

令和 6 年 4 月 22 日現在

機関番号：17201

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H04059

研究課題名（和文）ノイズ前庭電気刺激の姿勢安定性に関する多角的研究

研究課題名（英文）A multidimensional study on postural stability of noisy vestibular electrical stimulation

研究代表者

光武 翼（Mitsutake, Tsubasa）

佐賀大学・医学部・特任准教授

研究者番号：00779712

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究ではノイズ前庭電気刺激（nGVS）効果を調査するために、神経基盤を解明し、姿勢制御機能研究へ発展的に展開することで、転倒を予防するための新たな介入方法を検証した。具体的には、機能的磁気共鳴画像法を用いて脳活動領域を明らかにするとともに、高精度眼球計測装置を用いて姿勢安定性に影響する前庭動眼反射機能解析や三次元動作解析装置による姿勢安定効果など多角的視点からnGVS効果を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

nGVS実施時には直接的な脳血流動態反応や前庭動眼反射機能に有意な変化は認められなかった。一方、三次元動作解析装置や重心動揺計、一定周波数床振動装置、頭部慣性センサを用いた身体動揺はnGVSを行うことで減少し、姿勢安定性が向上する結果が得られた。これらの結果からnGVSは脳機能や前庭動眼反射機能に直接影響を及ぼしているわけではなく、神経干渉作用による姿勢安定性に貢献している可能性が示唆された。nGVSの姿勢調整メカニズムを完全に解明できたわけではないが、介入効果の方向性を示す点では学術的に意義深い研究であり、転倒予防の観点から社会的有効性を提示できる一定の成果が得られた。

研究成果の概要（英文）：This study examined a novel intervention method to prevent falls by elucidating the neural basis for investigating the effects of noisy galvanic vestibular stimulation (nGVS) and expanding the research to postural control function study. Specifically, we clarified brain activity areas using functional magnetic resonance imaging, and analyzed vestibular oculomotor reflex function that affects postural stability using a high-precision ocular measurement device. In addition, this study revealed the nGVS effect from multiple perspectives, including the effect of postural stability using a three-dimensional motion analyzer.

研究分野：リハビリテーション科学

キーワード：ノイズ前庭電気刺激 前庭覚 姿勢制御機能 脳活動 前庭動眼反射 身体制御反応 一定周波数床振動

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

前庭覚が関与する反射機能の一つである前庭眼反射 (VOR) は、頭部運動時に反対方向への眼球運動を行うことで、頭が動いても網膜に写る外界像のぶれを防いでいる。健常高齢者は歩行中の頭部回旋動作や障害物を跨ぐ動作などの日常生活でのバランス能力が VOR の評価結果と関係しており、VOR を評価することは転倒の危険性を精度良く感知できる (Honaker JA, et al. Otol Neurotol 2013)。経皮的ノイズ前庭電気刺激 (nGVS) は、前庭誘発筋電図の振幅を増大し (Inukai Y, et al. Front Neurol 2017)、30 分の刺激でも健常高齢者や前庭障害患者の立位安定性を改善する (Inukai Y, et al. Brain Stimul 2018)。

以上より、VOR は姿勢安定性と関係があり、VOR の低下により転倒の危険性が高まる可能性がある。nGVS はバランス能力を改善するが、その神経学的メカニズムは十分に解明されておらず、nGVS 介入によって定量的に VOR 及び姿勢制御機能の変化を多角的に検討した研究は散見されない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、脳機能 (脳血流動態反応)、反射機能 (VOR)、身体機能 (姿勢安定性) の側面から nGVS の姿勢制御機能への応答を検証することで、神経学的メカニズムを明らかにすることとした。

そのために該当研究期間で以下の研究を行った。

- (1) 機能的磁気共鳴画像法 (fMRI) を用いた nGVS 時の脳血流動態解明¹
- (2) nGVS による足圧中心 (COP) 変動と VOR 変化²
- (3) 三次元動作解析装置を用いた nGVS による身体制御反応の検証³
- (4) 一定周波数床振動装置を用いた nGVS による姿勢安定効果⁴

