

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 5 月 25 日現在

機関番号：37102

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2022

課題番号：21K17613

研究課題名(和文) ストレッチングと電気刺激を組み合わせた身体コンディショニング

研究課題名(英文) Physical conditioning combined with stretching and electrical stimulation

研究代表者

齋藤 輝 (Saito, Akira)

九州産業大学・健康・スポーツ科学センター・助教

研究者番号：90758591

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、末梢神経への電気刺激と静的ストレッチングの組み合わせが足関節の柔軟性に及ぼす影響を明らかにすることであった。末梢神経への電気刺激を用いて相反抑制の強さを操作する実験を行い、次に、末梢神経への電気刺激と静的ストレッチングの組み合わせが足関節の柔軟性に与える影響を調べる実験を行った。

電気刺激とストレッチングの組み合わせの介入は、電気刺激の種類や有無に関わらず足関節の可動域を拡大させ、筋腱複合体を柔らかくさせた。相反抑制を増強するパターン刺激および脆弱する一定間隔刺激は、静的ストレッチングの痛み閾値の向上効果を高めた。以上から、末梢神経への電気刺激は知覚的な柔軟性を向上させた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

静的ストレッチングは人間の関節の柔軟性を向上させる。効果的に関節可動域を向上させるストレッチング法として固有受容性神経促通法(PNF)がスポーツ現場や医療機関で実践されている。PNF法の神経機序の1つに、相反抑制が静的ストレッチングの効果向上に関与することが示唆されている。

本研究は相反抑制の強さの操作が静的ストレッチングの効果に影響するか調べた。相反抑制の強さに関係なく、末梢神経への電気刺激がストレッチトレランス(痛みの閾値)を変化させることが明らかになった。つまり、電気刺激による感覚神経活動の増加がストレッチング効果を高める可能性があることがわかった。

研究成果の概要(英文)：The present study examined the effects of patterned electrical stimulation and static stretching on range of motion and passive torque in plantarflexion muscles. The effects of patterned electrical stimulation or uniform electrical stimulation to the common peroneal nerve on reciprocal Ia inhibition were examined. Then, the effects of transcutaneous electrical nerve stimulation and static 3-min stretching on maximal dorsiflexion angle and passive torque were investigated.

The maximal dorsiflexion angle and stiffness of muscle-tendon unit were significantly changed after static stretching. Increase of stretch tolerance was significantly greater after patterned electrical stimulation and uniform electrical stimulation than stretching without stimulation. Transcutaneous electrical nerve stimulation and static stretching improve stretch tolerance regardless of the degree of reciprocal Ia inhibition.

研究分野：神経科学

キーワード：固有受容性神経促通法 相反抑制 足関節 ホフマン反射 ストレッチトレランス スティフネス

1. 研究開始当初の背景

ストレッチングは関節の可動域を広げ、柔軟性を向上させる。関節の柔軟性はスポーツ競技者の身体運動パフォーマンスの決定因子になることに加え、スポーツ傷害の発生リスクも低下させる。そのため、身体の各関節の柔軟性を向上させるストレッチングに関する知見は、子どもから高齢者まで人間の健康や身体機能を維持・向上させるために重要である。

最も代表的なストレッチングは、静的ストレッチングである。静的ストレッチングは、関節可動域の限界付近で筋を伸ばし、数十秒間その姿勢を維持する。これを繰り返し行うことで、筋および腱の硬さが低下し、ストレッチングによる痛みを感知する閾値が高くなる。これらの変化に伴い、関節の柔軟性が向上する (Behm et al., 2016)。

従来の静的ストレッチングを発展させて、柔軟性を飛躍的に向上させる方法が提案されてきた。例えば、拮抗筋ストレッチング法は、ストレッチングの対象となる骨格筋に拮抗作用する骨格筋 (拮抗筋) を意図的に収縮させることで、関節可動域の限界でのストレッチングを実現させる (Sharman et al., 2006)。拮抗筋ストレッチング法により柔軟性が向上する神経機序の 1 つとして、相反抑制が柔軟性に関与することが示唆されている。相反抑制は、拮抗筋の Ia 求心性神経活動が介在神経を介して対象筋の脊髄興奮性を抑制する機序である。しかしながら、相反抑制の強さの変調が静的ストレッチングによる関節可動域の変化に与える影響は明らかにされていない。相反抑制が静的ストレッチング効果に与える影響を明らかにすることができれば、一過性や慢性的な柔軟性の向上効果をもたらすストレッチング法の改善に寄与する可能性がある。

