

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 16 日現在

機関番号：32519

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K16425

研究課題名(和文)筋ステイフネスに対する超音波と電気刺激およびストレッチングの複合効果に関する研究

研究課題名(英文)The study on combined effects of ultrasound, electrical stimulation and stretching on muscle stiffness

研究代表者

森下 勝行(Morishita, Katsuyuki)

城西国際大学・福祉総合学部・助教

研究者番号：50768611

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、拘縮を効果的に改善するリハビリテーションの開発を目的とし、筋ステイフネスに対する超音波刺激と電気刺激およびストレッチングの複合治療の効果と至適な併用方法を検証した。結果、筋ステイフネスの低下には、ストレッチング施行中に超音波刺激と電気刺激のコンビネーション刺激を併用することが最も効果的であった。本研究により、筋ステイフネスに対する超音波刺激と電気刺激およびストレッチングの複合治療の効果と至適な併用方法が確認され、より効果的な拘縮治療およびリハビリテーションに繋がる新しい知見が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

筋ステイフネスの低下には、ストレッチングの単独施行に比べ、ストレッチングと超音波刺激の同時施行、またはストレッチングと超音波・電気刺激のコンビネーション刺激の同時施行が有効であることを明らかにした。特に、ストレッチングとコンビネーション刺激の同時施行が効果的であった。本研究により、拘縮に対する新しいアプローチ法の提案を可能とし、今後の拘縮治療およびリハビリテーションの臨床応用に繋げる基礎的研究の知見が得られた。

研究成果の概要(英文)：This study aimed to develop the rehabilitation for effectively improving contracture, and examined the effects of optimal combination treatment of ultrasound, electrical stimulation and stretching on muscle stiffness. As the result, combined use of ultrasound and electrical stimulation during stretching was the most effective in decreasing muscle stiffness. This study confirmed the combined effects and the optimal combination methods of those treatments on muscle stiffness, and provided new knowledge that leads to more effective rehabilitation in treating contracture.

研究分野：リハビリテーション科学

キーワード：超音波 電気刺激 コンビネーション刺激 ストレッチング 拘縮 関節可動域制限 筋硬度 ステイフネス

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

リハビリテーションにおいて、拘縮を呈する患者は、痛みの併発や基本的動作の制限、日常生活活動の狭小化、変形によるコスメティックな問題、長期化する治療による経済的負担、精神・心理面の負担など多くの問題が重複する。四肢の変形は本人のみならず、家族の生命・生活の質を低下させることや、看護・介護などにおける身体ケアの円滑な実践を困難とする。さらに、リハビリテーション領域では、理学療法士が治療に苦慮する対象障害の上位にあり(理学療法白書委員会, 1985-2014)、その発生頻度の高さや長期化する治療期間、治療自体の難しさから臨床上重要な問題とされている。このため、拘縮をより早期に改善できる効果的なリハビリテーションの開発が急務である。

拘縮は、不動・固定によって骨格筋の構成要素であるコラーゲン線維の配列異常と異常増殖、分子間架橋結合などの組織学的変化を引き起こし、骨格筋の伸張性を低下させる(沖田, 2008)。拘縮の責任病巣の中心は骨格筋であり(Trudel, 2000; 沖田, 2008)、効果的な拘縮治療を展開するためには骨格筋の伸張性を向上させることが必要である。動物実験の結果から、コラーゲン線維の組織学的変化の予防・改善には物理療法(超音波刺激)と運動療法(ストレッチング)、またはこれらの併用が有効とされている(Usuba, 2006; Okita, 2009)。ヒトにおいても、超音波刺激とストレッチングの併用により関節可動域(range of motion: ROM)が増大することが報告されている(Nakano, 2012)。しかしながら、ROMは痛みや伸張刺激に対する慣れなどの影響を受けるため、骨格筋の伸張性評価には不適切という報告がある(Weppler, 2010)。このため、ヒト骨格筋の伸張性増大に関する超音波刺激とストレッチングの併用効果は明らかではない。さらに、超音波刺激以外にもストレッチングに併用する最適な物理療法の治療手段は不明であり、拘縮治療における物理療法と運動療法の併用方法と効果を示す基礎的な科学的根拠が不足している。

上記の背景のもと、これまでの自験例の検索によって、物理療法における超音波刺激と電気刺激、運動療法のストレッチングには、ヒト健常者の筋硬度の低下や感覚閾値の上昇、ROMの増大など近似した効果があることを明らかにした。このため、効果的なリハビリテーションを開発するためには、これらの方法を単独で施行するよりも、全ての方法を併用した複合治療が骨格筋の伸張性やROM改善の効率性を向上させ、より効果的なリハビリテーションが可能になると考えた。

