

令和 6 年 5 月 28 日現在

機関番号：33707

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K11309

研究課題名（和文）確率共鳴による感覚機能およびバランス能力の改善に向けた基礎的研究

研究課題名（英文）Fundamental Study on the Improvement of Sensory Function and Balance Ability through Stochastic Resonance

研究代表者

千鳥 司浩（CHIDORI, KAZUHIRO）

中部学院大学・看護リハビリテーション学部・教授

研究者番号：80454297

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）：本研究では、体性感覚障害を呈する患者に対する新たな治療法として、確率共鳴（SR）を利用した感覚機能の向上を目指した。まず健康若年者を対象に振動刺激装置を足部に装着し、異なる部位と強度で刺激を加え、感覚モダリティごとの閾値を測定した。その結果、触圧覚は0.6T、振動覚は0.8Tの条件で有意な閾値低下を示した。次に地域在住高齢者に対して最適な刺激条件でSR刺激を適用し、感覚機能およびバランス能力への影響を評価したところ、感覚機能と静的バランス能力が改善されたが、動的バランス能力には変化がなかった。これによりSR刺激が感覚機能の改善に有効であることが確認され、新たな治療法としての可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

さまざまな疾病により感覚障害を呈する症例は多く存在するが、現在の医療では感覚機能を回復させる手段がない状況にある。そこで今回の研究成果より、適切な刺激条件による確率共鳴刺激を用いることで体性感覚機能を向上させ得ることが明らかとなった。この結果は、神経障害で感覚機能が低下している多くの患者にとって価値の高いものである。同時に、リハビリテーションにおいて身体機能を改善するためには、患者側のモチベーションや努力を多分に必要とすることが多いが、患者側の努力と直接関係のない外部からの刺激提示によって感覚機能の向上が得られるため、今後の治療介入において非常に有益なものとなる。

研究成果の概要（英文）：This study explored enhancing sensory function using stochastic resonance (SR) as a treatment for somatosensory disorders. It aimed to find optimal SR stimulation conditions in healthy young adults and apply these findings to elderly individuals with reduced sensory function to evaluate improvement methods. Healthy young adults had vibration devices attached to their feet, measuring sensory thresholds under various conditions. The 0.6T condition improved pressure sensation and joint position sense, while the 0.8T condition enhanced vibration sense. These conditions were then applied to elderly individuals, resulting in improved pressure sensation, vibration sense, joint position sense, and static balance ability, though dynamic balance ability showed no change. These findings suggest SR stimulation could be an effective treatment for sensory impairments in the elderly.

研究分野：リハビリテーション科学

キーワード：足底 体性感覚 バランス 確率共鳴 振動刺激 ホワイトノイズ リハビリテーション 高齢者

1. 研究開始当初の背景

さまざまな疾病により体性感覚障害(以下,感覚障害)を呈する症例は多く存在するが,リハビリテーション領域において感覚障害に対する有効な治療法は存在していない.近年,複雑系科学で取り扱われている確率共鳴(以下,SR)を引き起こす機器を身体に装着することで,感覚機能が向上する可能性が示唆されている.リハビリテーションにおいて身体機能を改善するためには,患者側のモチベーションや努力を多分に必要としているが,患者側の努力と直接関係のない外部からの刺激提示によって感覚機能の向上が得られれば,今後の治療介入において非常に有益なものとなる.

そのため,このSR現象をリハビリテーション領域に適用していくことで,今まで介入することが困難であった感覚障害の改善に導く可能性が期待できることが示唆される.

2. 研究の目的

本研究では健常若年者に対し効率良くSRを起こすための刺激条件(部位・強度)を明らかにし,その結果を踏まえ感覚機能の低下した地域在住高齢者に対する適用を進め,有効な感覚障害の改善方法を検討し,その効果について検証する.

3. 研究の方法

(1) 効率の良いSR刺激を検討するための実験では,健常若年者26名(男性14名,女性12名,年齢 20.1 ± 1.0 歳)を対象とした.本研究は,中部学院大学研究倫理審査委員会の承認を受けて実施した(承認番号:C19-0002).