末梢神経にパターン化された電気刺激を与えると相反抑制回路に神経可塑性が起こり、一定間隔で末梢神経を電気刺激すると相反抑制に影響しないことが示されている (Perez et al., 2003)。本研究はこのパターン化電気刺激を静的ストレッチングに応用して、相反抑制が一過性の柔軟性の変化に寄与するか調べた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、パターン化電気刺激と静的ストレッチングの組み合わせが足関節の柔軟性に及ぼす影響を明らかにすることであった。実験 1 で経皮的電気刺激がヒラメ筋の相反抑制に及ぼす影響を調べ、実験 2 で経皮的電気刺激と静的ストレッチングの組み合わせが足関節の柔軟性に及ぼす影響を調べた。

3. 研究の方法

(1) 対象者

本研究の対象者は、14 名の男性であった (20.8 ± 1.3 歳; 170.8 ± 6.3 cm; 62.6 ± 6.8 kg)。本研究は、九州産業大学のヒトを対象とする倫理委員会の承認を得て行われた。

(2) 実験手法

実験 1

対象者は経皮的電気刺激が相反抑制に及ぼす影響を調べる実験に 2 回参加し、それぞれ 48 時間以上の間隔を空けて別日に実施された。本研究では相反抑制を変調させるために、2 種類の経皮的電気刺激を使用した。1 つは総腓骨神経に 1.5 秒ごとに 100Hz で 10 連発の電気刺激を与えるパターン化刺激であり、もう 1 つは 150 ミリ秒ごとに電気刺激を与える一定間隔刺激である (Perez et al., 2003)。これら 2 種類の電気刺激の介入時間は 20 分であり、刺激強度は前脛骨筋の運動閾値に設定した (Fujiwara et al., 2011)。

相反抑制の強さは経皮的電気刺激の介入の前後で計測された。相反抑制は総腓骨神経への条件刺激に対するヒラメ筋のホフマン反射 (H 反射) の変調で評価された (図 1AB)。条件刺激が H 反射に及ぼす影響を調べるため、H 反射の試験刺激はすべての対象者で最大 M 波の 20% に調整した (Crone et al., 1987)。総腓骨神経への条件刺激の強度は、前脛骨筋の運動閾値とした。条件刺激と試験刺激の間隔は、0 から 5 ミリ秒の範囲で 1 ミリ秒ごとに調整し、最も H 反射が変調する刺激間隔を同定した。刺激間隔はパターン化刺激で 1.5 ± 1.0 ミリ秒であり、一定間隔刺激で 1.5 ± 0.9 ミリ秒であった。ヒラメ筋の H 反射は 10 秒間隔で誘発され、5 回の平均値を分析に用いた。

実験 2

対象者は実験に 3 回参加し、それぞれ 48 時間以上の間隔を空けて別日に実施された。本研究では、経皮的電気刺激と静的ストレッチングが足関節の柔軟性に及ぼす影響を調べるため、3 種類の介入を行った。1 つ目はパターン化刺激と静的ストレッチングの介入であり、2 つ目は一定間隔刺激と静的ストレッチングの介入であり、3 つ目は経皮的電気刺激のない静的ストレッチングのみの介入である。電気刺激のない条件を対照群とした。パターン化刺激と一定間隔刺激の方法は実験 1 と同様であった。

経皮的電気刺激と静的ストレッチングの介入が足関節の柔軟性に及ぼす影響を調べるため、

足関節を受動的に回転させる計測を行った。受動的な背屈は毎秒1度の速度で行い、最大背屈角度まで足関節を回転させた。最大背屈角度は対象者が下腿三頭筋の伸張に対して不快に感じた時点とした。足関節の回転中に受動トルクを計測した。受動トルクの最大値をストレッチトレランス（痛みの閾値）とし、受動トルクの傾きを筋腱複合体の硬さとした (Kay et al., 2015; Ryan et al., 2008)。

静的ストレッチングは、20分間の経皮的電気刺激あるいは安静の後に行った。パターン化刺激が相反抑制に及ぼす影響は少なくとも10分間継続する (Perez et al., 2003)。そのため、静的ストレッチングは10分以内に完了するプロトコールとした。ストレッチングの介入は1分間のストレッチングを休息なしで3回行った。ストレッチング強度は、足関節の最大背屈角度を決めるプロトコールと同様の方法で決めた。

