

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 7 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K01449

研究課題名(和文) 頸部振動刺激は姿勢を安定させるか？ウェアラブルなバランス能補助システムの開発

研究課題名(英文) Effect of auditory stimulation through bone-conduction on balance ability

研究代表者

阿部 匡樹 (Abe, Masaki)

北海道大学・教育学研究院・准教授

研究者番号：40392196

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、1)白色雑音による骨伝導聴覚刺激が、皮膚の触覚・圧感覚を改善させるか否か、2)上記で得られた振動刺激法が、立位時のバランス能を向上させるか否か、の2点を調べた。その結果、白色雑音による骨伝導聴覚刺激は皮膚への電気刺激に対する識別能を有意に向上させた。この結果は、安全かつ安価なウェアラブル感覚補助デバイスの開発に役立つと考えられる。一方で、立位時のバランス能改善に関しては有意な効果が認められなかった。バランス能の改善に関しては、より詳細な検討が必要と考えられる。

研究成果の概要(英文)：This study examined 1) effect of white-noise auditory stimulation through bone conduction on senses of touch and pressure for skin, and 2) effect of that stimulation on balance ability during quiet standing. The results showed that white-noise auditory stimulation thorough bone conduction significantly improved senses of touch and pressure for skin. It suggests that white-noise auditory stimulation thorough bone conduction can improve touch sense and can contribute to develop wearable devices for touch sense improvements. However, that stimulation did not show significant effects to improve the balance ability. More detailed examination should be needed for improving the balance ability by using that stimulation.

研究分野：運動制御

キーワード：触覚 姿勢制御

1. 研究開始当初の背景

超高齢化社会の到来を迎えた我が国においては、加齢に伴うクオリティ・オブ・ライフ (QOL) の低下を抑制することが非常に重要な課題となっている。この QOL の低下を引き起こす代表的な状況のひとつが「寝たきり」であり、転倒による骨折がその引き金となるケースが少なくない。したがって、転倒防止の対策は今後の日本において急務の課題と言える。

加齢に伴う転倒率増大の背景には身体動揺を感知する感覚機能の減退があり、転倒予防のためにはこれら感覚機能を代替もしくは補助するような仕組みをつくることが重要となる。その中で、近年試みられている方法の一つが、足裏への振動刺激である。これによって確率共振と呼ばれる現象が足裏の皮膚感覚能を増大し、結果としてバランス能の改善に有用であるという報告がなされている¹⁾。この結果に着想を得た中敷振動靴も販売されたが、決して安価ではない上に靴の種類も限られており、一般に普及したとは言い難い。普段履き慣れた靴のまま、より簡便に、かつより効果のある形で足裏の感度を高める方法が理想的といえる。

著者は、「聴覚野と自己受容野には連結があり、聴覚野を刺激することで自己受容感覚能が増大しうる」という最近の実験心理学・神経生理学分野での研究報告²⁾に基づき、「振動刺激を頸部に与えることで、骨伝導を通じて聴覚野と自己受容野両方を同時に刺激し、より効率的に足裏の感覚能を改善する」という着想を得た。この刺激法が触覚・圧感覚の改善、ならびにバランス能の改善に有意な効果をもたらすならば、着用可能 (ウェアラブル) で安全かつ安価なバランス能補助システムの構築が可能となる

2. 研究の目的

上述の背景に基づき、本研究では「骨伝導聴覚刺激による感覚能・バランス能の改善」を目的とし、この実現のため、研究期間内に以下の2点を目標とした。

頸部付近への白色雑音による骨伝導振動刺激が、皮膚の触覚・圧感覚を改善させるか否かを明らかにする

上記で得られた振動刺激法が、立位時のバランス能を向上させるか否かを明らかにする

に関しては、白色雑音刺激と骨伝導刺激による効果を確認することで、より効率的かつ安全に触覚・圧感覚を向上させる手法の開発を目指す。では、この方法で得られた触覚・圧感覚の向上が、どの程度立位バランス能の向上に貢献しうるか否かを検証する。

3. 研究の方法

以下に、2つの実験に関してその方法を説明する。なお、いずれの実験内容に関しても北海道大学教育学研究院倫理委員会の承認を受け、参加者に同意を得た後に実験を実施している。

(1) 聴覚刺激による自己受容感覚の修飾



図1 骨伝導ヘッドフォンの装着例
(allseasonscyclist.com より)