足部に対する振動刺激装置には,直径27mmの振動アクチュエーター(ADTEDM, Bit Trade One社製)を用い,利き足側の足部を取り囲むように4つのアクチュエーターを装着した.SR刺激部位は, :1個のアクチュエーターによる足根管刺激, :2個のアクチュエーターを用いた前後刺激(+), :4個のアクチュエーターを用いた全周刺激(~)の3条件に刺激なし条件を加えた全4条件とした.振動刺激は,Kuritaら(2011)の方法に準じ,MATLABを用いて300Hzのローパスフィルターをかけたホワイトノイズを用いた.実験に先立ち,個人に合わせた適切なSR刺激強度を選定するために各対象者が知覚できる最小の振動強度(振動感覚閾値)を刺激部位ごとに測定した.振動感覚閾値の測定には上下法を用い,上昇系列ならびに下降系列をそれぞれ2回ずつ実施し,得られた4回の平均値を個人ごとの振動感覚閾値(1T)とした.実験に用いた振動強度は,1Tに対する60%強度(0.6T),80%強度(0.8T)の振動強度の2条件に設定した.刺激条件は刺激なし条件に加え,刺激部位条件(足根管部,前後,全周)と刺激強度条件(0.6T,0.8T)を組み合わせた計7条件とした.刺激条件の違いによる感覚モダリティごとの知覚閾値の計測は,(1)触圧覚(SWM),(2)2点識別覚,(3)振動覚(振動覚感覚計),(4)関節位置覚について行い,対象者は振動感覚閾値の測定時と同様に視覚と聴覚を遮断した状態で計測を行った.

試行順序はランダムにて同一の評価者が測定を実施した.いずれの振動強度においても知覚閾値下の振動強度であるため,刺激の有無については単盲検化して実験を行った.また,実験中の測定結果に対する結果の知識のフィードバックは付与しなかった.

統計手法については,Shapiro-Wilk検定による正規性の検定結果に基づき選択した.触圧覚のデータは,対応のあるWilcoxon検定(Holmの修正),その他の測定項目についてはShaffer法による多重比較検定を用い,刺激なし条件に対する有意差について検討した.また効果量(effect size)の指標として(r)を用い,多重比較検定では t 値と自由度を用いて,Wilcoxon検定では検定統計量を Z に変換して算出した.統計解析にはR4.1.2(CRAN)を用い,すべての有意水準は5%とした.

(2) 次に,これまでの健常若年者を対象とした基礎的データに基づき,SR効果の生じやすい刺激条件であった刺激強度0.6Tでの足根管部への刺激に限定し,地域在住高齢者33名(男性12名,女性21名,年齢 76.8 ± 5.1 歳)を対象者としてSR効果について検証を行った.SR効果の評価項目および方法は,健常若年者と同様の体性感覚機能(触圧覚,2点識別覚,振動覚,関節位置覚)への影響に加えて,静的・動的バランス能力への影響について検証を行った.SR刺激の有無によるバランス能力の評価は重心動揺計を用い,開眼閉脚立位および閉眼閉脚立位姿勢にて30秒間の重心動揺量の計測を行った.さらに動的バランスの評価としてクロステストを行い,動的バランス能力への影響を検証した.クロステストの方法は,福山ら(2010)の測定方法に準じ,重心動揺計上にて開眼にて50cm開脚位で起立させ,1m前方の目標点を注視したまま,踵を浮かせたり体幹を屈曲,側屈させたりすることなく,身体の重心を前・後・左・右の順で移動させた.各方向への重心移動は3秒間の安静立位の後,検者の数える1から6の号令にあわせ,3で最大,6で元に戻るよう指示し,全体で30秒間の試行とした.また測定前には数回の練習を行った.なお,SR刺激の有無における計測順序についてはランダムとし,重心動揺の計測中は転倒の可能性を考慮し,必ず理学療法士が近位にて見守りながら計測を行っ