3. 研究の方法

上記(1)~(4)に対応する研究方法を各々記載した。

- (1) 健常成人 24 名が参加し、nGVS 群 (31.3 ± 8.8 歳) とガルバニック直流電気刺激群 (GVS 群; 29.1 ± 5.0 歳) に無作為に割付した。脳活動領域は fMRI を用いて安静時と各群の刺激条件に応じて nGVS もしくは GVS 時に計測した。電気刺激において、両乳様突起上に双極性の経頭蓋電気刺激装置 (DC-Stimulator Plus, neuroConn) を使用して 35 cm^2 ($5 \times 7 \text{ cm}$) の電極を介して通電した。MRI 室内に対応できる機器 (DC-Stimulator MR, neuroConn) を使用して fMRI 実施時に刺激した。実験デザインは 30 秒ずつ 4 回の課題-休憩で構成されるブロックデザインを行った。
本研究は Matlab による SPM ソフトウェアを使用して脳画像を解析した。
- (2) 若年健常成人 28 名 (20.4 ± 0.5 歳) が参加した。本研究では nGVS 単独効果だけではなく、経頭蓋小脳直流電気刺激 (ctDCS) との併用効果も検証した。参加者には nGVS+ctDCS、nGVS+sham ctDCS、sham nGVS+ctDCS、sham nGVS+sham ctDCS の 4 条件の経頭蓋電気刺激を行っている時に足圧中心 (COP) 動揺および VOR を評価した。COP は重心動揺計 (BasyS, テック技販) を用いて柔らかい床上での閉眼立位を 60 秒間のうち、最後の 30 秒間の身体動揺を算出した。VOR 計測は高精度眼球計測装置 (EyeSeeCam, Interacoustics) を用いた video Head Impulse Test (vHIT) によって前方の壁に投射されたターゲットを固視した状態で受動的に頭部運動を行った。眼球運動と頭部運動の比率を示す VOR gain によって VOR 機能を評価し、三半規管の構造別に 6 方向を算出した。
- (3) 若年健常成人 17 名 (21.7 ± 2.3 歳) に対して、刺激なし (ベースライン) 時と刺激 (sham nGVS or nGVS) 時に 4 条件 (固い床上で開眼、閉眼、柔らかい床上で開眼、閉眼立位) の身体反応を計測した。nGVS は知覚閾値以下の最適刺激強度、sham nGVS は $0 \mu\text{A}$ で 30 秒間適応した。身体制御反応は三次元動作解析装置 (Myomotion, Noraxon) と表面筋電計 (Clinical DTS, Noraxon) を同期して計測した。計測部位は右側の大腿直筋、半腱様筋、前脛骨筋、ヒラメ筋の筋活動、右側の股関節、膝関節、足関節の各運動方向に対する角速度、第 7 頸椎棘突起上、骨盤中央の上下、左右、前後方向の身体動揺として root mean square (RMS) を算出した。
- (4) 若年健常成人 31 名 (20.7 ± 0.7 歳) が参加した。参加者は前後方向に正弦波上に並進する可動台 (BasyS, テック技販) での閉眼静止立位において sham 刺激介入と nGVS 介入の両方を行った。nGVS は知覚閾値以下の最適強度を、sham 刺激は $0 \mu\text{A}$ を適応した。参加者は両刺激条件で 0.2Hz、0.6Hz、1.2Hz の可動台速度で 80 秒間ずつ姿勢安定性を無作為に計測した。

姿勢安定性は外後頭隆起に設置した慣性センサ（テック技販）を用いて 80 秒間の中で 20 ~ 70 秒の 50 秒間の前後方向と左右方向の頭部加速度から RMS 動揺を算出した。

