

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：34444

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H04095

研究課題名（和文）ノイズ電気刺激を用いた感覚入力変調による歩行能力の改善

研究課題名（英文）Effect of noise enhanced sensory input by electric stimulation for dynamic gait balance

研究代表者

青木 修（Aoki, Osamu）

四條畷学園大学・リハビリテーション学部・教授

研究者番号：50637535

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究はバランス制御に寄与するいくつかの感覚情報を統合する際の感覚の重みづけを定量的に評価すること、ならびにノイズ前庭電気刺激が動的バランスに与える影響について明らかにすることを目的とした。健康若年者を対象とした研究の結果、バランス制御における前庭感覚への重みづけは他の感覚入力により一定程度減少することが明らかとなった。一方で、健康若年者および脳卒中患者に対するノイズ前庭電気刺激による動的バランスへの効果は認められなかった。ノイズ種類や刺激強度などを変更して最適な刺激強度を模索する必要性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義としては、バランス制御における前庭感覚の寄与度を定量的に評価できる可能性を示したこと、他の感覚情報により前庭感覚への依存度が減少することを示したことにある。また、ノイズ電気刺激により動的バランス改善の効果が示されなかった否定的結果にも意義がある。一方でノイズ条件や刺激強度など詳細な検討ができなかったことから、十分にその影響を解明できたとは言えない側面もある。また、動的バランスを改善させる手法を明らかにできなかったことから、社会的意義としては十分ではなく今後の課題とする。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to quantitatively evaluate sensory re-weighting when integrating several sensory information that contributes to balance control, and to clarify the influence of noise vestibular electrical stimulation on dynamic balance. A study conducted on healthy young participants revealed that the weight given to vestibular sensations in balance control is reduced to a certain extent by other sensory inputs. On the other hand, no effect of noisy vestibular electrical stimulation on dynamic balance was observed in healthy young subjects and stroke patients. It was suggested that it is necessary to search for the optimal stimulation intensity by changing the noise type and stimulation intensity.

研究分野：リハビリテーション

キーワード：バランス 電気刺激 ノイズ

### 1. 研究開始当初の背景

本邦の脳卒中患者は111万人であり、要介護の原因疾患としては全体の18.4%で認知症に次いで2番目に多い。脳卒中後は運動や感覚機能、高次脳機能障害など(Kwakkel et al. Stroke 2006)によりバランス能力が低下し、歩行や方向転換動作中に転倒しやすいが、脳卒中患者に対して動作中のバランスに焦点を当てた効果的な治療方法は確立されていない。動作中のバランスを効果的に改善させる方法の開発は、患者の動作能力向上だけでなく、介護度の軽減といった医療経済的な観点からも有益と考えられる。

ヒトのバランス制御は視覚・前庭感覚・体性感覚といった入力系、および筋力・柔軟性・姿勢反応といった出力系が協調的に統合された結果として達成される。脳卒中患者では、入力系である大脳のの前庭関連領域の機能低下によって静的立位バランスが低下(Miyai et al. J Neuro Rehab 1997)するが、我々は脳卒中患者がこのバランス低下を視覚で代償していることを明らかにしている(Aoki et al. Exp Brain Res 2014)。感覚入力信号に外部からノイズ波形を付加することで、確率的に感覚入力信号が感覚閾値を超えて知覚しやすくなることが示唆されている(Collins et al. Nature 1995) (図1)。

我々は前庭系に対して、このような感覚入力を変調する方法であるノイズ前庭電気刺激を用いることで、脳卒中患者の静的立位バランスにおける視覚代償が改善することを報告したが(青木ら, 第41回神経学会大会, 2017)、前庭系は他の入力感覚と比較して傾きを検知しにくい

