

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 30 年 6 月 22 日現在

機関番号：34444

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2017

課題番号：16K21516

研究課題名(和文)脳卒中患者のバランス改善を目的としたノイズ付き前庭電気刺激法の開発

研究課題名(英文)The design of noisy galvanic vestibular stimulation for improving the standing balance in stroke patients.

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) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：立位バランス改善のためのノイズ前庭電気刺激における最適なノイズを検討し、そのノイズ前庭電気刺激を用いた治療が脳卒中患者に効果がみられるかについて、研究を実施した。健常者ならびに脳卒中患者に対して、立位バランスを改善するためには強い強度(0dBW)を持つホワイトノイズを用いて感覚閾値の70%の刺激強度が最適であることが示唆された。また、脳卒中患者に対する治療効果は、治療期間直後は効果が認められるものの、その治療期間終了後は効果が持続しなかった。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study was to investigate the optimal noise type and intensity which was added into the galvanic vestibular stimulation (GVS) for improving the upright standing sway in stroke patients. In addition, the effect of short term noisy GVS approach for improving the postural sway was also investigated in stroke patients. For healthy and stroke subjects, the optimal noise was a white noise with strong noise power (0dBW) and stimulus intensity was 70 % of sensory threshold level of each subjects. In stroke patients, the noisy GVS approach was effective for improving postural sway at after the intervention term, but not sustained that effect for next term.

研究分野：リハビリテーション

キーワード：姿勢制御 重心動揺 前庭電気刺激 ノイズ 脳卒中

### 1. 研究開始当初の背景

脳卒中患者では、大脳の前庭系に関連する領域（視床後外側部、頭頂側頭境界部など）が障害されると立位バランスが低下することが報告されている（Miyai I et al., *J Neuro Rehab*, 1997）。これらの脳領域は内耳にある前庭器官と連絡しており、立位バランスや歩行の制御を行なっていると考えられている。脳卒中患者は立位や歩行時に下を向いていることが多く観察されるが、我々はこの下方注視は、視覚に依存した立位バランス制御のための方略であることを示した（Aoki O, et al., *Exp Brain Res*, 2014）。つまり、脳卒中患者は前庭機能や身体機能の低下によって立位が不安定となった結果、バランス制御を視覚で代償していると考えられる。このため、前庭関連領域の脳機能を賦活できれば前庭感覚を利用することが可能となり、視覚に過度に依存しないバランス制御が期待できる。非侵襲的に前庭系を刺激する方法として、両側乳様突起間に直流電流を流す前庭電気刺激法（図 1）が古くから知られており、その安全性も確認されている。

ヒトから計測される心拍や脳波などの生体信号は常に一定ではなく、“ゆらぎ”とよばれるノイズが存在する。

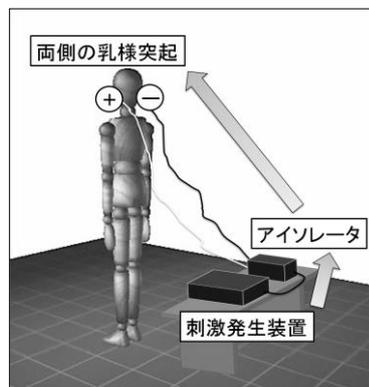


図 1. 前庭電気刺激

そのため、わずかなゆらぎを伴うノイズ波形を付加した前庭電気刺激を行うことで、健康高齢者の立位バランスが改善（Iwasaki S, et al., *Neurology*, 2014）することが明らかとなっている。しかし我々は、健康者でみられるノイズと疾患患者でみられるノイズは異なることを明らかにしている（青木ら, *理学療法科学* 2007）。このため、有疾患である脳卒中患者に最適なノイズについても不明である。

ノイズの種類については一般的に、ホワイトノイズ、ブラウンノイズ、ピンクノイズなどが知られているが、健康者に対しても、前庭電気刺激に付加するための最も効果的なノイズの種類は明らかになっていない。