運動・感覚機能に障害のない健常成人5名が実験に参加した。参加者は、骨伝導ヘッドフォン (図1) を装着し、左手中指への電気刺激に対する閾値分別課題を行った。

骨伝導ヘッドフォンは、振動部を頸骨に設置し、その振動によって音を伝える仕組みとなっている。耳を塞がないため、周囲の音から遮断されることはない。本研究では、解析プログラミングソフトウェア Matlab (MathWorks 社) で白色雑音 (サンプリング 48000Hz, 1000ms) を作成し、それを音刺激として用いた。音量に関してはそのままでは同定が困難なため、参加者前方約 50cm 前にあるスピーカーから流れる音量との比較を行ったところ、体感的には 48-54dB の範囲であった。

電気刺激は、リング型指電極を介して、電気刺激装置 (Digitizer 社製 DS4) により適

用された。刺激は0.5ms幅の矩形波電流（正負両方向、刺激周波数2000Hz）で、適用時間は200msとした。本実験前に、電気刺激に対する各参加者の感覚閾値（10回刺激を適用した際に4-6回は認識できる強度）を確認し、それを本実験の最初のブロックの刺激強度とした。電気刺激の2000Hzという周波数は、皮膚の触覚・圧感覚に関連するA 繊維を刺激するために選択された。

本実験では、2つの音刺激条件（音あり、なし）と2つの電気刺激条件（刺激あり、なし）を組み合わせ、計4つの刺激適用条件を設定した。音刺激あり-電気刺激あり条件の場合、音刺激（1000ms）の開始300ms以降に電気刺激が適用された。試技開始合図後から刺激適用までの時間は2-4秒の間でランダムに設定された。参加者は、試技開始合図後から約5秒後に電気刺激があったか否かを口頭で回答し、実験者はその回答を逐次コンピュータに入力した。

4条件を各10試技で1ブロックとし、計4ブロック（40回×4ブロック=160回）の試技が課された。ブロック間は3分程度の休憩を与え、その間に再度電気刺激に対する感覚閾値を確認し、必要に応じて刺激強度を調整した。刺激強度は、平均で 1.12 ± 0.44 mAであった（ \pm SD）。なお、試技順はブロック毎、参加者毎にランダムに設定した。

参加者毎に電気刺激に対するヒット率（刺激がある条件で「ある」と判断した率）および誤警報率（電気刺激がない条件で「ある」と判断した率）を算出し、その値を用いて信号検出理論のd'値、c値を計算した。これらの値は、それぞれ検出力、反応バイアスの指標となる。

（2）聴覚刺激によるバランス制御能の修飾

運動・感覚機能に障害のない健常成人10名が実験に参加した。実験参加者は、足圧中心位置を計測可能なフォースプレート（AMTI社製）上で、60秒間の静止立位維持課題を行った。音刺激条件は白色雑音、無音の2条件で、各条件を2つの視覚条件（開眼・閉眼）で行った（2×2=計4条件）。試技順は参加者毎にランダムに設定された。音刺激は（1）の実験と同様にMatlab（MathWorks社）により48000Hzで作成・制御され、先述の骨伝導ヘッドフォン（図1）により顎骨を介して適用された。

課題中の足圧中心位置はA/D変換器を介してコンピュータのハードディスクに1000Hzで

記録された。解析では20Hzのローパスフィルタで高周波数域のノイズを除去後、位置データ（COP）の標準偏差、および位置の微分データ（dCOP）の標準偏差が算出された。標準偏差は前後・左右方向別に計算された。微分データは、位置データ以上に加齢や運動・感覚機能障害の影響を反映することが報告されている⁴⁾ため、本解析においても採用された。

（1）（2）両実験において、各条件の影響を反復測定分散分析もしくは対応のあるスチューデントt検定により検討した。有意水準は $p = 0.05$ とした。

4. 研究成果

（1）聴覚刺激による自己受容感覚の修飾

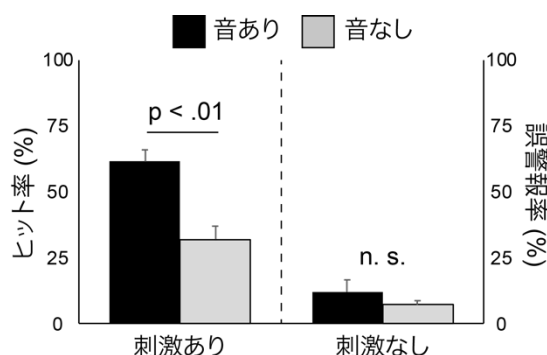


図2 電気刺激に対するヒット率（左）と誤警報率（右）の結果。エラーバーは標準誤差。

電気刺激に対する検出力は、音刺激の適用時に増大する傾向にあった（図2）。「電気刺激があった」とする回答率（ヒット率&誤警報率）に関する反復測定分散分析は、有意な交互作用を示した（ $p < 0.05$ ）。事後検定の結果、ヒット率に関しては音あり条件時に有意に検出率が大きい（ $p < 0.01$ ）一方、誤警報率に関しては有意差がみられなかった。検出力の指標であるd'に関しては音あり、なし条件間で統計的有意差は示されなかったが、全ての参加者において音あり条件時の値が音なし条件時の値よりも大きかった。反応バイアスの指標であるcに関しては、音刺激条件間で有意差は示されなかった。