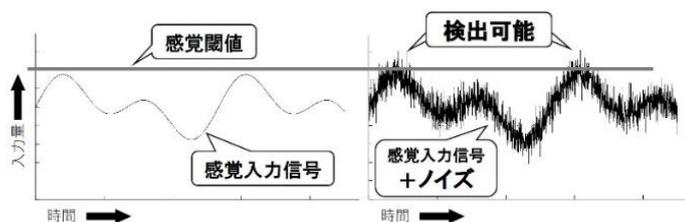


図1 ノイズ付加による感覚入力信号検出の概念図

(Fitzpatrick et al. J Physiol 1994)、歩行などの動的バランスを改善させることは困難

であると考えられる。脳卒中患者は歩行中に足元を注視することで体性感覚を視覚代償している(Aoki et al. Gait Posture 2017)ことから、過度に視覚に依存しない動的バランスの制御を達成するために、ノイズ前庭電気刺激を利用できるかについて明らかにすることは重要であると考えられる。加えて体性感覚などバランス制御に寄与する感覚情報の重みづけを定量的に評価することで、その機序の一端を明らかにできる可能性についても検討する。

### 2. 研究の目的

本研究では、バランス制御に寄与するいくつかの感覚情報を統合する際の感覚の重みづけを定量的に評価すること、ならびにノイズ前庭電気刺激が動的バランスに与える影響について明らかにする。

ヒトの立位バランス制御では、視覚、前庭感覚、固有感覚からの入力を中枢神経系で情報統合し、適切な出力をプログラムして実際に運動出力を行うことで、重力環境における適切な姿勢保持を可能としている。この中で前庭感覚は立位動揺の傾き動揺速度の検出閾値が低いとされることから、静止立位においてはバランス制御に対する貢献度は低いと考えられる。前庭感覚による姿勢への貢献度を定量的に評価する方法として前庭誘発電位を用いた評価が知られている。

これは、両側の乳様突起から前庭電気刺激(GVS)を与え、ヒラメ筋から導出される誘発筋電位によって記録されるものである(図2)。短潜時反応と中潜時反応があり、それぞれ前庭脊髄路および網様体脊髄路を主に評価しているとされる。本研究ではこの指標を用いて、入力感覚情報を変化させるいくつかの姿勢条件の違いにおける前庭感覚情報への重みづけを定量的に評価することで、バランス制御への寄与度を明らかにすることを目的とする。

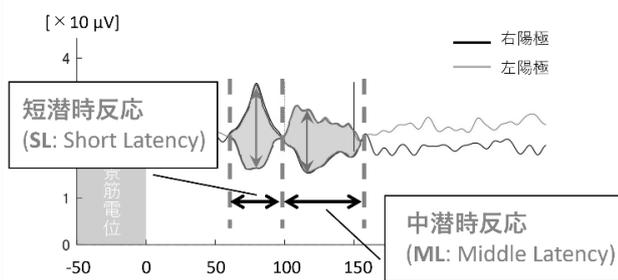


図2 右ヒラメ筋の誘発筋電位(例)

また前庭神経系の興奮性を高めて静的立位バランスを改善するためのノイズ電気刺激が動的バランスに与える影響については明らかになっていない。動作能力を向上させるためには動的バランスを改善することは重要であると考えられる。ノイズの種類は一般的にホワイトノイズやピンクノイズなどが知られているが、感覚障害を持つ脳卒中患者に対して最適な刺激強度、ノイズ種類は明らかではない。身体を前後左右へ傾ける動的立位を評価することにより、閾値の何%の刺激強度で、どのノイズ種類を用いることが動的バランスの改善に最適かを明らかにすることを目的とした。