そこで本研究では、近年開発された骨格筋の弾性率が非侵襲的かつリアルタイムに測定できる超音波診断装置せん断波エラストグラフィ機能を用いた筋弾性率(筋硬度)と、他動運動時の関節周囲軟部組織の抵抗力が測定できる多用途筋機能評価運動装置による受動トルク(受動スティフネス)を評価に加え、“骨格筋の硬さ(筋スティフネス)”に対する効果を検証した。

2. 研究の目的

本研究の目的は、拘縮に対する効果的なリハビリテーションを開発するため、筋スティフネスを低下させる超音波刺激と電気刺激およびストレッチングの複合治療の効果と至適な併用方法を明らかにし、拘縮治療およびリハビリテーションの臨床応用に向けた基礎的資料を作成することである。

3. 研究の方法

(1) 超音波刺激とストレッチングの至適な併用方法と効果の検証

対象は、健常若年男性15名とした。施行条件は、1. 超音波刺激(5分間×2セット)、2. ストレッチング(5分間×2セット)、3. ストレッチング施行前に超音波刺激(超音波5分間・ストレッチング5分間)、4. ストレッチング施行中に超音波刺激(5分間×2セット)、5. ストレッチング施行後に超音波刺激(ストレッチング5分間・超音波5分間)の5条件を実施した。超音波刺激条件は、周波数1MHz、強度2W/cm²、照射時間率100%(連続照射)とし、ストローク法と回転法を併用しながら下腿三頭筋とアキレス腱の後面および側面を包括的に刺激した。ストレッチング条件は、多用途筋機能評価運動装置を用い痛みが発生しない最大の足関節背屈角度にて実施した。評価項目は、1. 超音波診断装置せん断波エラストグラフィ機能を用いた下腿三頭筋(腓腹筋内側頭)の筋硬度、2. 多用途筋機能評価運動装置を用いた足関節の受動スティフネス(受動トルクから算出)とした。統計解析は、各条件の施行前後の比較に対応のあるt検定、条件間の比較(変化率の比較)には反復測定による一元配置分散分析、事後検定にBonferroni法を用いた。有意水準は5%とした。

(2) 電気刺激とストレッチングの至適な併用方法と効果の検証

対象は、健常若年男性15名とした。施行条件は、1. 電気刺激(5分間×2セット)、2. ストレッチング(5分間×2セット)、3. ストレッチング施行前に電気刺激(電気刺激5分間・ストレッチング5分間)、4. ストレッチング施行中に電気刺激(5分間×2セット)、5. ストレッチング施行後に電気刺激(ストレッチング5分間・電気刺激5分間)の5条件を実施した。電気刺激条件は、高電圧パルス電気刺激を用い、周波数3Hz、強度は運動レベル(モーターポイントの刺激において、間欠的な筋収縮とともに軽度の関節運動が目視できる程度)、パルス幅80 μ sとし、ハンディプローブを用いて、超音波刺激方法と同様の方法(ストローク法と回転法の併用)にて下腿三頭筋とアキレス腱の後面および側面を包括的に刺激した。ストレッチング条件は、多用途

筋機能評価運動装置を用い痛みが発生しない最大の足関節背屈角度にて実施した。評価項目および統計解析は、(1)の方法と同様とした。

(3) 超音波刺激と電気刺激のコンビネーション刺激およびストレッチングの至適な併用方法と効果の検証

対象は、健常若年男性 15 名とした。施行条件は、1. 超音波刺激と電気刺激のコンビネーション刺激 (5 分間×2 セット)、2. ストレッチング (5 分間×2 セット)、3. ストレッチング施行前にコンビネーション刺激 (コンビネーション刺激 5 分間・ストレッチング 5 分間)、4. ストレッチング施行中にコンビネーション刺激 (5 分間×2 セット)、5. ストレッチング施行後にコンビネーション刺激 (ストレッチング 5 分間・コンビネーション刺激 5 分間) の 5 条件を実施した。コンビネーション刺激に用いた超音波刺激条件は、周波数 1MHz、強度 2W/cm²、照射時間率 100% (連続照射) とした。電気刺激条件は、高電圧パルス電気刺激を用い、周波数 3Hz、強度は運動レベル (モーターポイントの刺激において、間欠的な筋収縮とともに軽度の関節運動が目視できる程度)、パルス幅 80 μs とした。コンビネーション刺激の実施方法は、ストローク法と回転法を併用しながら下腿三頭筋とアキレス腱の後面および側面を包括的に刺激した。ストレッチング条件は、多用途筋機能評価運動装置を用い痛みが発生しない最大の足関節背屈角度にて実施した。評価項目および統計解析は、(1) と (2) の方法と同様とした。