### 2. 研究の目的

本研究では脳卒中患者および健康者を対象として、直流電流にノイズを付加した前庭電気刺激が静止立位動揺を安定させるのかについて明らかにする。

ヒトのバランス制御は、内耳からの前庭系

情報、足底などからの感覚情報、さらに視覚情報が統合されることで成り立っている。我々はこれまでの研究において、脳卒中患者は前庭系に関連する脳機能が低下した結果、視覚に依存した立位バランス制御を行なっていることを明らかにしている。前庭系に対する介入としては、ノイズ前庭電気刺激が健康高齢者の立位バランスを改善させることが知られているが、脳卒中患者に対する効果は明らかではない。脳卒中患者は立位バランスが低下する結果として転倒が多いことが報告されており、この立位バランスを安定させることは重要であると考えられる。

本研究では、健康者および脳卒中患者に対して、ノイズ種類、ノイズ強度、刺激強度を変更したノイズ前庭電気刺激を実施し、立位バランスを改善させるために最適な刺激方法を検討した。さらに、効果が認められたノイズ前庭電気刺激を脳卒中患者に適用し、その治療効果について検討した。

### 3. 研究の方法

(1) 研究 1: 健康者における視覚と前庭電気刺激の関係

健康若年者 9 名を対象とした。

被験者に柔らかいゴムマット上で静止閉脚立位をとらせ、閉眼あるいは 0.5、1.0、1.5m 先に設置した注視点を注視した状態での 20 秒間の足圧中心を 1000Hz で記録した。1mA の強度の前庭電気刺激 (GVS) を計測開始から任意の 10 秒から 13 秒後に 7 秒間適用した。GVS の電極は右方向、前方、後方への姿勢動揺を惹起するよう配置した。測定したデータから前後方向および左右方向の二乗平均平方根 (RMS) を算出し、GVS 刺激前 7 秒間を基準として刺激中 7 秒間の値をパーセントで表記した。それぞれの条件における評価指標について、一元配置分散分析と t 検定を用いて比較した。

(2) 研究 2: 健康者に対するノイズ前庭電気刺激 (n-GVS) の効果 1

対象は健康者 15 名とした。

計測には床反力計 (kistler 社、サンプリング周波数 1000Hz)、刺激発生装置ならびにアイソレーター (日本光電)、ホワイトノイズ生成用パソコンを用いた。被験者の両側乳様突起をアルコール綿で丁寧に清拭し、Ag/AgCl 電極を貼付した (35φ, L-150, Nihon Khoden Ltd., JPN)。右側陽極、左側陰極として、被験者に 1 秒間の前庭電気刺激を与え、知覚できる最小の刺激強度を閾値として測定した。GVS 刺激強度は被験者の通電感覚閾値の 30、50、70、90、110%とし、ノイズ強度は偽刺激、0dBW、-10dBW とした。

被験者に、ラバーを置いた床反力計上で上肢体側下垂位、踵間距離 5cm の立位をとらせ、イヤーマフ (NRR 31dB) (X5A; 3M Company, USA) および目隠し装着の上で 60 秒間の重心動揺を計測した。重心動揺の測定開始から 30

秒後に 30 秒間の n-GVS (右陽極) を与えた。

動揺の評価指標として、刺激前 20 秒間および刺激中 20 秒間それぞれの前後・左右方向の二乗平均平方根 (前後および左右 RMS) を求めた。ノイズ強度の比較には 2 元配置分散分析を用い、各被験者の至適刺激強度における刺激前・後の RMS を比較した。事後検定には対応のある t 検定 (有意水準 5%、Bonferroni 補正) を用いた。

### (3) 研究 3: 健常者に対するノイズ前庭電気刺激 (n-GVS) の効果 2

対象は健常者 17 名とした。

n-GVS のノイズ種類をホワイトノイズ、ピンクノイズとし、被験者の通電感覚閾値の 30、50、70、90、110%として、計測は研究 2 と同様に実施した。前後、左右方向の重心動揺の RMS、総軌跡長を評価指標として算出した。それぞれの指標は GVS 前 30 秒データで正規化し、2 元配置分散分析を用いて検討した。事後検定には対応のある t 検定を用いた有意水準 5%、Holm 補正)。

