



Title	頭部への電気刺激における電流経路の時空間解析を用いた感覚提示モデルの設計
Author(s)	青山, 一真
Citation	大阪大学, 2016, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/55843
rights	©2021 IEEE. Reprinted, with permission, from Aoyama K., Miyamoto N., Sakurai S., et al. Electrical Generation of Intranasal Irritating Chemosensation. IEEE Access 9, 106714, July 2021.
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 (青 山 一 真)	
論文題名	頭部への電気刺激における電流経路の時空間解析を用いた感覚提示モデルの設計
論文内容の要旨 本研究は、頭部への経皮電気刺激による前庭感覚、味覚、嗅覚の感覚提示モデルを電流経路の空間的配置とその時間特性の観点から設計し、従来の電気刺激による感覚提示手法の課題解決を通し、電気刺激の感覚惹起メカニズムの解明に挑むものである。 頭部への経皮電気刺激による感覚器や脳等の神経系への刺激においては、設置電極の真下の組織が選択的に刺激され、賦活もしくは抑制されると考えられてきた。例えば、前庭感覚器への電気刺激(GVS)では乳様突起上に電極を設置して刺激を行うが、この時に刺激電流は電極の直下にある前庭を均等に発火もしくは抑制することで左右方向と前後方向の前庭感覚が惹起されると考えられてきた。しかし頭部は、抵抗値の非常に高い頭蓋骨が導電体である体液を含む軟組織を覆い、さらにその外側を導電体である皮膚が覆うという構造を持つ。つまり経皮電気刺激により頭部に電流を印加しても、刺激電流が頭蓋骨を貫通するとは考えにくく、電極直下の組織を刺激するという従来説に疑義が残る。さらに、刺激電流はニューロンのどこ(イオンチャネル、軸索、シナプスなど)にどのように(電氣的に駆動する、イオンを泳動させる、発熱する)神経発火を誘発するのかといった神経発火の誘発機序は未解明であった。 これは工学的側面からも解決すべき課題であり、特に提示刺激の設計に大きな制約をもたらす要因と位置づけられる。例えばまず、GVSで提示可能な前庭感覚は微弱な左右方向と前後方向に限られている。つまり感覚提示手法の確立には、前庭感覚の提示可能な方向数と、安全な電流値で提示可能な前庭感覚の強度が不足している。次に、味覚提示のための電気刺激(GGS)は塩味以外の四味の抑制が未達成であり、感覚提示手法としては味質操作の自由度が足りない。最後に、嗅覚提示目的の電気刺激(GGS)は方法論そのものが明らかにされていない。 そこで本研究では、頭部への経皮電気刺激を用いた多岐に渡る感覚提示機序を統一的に説明する機序仮説として、電流経路仮説とシナプス間隙イオン泳動説を提唱する。電流経路仮説とは、頭部への経皮電気刺激によって印加された電流が頭蓋骨の穴を通り感覚器に流入した有効方向電流のみが感覚を惹起するという着想に基づく。提出した仮説に基づき刺激設計を行った結果、GVS、GOS、GGSの抱える感覚提示手法としての諸問題を解決したことから、本研究で提唱する機序仮説の妥当性が支持された。	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (青 山 一 真)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教授	前田 太郎
	副 査	教授	松田 秀雄
	副 査	教授	清水 浩
	副 査	教授	若宮 直紀

論文審査の結果の要旨

本論文は、頭部への経皮電気刺激による前庭感覚、味覚、嗅覚の感覚提示モデルを電流経路の空間的配置とその時間特性の観点から設計し、従来の電気刺激による感覚提示手法の課題解決を通し、電気刺激の感覚惹起メカニズムの解明を企図した研究論文である。本論文では頭部への経皮電気刺激を用いた多岐に渡る感覚提示機序を統一的に説明する機序仮説として、電流経路仮説とシナプス間隙イオン泳動説を提唱している。これは頭部への経皮電気刺激によって印加された電流が頭蓋骨の穴を通り感覚器に流入した有効方向電流のみが感覚を惹起するという着想に基づくものであり、この仮説に基づいて本論文ではGVS（前庭電気刺激 Galvanic Vestibular Stimulation）、GGS（味覚電気刺激 Galvanic Gustatory Stimulation）、GOS（嗅覚電気刺激 Galvanic Olfactory Stimulation）の抱える感覚提示手法としての諸問題を解決している。

本論文の構成は第1章と第2章を費やして従来の電流刺激仮説の問題点と本論文の提唱する電流経路仮説を説明し、第3章においてこの仮説に基づく頭部インピーダンスの実計測値および通電時の頭部磁場計測結果をもとにその妥当性を議論している。同成果は前庭電気刺激においては刺激電極の配置の多極化に寄与する形で活用され、さらには従来困難とされてきた味覚や嗅覚への電気刺激の設計にも応用され効果を上げている。さらに第4章では第3章で仮定した電流経路の周波数特性について交流インピーダンス計測を用いて実測定した結果からその等価回路を推定し、電気刺激に対する感覚器の実時間応答モデルを提案している。これに基づいて電流刺激の時間パターンを最適設計し往復刺激とすることで前庭電気刺激における電気刺激の感覚誘導効率を大幅に改善することに成功している。

本論文の特徴は電気刺激に対する感覚応答の観察に留まっていた頭部への経皮電気刺激の機序を電流経路として解析することで感覚刺激手段としての電気刺激の工学的設計の高度化を大幅に進めたことにあり、その工学的な新規性・有用性は極めて高いといえる。よって、博士（情報科学）の学位論文として価値のあるものと認める。