4. 研究成果

開始当初から予定していた研究は滞りなく実施し、すべて英語論文を執筆した。

- (1) 本研究では $p < 0.05$ のクラスター-FWE の閾値での生存クラスターが 10 個以下のボクセルを含むかどうか調査したが、そのようなクラスターは検出されなかった。検出閾値を $p < 0.001$ (uncorrected)とした解析を行った結果、対象者は安静時と比較して nGVS や GVS でいくつかの脳領域の活動性が有意に増加した。特に、nGVS 条件は安静条件と比較して左側島周辺を含む前庭システム関連脳領域に有意な脳血流量の増大を認められた。
- (2) COP パラメータに関して、面積 ($F = 15.382, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.363$)、総移動距離 ($F = 34.522, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.561$)、左右速度 ($F = 21.711, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.446$)、前後速度 ($F = 35.379, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.567$) において刺激条件間に有意差が認められた。さらに、すべてのパラメータは nGVS+ctDCS 条件と nGVS+sham ctDCS 条件が sham nGVS+ctDCS 条件と sham nGVS+sham ctDCS 条件と比較して有意に低値を示した。COP 動揺は sham nGVS+ctDCS 条件が sham nGVS+sham ctDCS 条件と比較して距離と前後速度が有意に減少し、他のパラメータは刺激条件間で有意差は認められなかった。
vHIT はすべてのパラメータにおいて三半規管構造別の運動方向に有意な主効果を示したが、刺激の主効果と刺激 × 方向に有意な交互作用は認められなかった。
- (3) 筋活動に関して、前脛骨筋は介入の主効果 ($F = 4.645, p = 0.033, \eta_p^2 = 0.035$) 条件 × 介入の相互作用 ($F = 2.983, p = 0.034, \eta_p^2 = 0.065$) が認められた。さらに、柔らかい床での閉眼条件において sham 刺激と比較して nGVS で有意に減少した ($p = 0.044$)。また、nGVS において硬い床での開眼条件と比較して柔らかい床での閉眼条件で有意に減少した ($p = 0.024$)。ヒラメ筋は条件 ($F = 4.058, p = 0.009, \eta_p^2 = 0.087$) と介入 ($F = 6.832, p = 0.010, \eta_p^2 = 0.051$) の有意な主効果が認められた。nGVS 介入において硬い床での閉眼条件と比較して柔らかい床での閉眼条件で有意に減少した ($p = 0.047$)。
各下肢関節の角速度については、足関節の内がえし-外がえし方向に条件の有意な主効果 ($F = 4.632, p = 0.004, \eta_p^2 = 0.098$) 条件 × 介入の交互作用 ($F = 3.392, p = 0.020, \eta_p^2 = 0.074$) が認められた。柔らかい床上での閉眼条件において sham 刺激と比較して nGVS が内がえし-外がえし方向で有意に減少した ($p = 0.019$)。さらに、nGVS において柔らかい床上での閉眼条件は他の条件に比べて内がえし-外がえし方向を有意に減少した (硬い床上で開眼: $p = 0.009$, 柔らかい床上で開眼: $p < 0.001$)。一方、足関節外転-内転方向は条件効果 ($F = 4.313, p = 0.006, \eta_p^2 = 0.092$) 介入効果 ($F = 5.692, p = 0.019, \eta_p^2 = 0.043$) で有意差が認められ、条件 × 介入相互作用に関して有意な傾向が認められた ($F = 2.631, p = 0.053, \eta_p^2 = 0.058$)。ポストホック解析では柔らかい床上での閉眼条件において sham 刺激と比較して nGVS で外転-内転方向を有意に減少した ($p = 0.022$)。
骨盤と頸部の RMS 動揺では条件 × 介入相互作用の有意な影響は見られなかった。
- (4) 前後方向の頭部 RMS 動揺では速度条件と刺激条件に有意な主効果を示したが、速度 × 刺激の交互作用には有意差が認められなかった。速度条件において、1.2Hz の可動台は 0.2Hz、0.6Hz と比較して頭部 RMS 動揺が有意に増大し (各 $p < 0.001, p = 0.043$)、0.6Hz の可動台は 0.2Hz と比較して頭部 RMS 動揺が有意に増大した ($p = 0.005$)。刺激条件に関して、nGVS が sham nGVS と比較して有意に前後方向の頭部 RMS 動揺が減少した ($p = 0.044$)。左右方向の頭部 RMS 動揺は速度条件に有意な主効果を示し、速度 × 刺激の交互作用に有意差が認められた。速度条件において、1.2Hz の可動台は 0.2Hz、0.6Hz と比較して頭部 RMS 動揺が有意に増大した (各 $p < 0.001, p = 0.015$)。ポストホック解析では nGVS は 1.2Hz の可動台速度において sham 刺激と比較して左右方向の頭部 RMS 動揺で有意に減少した ($p = 0.039$)。