(4) 超音波刺激と電気刺激のコンビネーション刺激およびストレッチングの複合治療の効果検証～超音波刺激とストレッチングの併用との比較～

(1) ～ (3) の結果を基に追加実験を実施した。対象は、健常若年男性 18 名とした。施行条件は、1. 超音波刺激と電気刺激のコンビネーション刺激およびストレッチングの同時施行 (5 分間×2 セット)、2. 超音波刺激とストレッチングの同時施行 (5 分間×2 セット) の 2 条件を実施した。コンビネーション刺激に用いた超音波刺激条件と電気刺激条件、ストレッチング条件、評価方法などは、(1) ～ (3) の方法と同様とした。測定は、施行直前・施行 5 分後・施行 10 分後に実施し、施行直前と 5 分後 ($\Delta T1$)・施行直前と 10 分後 ($\Delta T2$) の各々の変化率を算出し比較した。統計解析は、反復測定による二元配置分散分析、事後検定に Bonferroni 法を用いた。

4. 研究成果

(1) 超音波刺激とストレッチングの至適な併用方法と効果の検証

① 筋硬度

5 つの施行条件において施行前に比べ施行後で有意に低下した ($p < 0.01$)。条件間の比較では、超音波刺激とストレッチングの単独施行に比べ、ストレッチングと超音波刺激の同時施行が有意に低下した ($p < 0.05$)。ストレッチング施行前の超音波刺激の併用は、超音波刺激の単独施行に比べ有意に低下したが ($p < 0.01$)、ストレッチング単独施行との間には有意差は認められなかった。ストレッチング施行前・施行中の超音波刺激の併用は、ストレッチング施行後の超音波刺激の併用に比べ有意に低下した ($p < 0.01$)。超音波刺激とストレッチングの単独施行、ストレッチング施行後の超音波刺激の併用の間には有意差は認められなかった。

② 受動スティフネス

5 つの施行条件において施行前に比べ施行後で有意に低下した ($p < 0.05$)。条件間の比較では、超音波刺激とストレッチングの単独施行、およびストレッチング施行後の超音波刺激の併用に比べ、ストレッチング施行前・施行中の超音波刺激の併用が有意に低下した ($p < 0.01$)。超音波刺激とストレッチングの単独施行、ストレッチング施行後の超音波刺激の併用の間には有意差は認められなかった。

③ 主な研究成果

超音波刺激とストレッチングの単独施行において、筋硬度と受動スティフネスが有意に低下した。さらに、超音波刺激とストレッチングの単独施行に比べ、ストレッチングと超音波刺激の同時施行が他の併用より効果的に筋硬度と受動スティフネスを低下させることが明らかになった。

(2) 電気刺激とストレッチングの至適な併用方法と効果の検証

① 筋硬度

5 つの施行条件において施行前に比べ施行後で有意に低下した ($p < 0.05$)。条件間の比較では、電気刺激の単独施行に比べ、ストレッチング施行前・施行中の電気刺激の併用が有意に低下した ($p < 0.01$)。しかし、ストレッチング単独施行とストレッチング施行前・施行中・施行後の電気刺激の併用の間には有意差は認められなかった。

② 受動スティフネス

5 つの施行条件において施行前に比べ施行後で有意に低下した ($p < 0.01$)。条件間の比較では、電気刺激の単独施行に比べ、ストレッチング単独施行、ストレッチング施行前・施行中の電気刺激の併用が有意に低下した ($p < 0.01$)。しかし、ストレッチング単独施行とストレッチン

グ施行前・施行中・施行後の電気刺激の併用の間には有意差は認められなかった。

③ 主な研究成果

電気刺激の単独施行において筋硬度と受動スティフネスは有意に低下するが、ストレッチングとの併用効果は認められなかった。このため、ストレッチングとの複合治療では、電気刺激単独での併用ではなく、他のリハビリテーションツールとの組み合わせが必要であることが示唆された。

(3) 超音波刺激と電気刺激のコンビネーション刺激およびストレッチングの至適な併用方法と効果の検証

① 筋硬度・受動スティフネス

5つの施行条件において施行前に比べ施行後で有意に低下した ($p < 0.01$)。条件間の比較では、コンビネーション刺激とストレッチングの単独施行に比べ、ストレッチングとコンビネーション刺激の同時施行が有意に低下した ($p < 0.05$)。ストレッチング施行前のコンビネーション刺激の併用は、コンビネーション刺激の単独施行に比べ有意に低下したが ($p < 0.01$)、ストレッチング単独施行との間には有意差は認められなかった。ストレッチング施行前・施行中のコンビネーション刺激の併用は、ストレッチング施行後のコンビネーション刺激の併用に比べ有意に低下した。コンビネーション刺激とストレッチングの単独施行、ストレッチング施行後のコンビネーション刺激の併用の間には有意差は認められなかった。