(3) 表面筋電図

表面筋電図はヒラメ筋、内側腓腹筋、外側腓腹筋、前脛骨筋から計測した。表面電極は受動電極であり、電極間距離20mmで各筋から計測した。筋電図信号はトルクデータと同期して記録し、4kHzでパーソナルコンピューターに記録した。足関節の柔軟性の評価中に各筋の筋電図振幅値を算出し、各筋の筋電図振幅値が変化していないことを確認した。

4. 研究成果

ヒラメ筋のH反射の相反抑制は、パターン化刺激後に有意に強くなった ($p=0.001$) が、一定間隔刺激後に有意に弱くなった ($p=0.016$) (図1CD)。パターン化刺激前に相反抑制はヒラメ筋のH反射を9.7%抑制させ、パターン化刺激後にヒラメ筋のH反射の抑制は19.5%になった。一定間隔刺激前に相反抑制はヒラメ筋のH反射を12.4%抑制させ、一定間隔刺激後にヒラメ筋のH反射の抑制は1.7%になった。

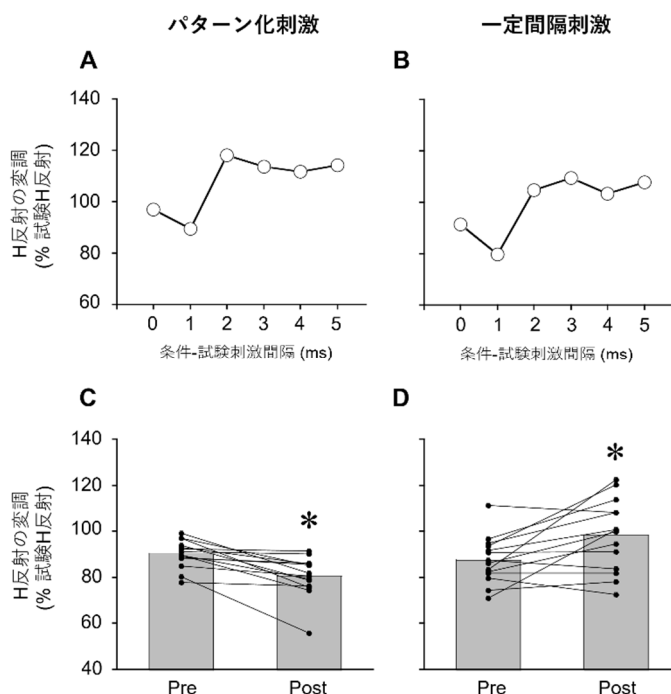


図1. 相反抑制の計測の典型例 (A, B) と相反抑制の強さの変調 (C, D)。

AB: 条件刺激がヒラメ筋のH反射に与える影響。この例では相反抑制の評価には、条件-試験刺激間隔1ミリ秒に設定した。CD: 経皮的電気刺激がヒラメ筋のH反射の相反抑制に及ぼす影響。各プロットは各対象者のデータを示す。

最大背屈角度はパターン化刺激後 ($p=0.001$)、一定間隔刺激後 ($p=0.001$)、電気刺激のない静的ストレッチング後 ($p=0.026$) に有意に増加した (図2A)。最大背屈角度の増加に有意な群間差は認められなかった ($p=0.071$) (図2B)。

受動トルクの最大値は、パターン化刺激後 ($p=0.004$)、一定間隔刺激後 ($p=0.030$) に有意に増大したが、電気刺激のない対照群では変化しなかった ($p=0.875$) (図2C)。受動トルクの最大値の増加率に有意な群間差が認められ ($p=0.030$)、パターン化刺激 ($p=0.027$) と一定間隔刺激 ($p=0.033$) の介入による受動トルクの増加率は、対照群より有意に大きかった (図2D)。

受動トルクの傾きは、パターン化刺激後 ($p=0.002$)、一定間隔刺激後 ($p=0.001$)、電気刺激のない静的ストレッチング後 ($p=0.001$) に有意に減少した (図2E)。受動トルクの傾きの減少率に有意な群間差が認められなかった ($p=0.395$) (図2F)。