これらの結果は、白色雑音の呈示が電気刺激の検出力を向上させること、またその向上が音呈示によるバイアスによるものではないことを示している。本研究で適用した2000Hzの電流刺激は皮膚の触覚・圧感覚に関連しており、白色雑音によりこの感覚の精度が向上したと考えられる。

先行研究では刺激音が単一周波数で適用されており、指を刺激する振動周波数と一致しない場合は検出力が減少することが報告されている²⁾。本研究では圧感覚に関連する周波数の電気刺激を適用したが、確率共振によってあらゆる周波数に対応可能な白色雑音の適用が有効であれば、個人差に依らず様々な周波数特性の感覚情報検出力を向上させることが可能となるかもしれない。かつ、このことが骨伝導による音刺激で実現できるという結果は、制約の小さいウェアラブルな感覚向上デバイスの開発に有益な情報をもたらすものと考えられる。

(2) 聴覚刺激によるバランス制御能の修飾

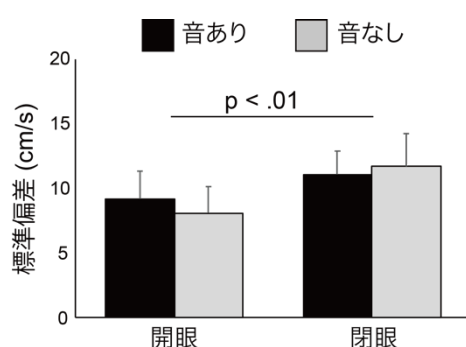


図3 dCOP (前後方向)の標準偏差の結果。エラーバーは標準偏差。

立位課題中の身体動揺量に関して、視覚条件の影響は微分データにおいて有意差が示され、閉眼条件において有意に値が増大した ($p < 0.01$, 図3)。この結果は多くの先行研究と一致する⁴⁾。一方、音刺激条件に関しては、前後・左右方向ともに有意な影響が認められなかった。位置データに関しては視覚条件の影響は認められず、音刺激の有意な主効果が認められたが、この効果はむしろ標準偏差を有意に増大させた ($p < 0.05$)。この結果は、少なくとも本実験設定での骨伝導音刺激は、姿勢バランスの改善には有意な効果をもたらさなかったことを示唆する。

(1)の実験では、白色雑音の適用が自己受容感覚の感度向上に有益であることが示された。このことは足裏の圧感覚等にも影響を与えられ、バランス能を向上させる可能性がある。実際、最近の先行研究においては、通常のヘッドフォンによる白色雑音の適用が、姿勢バランス能を改善したという報告もみられる³⁾。

本研究でそのような結果が得られなかった理由は現在のところ不明であるが、立位の課

題条件や音刺激呈示の詳細条件、参加者の年齢層によって異なる効果が得られることは十分考えられる。骨伝導を介しての白色雑音適用は、様々な感覚を向上させるウェアラブルな補助デバイスの土台として大きな可能性を有するが、バランス能改善への適用に関しては、今後複数の条件を統合的かつ詳細に検討していく必要があると考えられる。

<引用文献>

- 1) Priplata A, et al. *Lancet*, 362, 1123-24, 2003.
- 2) Ro T, et al. *Exp Brain Res*, 195, 135-143, 2009.
- 3) Ross JM, et al. *Exp Brain Res*, 233, 2357-2363, 2015.
- 4) Yu et al. *Arch Phys Med Rehabil*, 89, 1133-1139, 2008.

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2件)

Vette AH, Sayenko DG, Jones M, Abe MO, Nakazawa K, Masani K. Ankle muscle co-contractions during quiet standing are associated with decreased postural steadiness in the elderly. *Gait & Posture*, 55, 31-36, 2017. (査読有)

Hasson CJ, Zhang Z, Abe MO, Sternad D. Neuromotor noise is malleable by amplifying perceived errors. *PLoS Computational Biology*, 12, e1005044, 1-28, 2016. (査読有)

[図書](計1件)

1. 宮崎真, 阿部匡樹, 山田祐樹ほか編著. 日常と非日常から見るこころと脳の科学. コロナ社, 2017.

6. 研究組織

(1)研究代表者

阿部 匡樹 (ABE, Masaki)
北海道大学・教育学研究院・准教授
研究者番号: 40392196