② 主な研究成果

コンビネーション刺激とストレッチングの単独施行において、筋硬度と受動スティフネスが有意に低下した。さらに、コンビネーション刺激とストレッチングの単独施行に比べ、ストレッチングとコンビネーション刺激の同時施行が他の併用より効果的に筋硬度と受動スティフネスを低下させることが明らかになった。

(4) 超音波刺激と電気刺激のコンビネーション刺激およびストレッチングの複合治療の効果検証～超音波刺激とストレッチングの併用との比較～

① 条件間比較 (図1・図2)

筋硬度と受動スティフネスは、 $\Delta T1$ (施行5分後) において、ストレッチングとコンビネーション刺激の同時施行が、ストレッチングと超音波刺激の同時施行に比べ有意に低下した ($p < 0.05$)。 $\Delta T2$ (施行10分後) では2条件間で有意差は認められなかった。

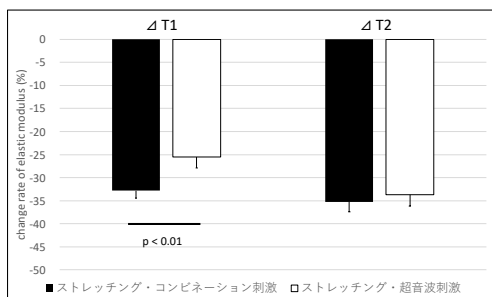


図1 筋硬度の変化 (条件間比較)

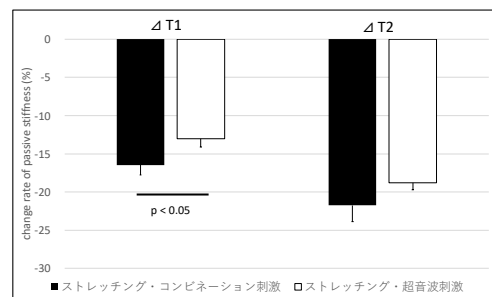


図2 受動スティフネスの変化 (条件間比較)

② 条件内比較 (図3・図4)

筋硬度は、ストレッチングとコンビネーション刺激の同時施行において、 $\Delta T1$ と $\Delta T2$ の間で有意差は認められなかった。一方、ストレッチングと超音波刺激の同時施行においては、 $\Delta T2$ が $\Delta T1$ に比べ有意に低下した ($p < 0.01$)。受動スティフネスは、2条件とも $\Delta T2$ が $\Delta T1$ に比べ有意に低下した ($p < 0.01$)。

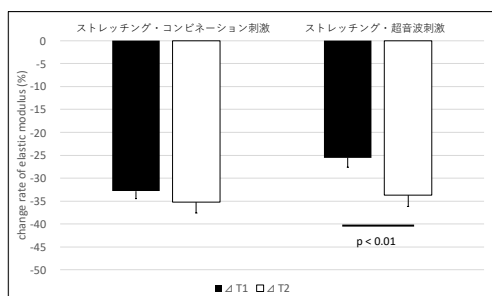


図3 筋硬度の変化 (条件内比較)

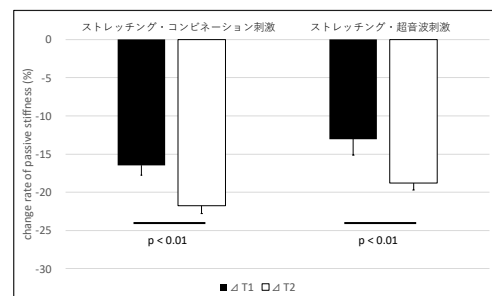


図4 受動スティフネスの変化 (条件内比較)

③ 主な研究成果

本研究により、ストレッチングと超音波刺激の同時施行よりも、ストレッチングとコンビネーション刺激の同時施行が、筋硬度と受動スティフネスをより短時間で効率的に低下させることが明らかになった。特に、筋硬度においては、ストレッチングとコンビネーション刺激の同時施行が、より短時間で最大の効果が得られることが確認された。