### 3. 研究の方法

(1) 研究 1: 姿勢条件を変更した際のバランス制御に対する前庭感覚の重みづけの定量的評価

対象は健常若年者 15 名 (年齢 19.9±0.5 歳) とした。対象者にイヤーマフを装着した状態で頸部左回旋位の直立姿勢を 1 分間保持させた。両側乳様突起に貼付した電極から、右陽極または左陽極の矩形波前庭電気刺激 (4mA, 20msec) を 120 回与え、その際の左右前脛骨筋、左右ヒラメ筋の誘発筋電図を記録する。誘発筋電図は刺激前 50msec ~ 刺激後 250msec まで記録し、刺激前 50msec の平均電位を差し引いた 120 回分を加算平均したものをグラフ化した。グラフ化したデータから短潜時および中潜時を同定し、背景筋電図で正規化したものを指標として用いた。立位姿勢条件は閉眼条件、開眼条件、閉眼+指尖支持条件の 3 つを、それぞれ硬い床面上 (A~C)、やわらかい床面上 (D~F) で実施した。これらの条件は手と足の体性感覚および視覚入力を統制するものである (図 3)。比較には二元配置分散分析および有意水準を補正して Wilcoxon 検定を用いた。

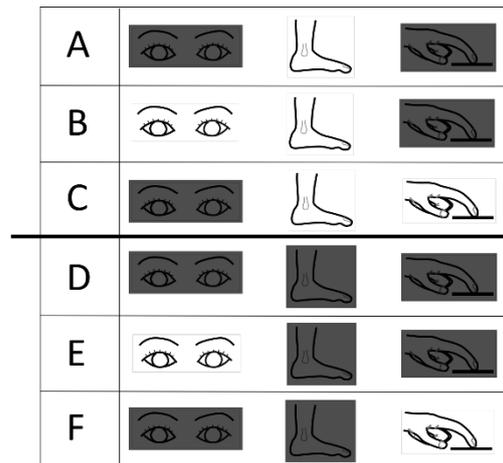


図 3 立位姿勢条件

(A~C:硬い床面、D~F:柔らかい床面)

(2) 研究 2: ノイズ電気刺激が動的バランスに与える影響

健常若年者 15 名 (19.7±0.6 歳) および脳卒中片麻痺患者 10 名 (70.6±9.2 歳) を対象とした。対象者の両側乳様突起に電極を貼付し、対象者が刺激を感じる最小の強度 (感覚閾値) を測定する。対象者にイヤーマフを装着した状態で重心動揺計上で閉眼・閉脚立位をとらせた。15 秒間の静止立位保持の後、能動的に前または後ろへの最大重心移動とその位置での 15 秒間の保持を行わせた。立位中に、対象者の感覚閾値の 1% (偽刺激) または 70% の電流強度でノイズ前庭電気刺激を適用した。脳卒中片麻痺患者では、立位の測定前後に Timed Up and Go (TUG) テストを実施した。

### 4. 研究成果

(1) 右前脛骨筋では、柔らかい床面において前庭誘発電位の振幅が大きくなった一方、視覚の有無、指尖感覚によって電位の振幅に有意差は見られなかった。右ヒラメ筋では、柔らかい床面において前庭誘発電位の振幅が大きくなり、視覚の有無、指尖感覚によっても電位の振幅に有意差がみられた (図 4)。左前脛骨筋では、柔らかい床面において前庭誘発電位の振幅が大きくなり、視覚の有無、指尖感覚の違いによって中潜時の電位の振幅に有意差がみられた。左ヒラメ筋では、柔らかい床面において中潜時の前庭誘発電位の振幅が大きくなり、視覚の有無、指尖感覚の違いによって中潜時の積分電位の振幅に有意差がみられた。この結果から、床面が不安定な条件では前庭系への依存度が高くなることが示唆された。また、視覚や指尖感覚によって前庭系への依存度は変化することが示唆された。短潜時反応の条件間比較結果から、前庭脊髄路の興奮性は視覚または手や足の体性感覚を提示することで 33% 程度減少することが明らかとなった。中潜時反応の結果からは、網様体脊髄路を介した前庭入力への興奮性は視覚提示で約 40%、手や足の体性感覚提示で約 30% 減少することが明らかとなった。