### (4) 研究 4: 脳卒中患者に対するノイズ付き前庭電気刺激 (n-GVS) の効果

対象は回復期病棟に入院中の脳卒中患者 9 名 (年齢  $70.0 \pm 8.3$  歳、右片麻痺 5 名、発症からの日数  $110.2 \pm 42.9$  日) とした。

データの計測には重心動揺計 (GP-6100: ANIMA Corp., JPN) を用い、サンプリング周波数 100Hz で計測した。ノイズ付き前庭電気刺激 (n-GVS) は片麻痺側を陽極、反対側を陰極とした。n-GVS の条件はホワイトノイズ、ピンクノイズ (0dBW のノイズパワー) とし、通電感覚閾値の 0%、30%、50%、70%、90% の条件とした。計測はそれぞれの条件において 2 回実施した。

被験者には、重心動揺計上でイヤーマフならびにアイマスクを装着した状態で、両側上肢下垂位、踵間距離 10 cm とした静止立位を 30 秒間保持させた。評価指標として前後、左右方向の RMS、総軌跡長を算出し、偽刺激 (0%) の値で標準化した。評価指標は 2 元配置分散分析後、事後検定として t 検定を用いて検討した。

### (5) 研究 5: 脳卒中患者に対するノイズ前庭電気刺激の治療効果

回復期病棟に入院中の脳卒中患者 10 名を対象とした。

測定条件は開眼、閉眼、閉眼+n-GVS の 3 条件とし、研究 4 と同様の肢位で計測した。n-GVS の刺激強度は通電感覚閾値の 70% とした。

被験者には通常のリハビリテーションに加え、15 分/日の n-GVS 介入を実施した。刺激介入期、偽刺激介入期をそれぞれ 1 週間とし、被験者ごとにランダムに割り当てた。測定時期は、基準時、刺激介入後、偽刺激介入後として計 3 回の計測を実施した。

評価指標は総軌跡長、平均動揺速度、外周面積として、繰り返しのある 2 元配置分散分析の後、事後検定として Wilcoxon 検定を実施した。

## 4. 研究成果

### (1) 研究 1

右方向への動揺を惹起する GVS 刺激では、左右方向 RMS において閉眼と 0.5m 注視条件、0.5m と 1.0m 注視条件で有意な差がみられ、0.5m 注視条件で最も動揺が小さかった。前方への動揺を惹起する GVS 刺激では、左右方向 RMS において 0.5m 注視条件とその他の条件の組み合わせで有意な差がみられ、0.5m 注視条件で最も動揺が小さかった。後方への動揺を惹起する GVS 刺激では、すべての条件で有意差はみられなかった (図 2)。

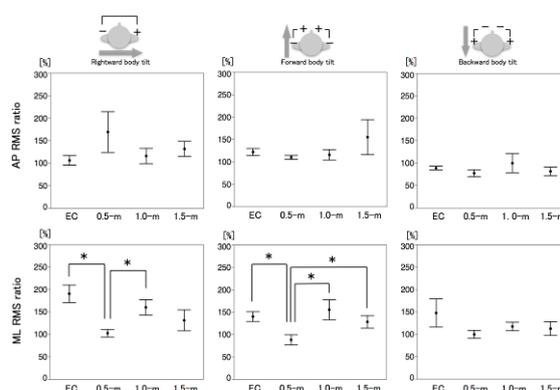


図 2. 各方向への GVS 中の前後、左右の動揺

### (2) 研究 2

至適刺激強度は多くの被験者で通電感覚閾値の 70% の強度であった。2 元配置分散分析の結果、前後および左右 RMS とともに刺激前・後とノイズ強度間において有意な交互作用を認めた ( $p < 0.001$ )。刺激前の前後 RMS のノイズ強度比較では、偽刺激と -10dBW において有意差が認められた ( $\text{mean} \pm \text{SE}$  (mm);  $52.8 \pm 4.4$ ,  $61.4 \pm 5.5$ ,  $p = 0.008$ )。刺激後の左右 RMS では 0dBW が偽刺激と比較して有意に小さかった ( $6.1 \pm 0.5$ ,  $10.5 \pm 0.8$ ,  $p < 0.001$ )。刺激後の前後 RMS では 0dBW が偽刺激、-10dBW と比較して有意に小さかった ( $36.9 \pm 3.5$ ,  $53.5 \pm 4.6$ ,  $45.7 \pm 4.0$ ,  $p < 0.005$ ) (図 3)。