引用文献

1. Mitsutake T, Sakamoto M, Horikawa E. Comparing activated brain regions between noisy and conventional galvanic vestibular stimulation using functional magnetic resonance imaging. *Neuroreport*. 2021;32(7):583-587. doi:10.1097/WNR.0000000000001629
2. Mitsutake T, Nakazono H, Shiozaki T, Fujita D, Sakamoto M. Changes in vestibular-related responses to combined noisy galvanic vestibular stimulation and cerebellar transcranial direct current stimulation. *Exp Brain Res*. 2024;242(1):99-108. doi:10.1007/s00221-023-06731-5
3. Mitsutake T, Taniguchi T, Nakazono H, Yoshizuka H, Sakamoto M. Effects of Noisy Galvanic Vestibular Stimulation on the Muscle Activity and Joint Movements in Different Standing Postures Conditions. *Front Hum Neurosci*. 2022;16:891669. Published 2022 Jun 2. doi:10.3389/fnhum.2022.891669

4. Mitsutake T, Sonobe M. Noisy galvanic vestibular stimulation influences head stability in young healthy adults while standing on a moving platform. *Gait Posture*. 2024;107:177-181. doi:10.1016/j.gaitpost.2023.09.014

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Mitsutake Tsubasa, Nakazono Hisato, Taniguchi Takanori, Yoshizuka Hisayoshi, Sakamoto Maiko	4. 巻 818
2. 論文標題 Effects of transcranial electrical stimulation of the right posterior parietal cortex on physical control responses	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Neuroscience Letters	6. 最初と最後の頁 137565 ~ 137565
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.neulet.2023.137565	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Mitsutake Tsubasa, Nakazono Hisato, Shiozaki Tomoyuki, Fujita Daisuke, Sakamoto Maiko	4. 巻 242
2. 論文標題 Changes in vestibular-related responses to combined noisy galvanic vestibular stimulation and cerebellar transcranial direct current stimulation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Experimental Brain Research	6. 最初と最後の頁 99 ~ 108
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00221-023-06731-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Mitsutake Tsubasa, Sonobe Motomichi	4. 巻 107
2. 論文標題 Noisy galvanic vestibular stimulation influences head stability in young healthy adults while standing on a moving platform	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Gait & Posture	6. 最初と最後の頁 177 ~ 181
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gaitpost.2023.09.014	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Mitsutake Tsubasa, Taniguchi Takanori, Nakazono Hisato, Yoshizuka Hisayoshi, Sakamoto Maiko	4. 巻 16
2. 論文標題 Effects of Noisy Galvanic Vestibular Stimulation on the Muscle Activity and Joint Movements in Different Standing Postures Conditions	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Human Neuroscience	6. 最初と最後の頁 891669
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.humov.2022.103051	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 -

1. 著者名 Mitsutake Tsubasa, Taniguchi Takanori, Fujita Daisuke, Nakazono Hisato	4. 巻 87
2. 論文標題 Effects of passive interpersonal light touch during walking on postural control responses: An exploratory study	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Human Movement Science	6. 最初と最後の頁 103051 ~ 103051
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fnins.2022.1057021	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nakazono Hisato, Taniguchi Takanori, Mitsutake Tsubasa, Takeda Akinori, Yamada Emi, Ogata Katsuya	4. 巻 16
2. 論文標題 Phase-dependent modulation of the vestibular?cerebellar network via combined alternating current stimulation influences human locomotion and posture	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Neuroscience	6. 最初と最後の頁 1057021
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2021.106242	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 -

1. 著者名 Mitsutake T, Nakazono H, Yoshizuka H, Taniguchi T, Sakamoto M	4. 巻 31(2)
2. 論文標題 Increased Trailing Limb Angle is Associated with Regular and Stable Trunk Movements in Patients with Hemiplegia	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 J Stroke Cerebrovasc Dis	6. 最初と最後の頁 106242
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2021.106242	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Mitsutake T, Imura T, Hori T, Sakamoto M, Tanaka R.	4. 巻 10;15
2. 論文標題 Effects of Combining Online Anodal Transcranial Direct Current Stimulation and Gait Training in Stroke Patients: A Systematic Review and Meta-Analysis	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Front Hum Neurosci	6. 最初と最後の頁 782305
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fnhum.2021.782305. eCollection 2021.	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 -