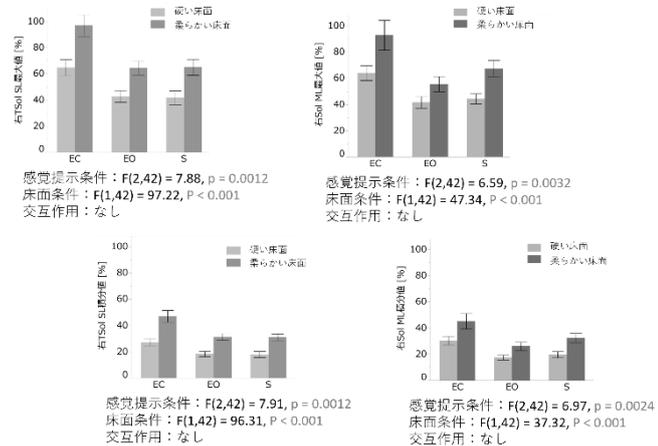


図 4 右ヒラメ筋の条件間比較 (一例) (二元配置分散分析)

(2) 健常若年者に対するノイズ電気刺激では、偽刺激と比較して 70% 刺激では前後方向への最大重心移動距離は約 12% 増大したが、統計学的有意性は認められなかった。この結果から、前庭電気刺激のみでは動的バランスへの改善効果は認められないことが示唆された。脳卒中片麻痺患者では、静止立位の動揺速度が偽刺激と比較して 70% 刺激において有意に減少した。しかし能動的な重心移動距離では偽刺激と 70% 刺激で有意差はみられなかった。また、介入前後の TUG にも変化がみられなかった。ノイズ前庭電気刺激のみでは脳卒中患者でも動的バランスの改善効果は見られないことが確認された。一方、TUG についてはノイズ刺激適用中ではなく、短時間

の適用後の前後比較であったことから差がみられなかった可能性も考えられた。

以上の結果から、バランス制御における前庭感覚への重みづけは、他の感覚入力により一定程度減少することが明らかとなった。一方で前庭系の入力情報を増やした際に、前庭系への重みづけが増大するかについては明確にできていない。ノイズ電気刺激による動的バランスへの影響は健常若年者、脳卒中患者ともに効果がみられなかった。ノイズ種類や刺激強度を変更して動的バランスの改善に最適な介入方法を模索することを目的としていたが、新型コロナウイルス感染症などの影響により対人接触時間が制限され、十分な検証と検討を実施できなかった。このため、引き続き動的バランスならびに歩行能力を改善する最適な手法を模索していく。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Morishita Shinichiro, Kasahara Ryuichi, Yamamoto Yuichi, Jinbo Ryohei, Takano Aya, Yasuda Mitsuhiro, Tsubaki Atsuhiko, Aoki Osamu, Fu Jack B., Tsuji Tetsuya	4. 巻 21
2. 論文標題 Differences in the Relationships Between Muscle Strength, Muscle Mass, Balance Function, and Quality of Life for Middle-Aged and Older Breast Cancer Survivors	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Integrative Cancer Therapies	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1177/15347354221138574	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 Morishita Shinichiro, Hirabayashi Ryo, Tsubaki Atsuhiko, Aoki Osamu, Fu Jack B., Onishi Hideaki, Tsuji Tetsuya	4. 巻 100
2. 論文標題 Relationship between balance function and QOL in cancer survivors and healthy subjects	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Medicine	6. 最初と最後の頁 e27822 ~ e27822
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1097/MD.0000000000027822	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 該当する

1. 著者名 Aoki Osamu, Otani Yoshitaka, Morishita Shinichiro	4. 巻 3
2. 論文標題 Immediate changes in anticipatory muscle activity after unexpected muscle contraction training	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Translational Sports Medicine	6. 最初と最後の頁 574 ~ 580
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/tsm2.168	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 該当する

〔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	大谷 啓尊  (Otani Yoshitaka)  (50732997)	神戸国際大学・リハビリテーション学部・助教    (34518)	

6. 研究組織（つづき）

	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	森下 慎一郎  (Morishita Shinichiro)  (60635077)	福島県立医科大学・保健科学部・教授     (21601)	

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