### (3) 研究 3

前後、左右方向の総軌跡長では、刺激強度の有意な差が認められた (それぞれ  $p < 0.05$ )。一方、RMS に関しては前後、左右方向に差は認めなかった。前後方向の総軌跡長の事後検定において、90% の刺激強度で重心動揺が有意に小さかった。

### (4) 研究 4

前後、左右方向の総軌跡長において、刺激強度に有意な差が認められた (それぞれ  $p < 0.01$ )。しかし、RMS では差が認められなかつ

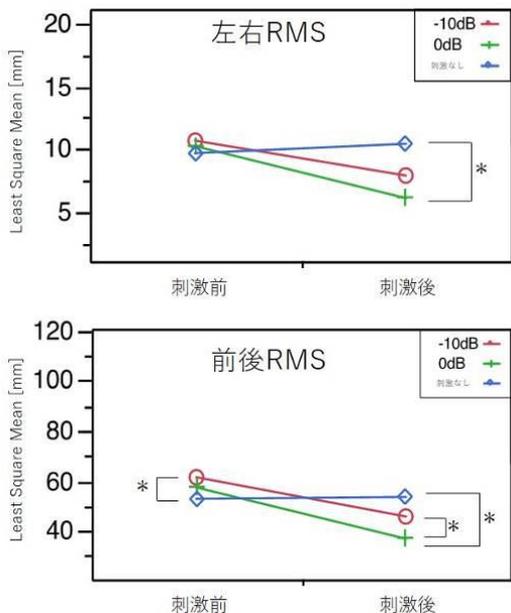


図3. 刺激前後における前後、左右 RMS の比較

た。前後方向の総軌跡長では、ホワイトノイズの70%強度の条件で30%、90%強度の条件と比較して有意に小さい値を示した。ピンクノイズの70%条件で90%条件と比較して有意に小さい値であった。左右方向の総軌跡長では、ホワイトノイズ、ピンクノイズとも70%条件で90%条件よりも有意に小さい値を示した。

#### (5) 研究5

総軌跡長、平均動揺速度、外周面積のいずれにおいても測定時期に有意差がみられた。

総軌跡長ならびに平均動揺速度では、閉眼立位条件ならびに閉眼+n-GVS条件において、刺激介入後の値が基準時、偽刺激介入後と比較して有意に小さい値を示した。

外周面積では、閉眼+n-GVS条件において、刺激介入後の値が偽刺激介入後と比較して有意に小さい値を示した。

以上の結果から、前庭電気刺激の効果を検討するためには視覚の影響を除去する必要があることが示唆された。静止立位バランス改善のための最適なノイズは、ノイズ強度が強い(0dBW)ホワイトノイズを用い、刺激感覚閾値の70%の刺激強度を用いることがよいと考えられる。また、脳卒中患者に対するn-GVSによる治療効果は、介入している期間は効果がみられるものの、その持続性は少ないことが示唆された。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

- ① Aoki O, Otani Y, Morishita S, Domen K. The effects of various visual conditions on trunk control during ambulation in chronic post stroke patients. *Gait & Posture*, 査読有, 52,

301-307, 2017.

DOI: 10.1016/j.gaitpost.2016.12.018

[学会発表] (計3件)

- ① Aoki O, Otani Y. The relationship between vision and postural sway evoked by galvanic vestibular stimulation. 13th Asian confederation for physical therapy 2016 congress. 2016年10月7日-8日. Kuala Lumpur (Malaysia)
- ② 青木修、大谷啓尊、ノイズ前庭電気刺激のノイズ強度の違いによる立位重心動揺の抑制効果について、第52回日本理学療法士学会大会、2017年5月12日-14日、幕張メッセ(千葉県千葉市)
- ③ Aoki O, Otani Y. Effects of noisy vestibular galvanic stimulation on standing up motion balance in older adults. 2017 ISPGR world congress. 2017年6月25日-29日. Fort Lauderdale (USA)

#### 6. 研究組織

(1) 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