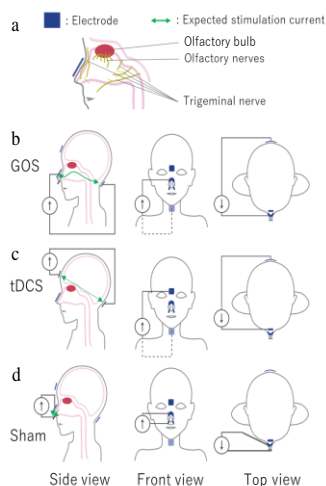


図 2: 刺激電極の配置

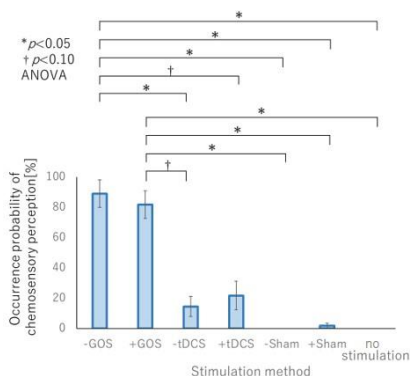


図 3: 鼻腔内化学感覚の生起確率

研究フェーズ①により、鼻腔内に電流を効率よく誘導できることは示されたが、GOS が鼻腔内化学感覚を惹起し得るかどうかは未知である。そこで、実際に人に対して GOS を適用した際に、鼻腔内化学感覚を惹起するかどうかを心理物理実験によって検証した。この実験では鼻梁-首の後ろ間に電流を流す GOS、額と首の後ろに電流を流す tDCS、鼻梁と鼻の間に電流を流す Sham 刺激を実験協力者に流し、そのときに臭い・ツンとした感覚(わさびのような)・ひりひりした感覚(唐辛子のような)を含んだ鼻腔内化学感覚が惹起したかを回答してもらった。その結果、GOS では 80% を超える確率で何らかの鼻腔内化学感覚が惹起されることが分かった。

次に、鼻腔内化学感覚の質がどのようなものであったかを検証するために、実験協力者に GOS によって電流を流した時に感じた鼻腔内化学感覚がどのようなものであったかを自由に回答してもらった。その結果、ツンとしたアンモニアのような臭い、塩素のような臭い、鼻から水を吸い込んだ時のようなツンとした感覚などの回答が得られた。多くの実験協力者の回答に共通していたのは、ツンとした感覚に近いものだという点であり、この感覚は主として鼻腔内三叉神経によって受容されるものである。

研究フェーズ①と研究フェーズ②の内容は、“Electrical Generation of Intranasal Irritating Chemosensation” というタイトルで、IEEE ACCESS にて公開されている。

③ 脳を含めた感覚惹起メカニズムの評価

上述の通り、GOS は鼻腔外からの刺激提示によって高い確率で鼻腔内化学感覚を惹起することが示され、GOS によって惹起される鼻腔内化学感覚は刺激臭に近いツンとした感覚であることが分かった。

これらの結果は、GOS が三叉神経を刺激している確率が高いことを示しているが、そのメカニズムは定かではない。本研究では鼻腔内化学感覚の生起メカニズムを検証するために、GOS 刺激時の脳活動を fMRI によって計測する実験を行った。この研究は新型コロナウイルス感染症の流行拡大に伴い、パイロットスタディとして少ない実験協力者に対してのみ実施されている。今後も継続的に実験を行い、そのメカニズムの特定を進めていく予定である。

④ GOS によって惹起される鼻腔内化学感覚の質の変化手法

GOS によって惹起される鼻腔内化学感覚は刺激臭に近い感覚である。この感覚の質は様々なアプリケーションに応用できるものの、臭いの表現範囲が広がるとより広範な応用が期待

できる。本研究では、③の研究に先立ち様々な刺激パターンによって人がどのような鼻腔内化学感覚を感じるのかを少ない実験協力者に対して調査した。

この実験では、直流電流に近い方形波、様々な周波数の交流方形波、様々な周波数の正弦波、三角波、パルス波を使った GOS を実験協力者に流し、そのときに感じた感覚を自由に回答してもらった。その結果、ほとんどすべての刺激によって、その臭いの質は変化せず、刺激臭のような鼻腔内化学感覚が惹起される程度であった。また、周波数の高い正弦波や交流波では鼻腔内化学感覚が惹起されなかった。一方で、一部の刺激においては、ツンとした感覚が低下し、臭いの質も変化する可能性があった。今後はこれらの刺激波形についてもより詳細に検証していくことで、範囲は未定だが嗅覚の質をいくらか変化させられると考えられる。

これらの研究を通して、鼻腔内化学感覚を非侵襲な経皮電気刺激によって惹起する GOS を世界に先駆けて構築することができた。この生起メカニズムは未解明であるため、さらなる調査が必要であるが、この研究が発展することで、化学物質を使わずに嗅覚を自在に制御する新しい嗅覚提示インタフェースが構築できる可能性が、本研究にて示された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kazuma Aoyama, Nobuhisa Miyamoto, Satoru Sakurai, Hiroyuki Iizuka, Makoto Mizukami, Masahiro Furukawa, Taro Maeda, Hidyuki Ando,	4. 巻 9
2. 論文標題 Electrical Generation of Intranasal Irritating Chemosensation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 106714-106724
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ACCESS.2021.3100851	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
研究 分 担 者	安藤 英由樹 (Ando Hideyuki) (70447035)	大阪芸術大学・芸術学部・教授 (34405)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関