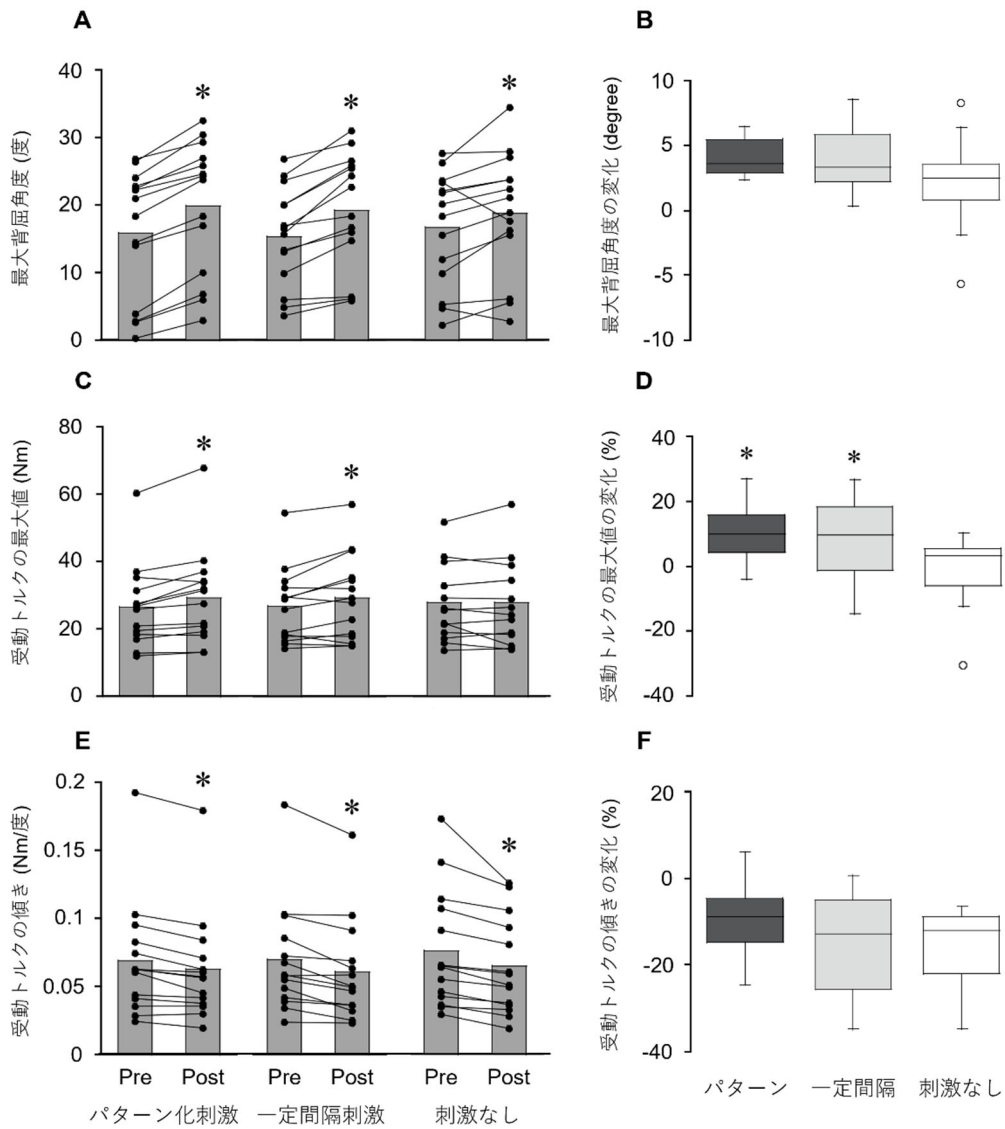


図2. 経皮的電気刺激と静的ストレッチングの介入が最大背屈角度 (A,B)、受動トルクの最大値 (C,D)、受動トルクの傾き (E,F) に与える影響。

本研究では、経皮的電気刺激と静的ストレッチングの介入が足関節の柔軟性に及ぼす影響を調べた。経皮的電気刺激と静的ストレッチングは、ストレッチトレランス（痛みの閾値）を向上させることが明らかになった。これは経皮的電気刺激の種類（パターン化刺激や一定間隔刺激）に左右されなかったことから、末梢神経への電気刺激による求心性入力の中樞神経系における知覚的な柔軟性を向上させたことを示唆している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Akira Saito, Takamasa Mizuno
2. 発表標題 Effects of transcutaneous electrical nerve stimulation and static stretching on ankle joint flexibility
3. 学会等名 American College of Sports Medicine (国際学会)
4. 発表年 2023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
---------------------------	-----------------------	----

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