1. 著者名 Mitsutake Tsubasa, Sakamoto Maiko, Horikawa Etsuo	4. 巻 5
2. 論文標題 Comparing activated brain regions between noisy and conventional galvanic vestibular stimulation using functional magnetic resonance imaging	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 NeuroReport	6. 最初と最後の頁 583-587
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2021.105635.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Mitsutake T, Sakamoto M, Nakazono H, Horikawa E.	4. 巻 30
2. 論文標題 The effects of combining transcranial direct current stimulation and gait training with functional electrical stimulation on trunk acceleration during walking in patients with subacute stroke.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J Stroke Cerebrovasc Dis	6. 最初と最後の頁 105635
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2021.105635.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 8件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 光武 翼, 谷口隆憲, 中園寿人, 吉塚久記
2. 発表標題 右後部頭頂皮質に対する異なる経頭蓋電気刺激波形が下肢関節角度による姿勢制御反応に及ぼす影響
3. 学会等名 第2回日本前庭理学療法研究会学術集会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 光武 翼
2. 発表標題 姿勢制御研究をどう臨床に活かすか 姿勢制御と感覚情報
3. 学会等名 第21回日本神経理学療法学会学術大会 共催シンポジウム3 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 光武 翼
2. 発表標題 脳卒中理学療法をアップデートする～電気刺激療法編～
3. 学会等名 福岡県理学療法士協会 第1回福岡支部研修会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 光武 翼
2. 発表標題 脳卒中患者に対する前庭リハビリテーションが歩行能力に及ぼす影響：ランダム化比較試験のシステマティックレビュー
3. 学会等名 第1回日本前庭理学療法研究会学術集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 光武 翼、谷口 隆憲、中園 寿人、吉塚 久記
2. 発表標題 Noisy Galvanic Vestibular Stimulationが身体制御反応に及ぼす影響：探索的研究
3. 学会等名 第20回日本神経理学療法学会学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 光武 翼
2. 発表標題 経頭蓋電気刺激が転倒予防に及ぼす影響について
3. 学会等名 第14回アジアリハビリテーション科学学会（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 光武 翼
2. 発表標題 脳卒中患者の姿勢制御と電気刺激アプローチの実践
3. 学会等名 福岡県理学療法士協会 第3回北九州1地区研修会 講師（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 光武 翼
2. 発表標題 中枢神経疾患の前庭機能障害に対する理学療法
3. 学会等名 日本前庭理学療法研究会 第4回前庭理学療法実践セミナー 講師（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 光武 翼
2. 発表標題 姿勢制御と感覚戦略
3. 学会等名 日本神経理学療法学会 第22回サテライトカンファレンス山梨（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 光武 翼
2. 発表標題 感覚・運動機能障害に対する電気刺激が姿勢制御に及ぼす影響
3. 学会等名 日本前庭理学療法研究会 Open Conference（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 光武 翼
2. 発表標題 脳卒中片麻痺患者の歩行再建に向けた物理療法の展開
3. 学会等名 第2回日本物理療法研究会学術大会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 1.光武 翼, 中園寿人, 堀川悦夫
2. 発表標題 脳卒中片麻痺患者に対する経頭蓋直流電気刺激と傾斜センサ内蔵電気刺激の併用が歩行規則性に及ぼす影響
3. 学会等名 日本理学療法士協会 第1回物理療法部門研究会
4. 発表年 2021年

〔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	坂本 麻衣子 (Sakamoto Maiko) (10720196)	佐賀大学・医学部・准教授 (17201)	
研究分担者	中園 寿人 (Nakazono Hisato) (70814771)	福岡国際医療福祉大学・医療学部・准教授 (37130)	
研究分担者	岡 真一郎 (Oka Shinichiro) (30637880)	令和健康科学大学・リハビリテーション学部・講師 (32206)	

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
---------	---------