(5) まとめ

本研究課題では、拘縮に対する効果的なリハビリテーションを開発するため、筋スティフネスを低下させる超音波刺激と電気刺激およびストレッチングの複合治療の効果と至適な併用方法を検証した。結果、筋スティフネスの低下には、超音波・電気刺激のコンビネーション刺激とストレッチングの同時施行が最も効果的なアプローチ法であることが明らかとなった。

本研究課題の内容は、国内外問わず初めての報告であり、拘縮に対する新しいアプローチ法の提案を可能とする基礎的研究の知見が得られた。今後は、本研究課題で得られた成果をもとに、臨床研究による効果検証に繋げていきたい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 森下勝行, 西下智, 中村雅俊, 八木優英, 梅原潤, 中尾彩佳, 坪山直生, 市橋則明
2. 発表標題 超音波刺激と高電圧パルス電気刺激およびストレッチングの併用が筋硬度に及ぼす影響
3. 学会等名 第27回日本物理療法学会学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森下勝行, 西下智, 中村雅俊, 八木優英, 梅原潤, 中尾彩佳, 坪山直生, 市橋則明
2. 発表標題 超音波刺激と高電圧パルス電気刺激のコンビネーション刺激が筋硬度に及ぼす影響
3. 学会等名 第27回日本物理療法学会学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森下勝行, 西下智, 中村雅俊, 八木優英, 梅原潤, 中尾彩佳, 坪山直生, 市橋則明
2. 発表標題 ストレッチング施行後の超音波刺激の併用が筋硬度に及ぼす影響
3. 学会等名 第27回日本物理療法学会学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森下勝行
2. 発表標題 超音波療法と電気刺激療法のコンビネーション治療の基礎と臨床応用
3. 学会等名 第27回日本物理療法学会学術大会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森下勝行, 西下智, 中村雅俊, 坪山直生, 市橋則明
2. 発表標題 ストレッチングに併用する超音波刺激の施行順序が筋硬度に及ぼす影響 - せん断波エラストグラフィーによる検討 -
3. 学会等名 第23回日本基礎理学療法学会学術大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森下勝行, 西下智, 中村雅俊, 坪山直生, 市橋則明
2. 発表標題 ストレッチング施行中の超音波刺激が下腿三頭筋の筋硬度に及ぼす影響
3. 学会等名 第30回日本運動器科学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森下勝行, 西下智, 中村雅俊, 佐伯純弥, 八木優英, 坪山直生, 市橋則明
2. 発表標題 超音波とストレッチングの併用が筋硬度と受動スティフネスに及ぼす影響
3. 学会等名 第55回日本リハビリテーション医学会学術集会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Katsuyuki Morishita, Satoru Nishishita, Masatoshi Nakamura, Junya Saeki, Masahide Yagi, Tadao Tsuboyama, Noriaki Ichihashi
2. 発表標題 The Optimal Conditions of Therapeutic Ultrasound on Muscle Stiffness of Medial Gastrocnemius Muscle in Human: A Shear-Wave Elastography Study
3. 学会等名 International Society of Physical and Rehabilitation Medicine World Congress (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森下勝行, 中村雅俊, 佐伯純弥, 八木優英, 西下智, 坪山直生, 市橋則明
2. 発表標題 超音波照射が下腿三頭筋の筋硬度と足関節の受動スティフネスに与える影響
3. 学会等名 第52回日本理学療法学会大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 森下勝行
2. 発表標題 超音波療法の基礎と臨床応用
3. 学会等名 第24回日本物理療法学会学会大会(招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Katsuyuki Morishita, Masatoshi Nakamura, Junya Saeki, Tadao Tsuboyama, Noriaki Ichihashi
2. 発表標題 Effects of Therapeutic Ultrasound on Muscle Hardness of the Triceps Surae Muscle and Passive Stiffness in the Ankle Joint
3. 学会等名 The 13th International Congress of Asian Confederation for Physical Therapy Congress 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 森下勝行, 中村雅俊, 藤田康介, 梅原潤, 田中浩基, 本村芳樹, 草野拳, 倉真之介, 坪山直生, 市橋則明
2. 発表標題 超音波照射が筋弾性率に与える影響 - せん断波エラストグラフィーによる検討 -
3. 学会等名 第51回日本理学療法学会大会
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 吉田英樹, 荻原久佳, 森下勝行, 前田貴哉, 中嶋正明, 山口智史, 徳田光紀, 宮城島一史, 畠山和利, 森聡, 工藤和善, 中村潤二, 金原一宏, 喜多頼広, 山田将弘, 羽木本宗俊	4. 発行年 2020年
2. 出版社 メジカルビュー	5. 総ページ数 376
3. 書名 Crosslink 理学療法学テキスト 物理療法学	

〔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
--	---------------------------	-----------------------	----