た。また計測中に気分不良などの問題が生じた場合は速やかに実験を中止し、適切な対応ができよう配慮しながら行った。

統計手法については、Shapiro-Wilk 検定による正規性の検定結果に基づき選択した。触圧覚、二点識別覚のデータは、Wilcoxon 検定 (Holm の修正)、その他の測定項目については対応のある t 検定を用い、刺激なし条件に対する有意差について検討した。また効果量 (effect size) の指標として (r) を用い、多重比較検定では t 値と自由度を用いて、Wilcoxon 検定では検定統計量を Z に変換して算出した。統計解析には R4.1.2 (CRAN) を用い、すべての有意水準は 5% とした。

4. 研究成果

(1) 健常若年者における測定：刺激なし条件に対する刺激強度および刺激部位を変化させた際の各感覚モダリティにおける閾値の変化について検討した。触圧覚では、母趾においては 0.6T 条件での足根管部刺激のみで有意な触覚閾値の低下を認めたと、踵においては刺激なし条件に対する有意差は認められなかった (図 1)。二点識別覚においては母趾、踵ともに刺激なし条件に対する有意差は認められなかった。振動覚については、母趾においてのみ 0.8T 条件での足根管部刺激、前後刺激、全周刺激にて有意な振動覚閾値の低下を認めたと (図 2)。関節位置覚においては 0.6T 条件での足根管部刺激のみで誤認角度の有意な減少を認めたと (図 3)。有意差を認めた全ての条件において、effect size は大と判定された。

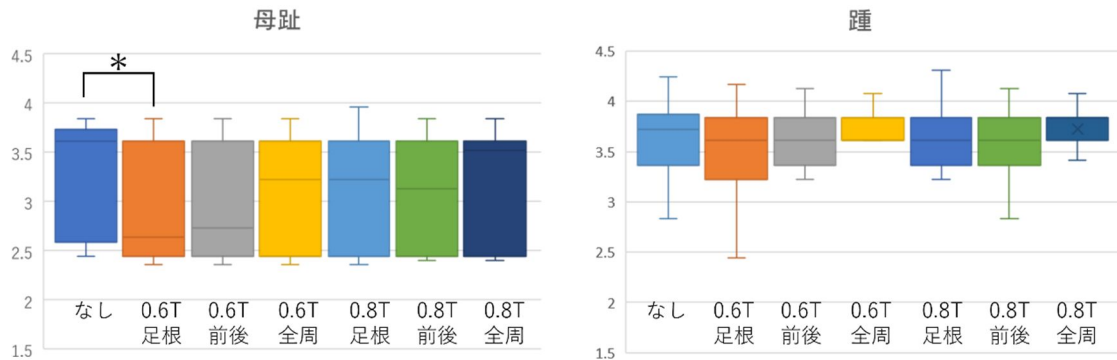


図 1 触圧覚閾値の比較 (母趾と踵)

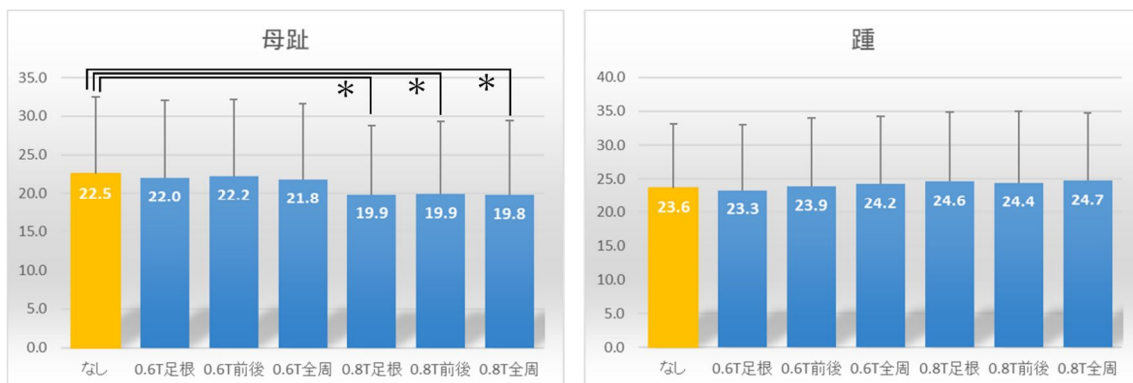


図 2 振動覚閾値の比較 (母趾と踵)

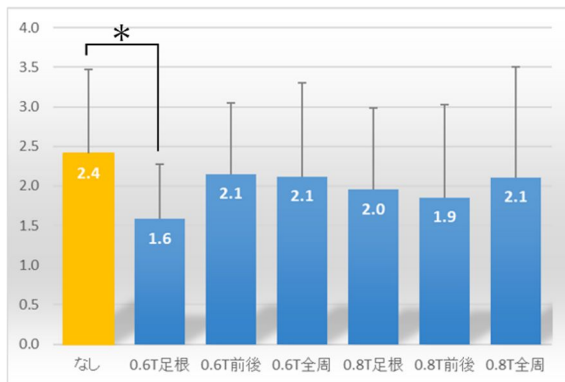


図3 関節覚閾値の比較

本研究では、閾値以下の振動 SR 刺激を適用し、足底部の触圧覚、二点識別覚、振動覚および足関節の関節位置覚の感度が向上する刺激条件(強度・部位)を検討した。結果として、二点識別覚以外の体性感覚機能が向上することが確認された。しかし、体性感覚の種類によって効果に差があり、これは感覚受容器のタイプによる可能性が示唆された。特に、母趾の触圧覚と関節位置覚は足根管部の 0.6T 刺激のみで有意な感度向上が見られたが、部位や強度が変わると効果が減少した。このことから、確率共鳴効果を引き起こすには適切な刺激部位と強度が必要であることが明らかになった。また、振動覚においては複数同時刺激でも効果が見られ、触圧覚や関節位置覚とは異なる神経回路が関与している可能性が考えられた。従来の研究では、主に触圧覚に焦点を当てて SR の効果について研究がなされてきたが、本研究では関節位置覚にも SR の効果が及ぶことを示すことができ、新たな知見を提供したといえる。最適な刺激強度は、触圧覚と関節位置覚では 0.6T、振動覚では 0.8T であることが判明し、感覚モダリティによって異なる最適強度が必要であることが明らかとなった。

(2) 地域在住高齢者における測定：SR 刺激なし条件と SR 刺激条件との比較を行った。二点識別覚を除く全ての体性感覚機能(母趾、踵)で SR 刺激なし条件と比較して SR 刺激あり条件で有意な感度の向上が確認できた。有意な感度の向上を認めた感覚モダリティにおいて、踵における触圧覚については effect size が中と判定され、それ以外の感覚モダリティについては全て大と判定された。また静的バランス能力においても SR 刺激の付与により身体動揺量(外周面積、総軌跡長など)の有意な減少が認められたものの、クロステストを用いた動的バランスにおいては有意な変化は認められないことが明らかとなった。

健常若年者よりも足底感覚が低下している高齢者に対し、刺激強度 0.6T で足根管部に SR 刺激を付与することにより、二点識別覚以外の体性感覚(触圧覚、振動覚、関節覚)の感度の向上が確認でき、その効果は、健常若年者のように母趾のみではなく踵部においても効果が及ぶことが明らかになった。このことより足底の感覚機能が低下している者ほど、SR 刺激の恩恵を受ける可能性が示唆された。また静的立位バランスにおいても SR 刺激中において重心動揺量が減少することが明らかとなった。一方で、動的な重心移動距離については SR 刺激による有意な変化が認められなかった。SR 刺激により足底部の表在および深部感覚の感度向上が得られたにも関わらず、動的な重心移動能力が改善しなかった理由は、動的な重心移動能力が筋力などの体性感覚機能以外の要素に大きく寄与していることが示唆された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 CHIDORI Kazuhiro, MIKAMI Akichika, SUGANUMA Junichi	4. 巻 39
2. 論文標題 The Effects of Remote Stochastic Resonance Stimulation on the Somatosensory Functions of the Foot	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Rigakuryoho Kagaku	6. 最初と最後の頁 79 ~ 85
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1589/rika.39.79	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 -

〔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	三上 章允 (akichika mkami) (40027503)	中部学院大学・看護リハビリテーション学部・教授 (33707)	

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