

平成 30 年度

順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科 修士論文

局所的振動刺激機器を使用したストレッチが  
身体およびストレスマーカーに及ぼす影響

学籍番号 4117048

氏名 大塚 篤也

研究指導教員 深尾 宏祐

合格年月日 平成 31 年 2 月 18 日

論文審査員 主査 明日 修

副査 坂本 彰宏

副査 深尾 宏祐

## 目次

|   |    |
|---|----|
| 第1章 緒言.....                               | 1  |
| 第2章 関連文献の考証.....                          | 3  |
| 第1節 静的ストレッチ (SS: Static Stretch) .....    | 3  |
| (1) 単回による SS によって筋が伸張するメカニズム .....        | 3  |
| (2) SS が筋力低下を引き起こす要因.....                 | 3  |
| 第2節 局所的振動刺激機器: ストレッチローラ (SR)*.....        | 4  |
| (1) フォームローラーの効果.....                      | 4  |
| (2) 振動刺激の効果.....                          | 4  |
| 第3節 メカニカルストレスによる酸化ストレス反応 .....            | 5  |
| 第4節 本研究の意義.....                           | 6  |
| 第3章 目的.....                               | 8  |
| 第4章 方法.....                               | 9  |
| 第1節 被験者.....                              | 9  |
| 第2節 ストレッチ方法.....                          | 9  |
| (1) SS.....                               | 9  |
| (2) SR* .....                             | 10 |
| 第3節 測定手順と項目.....                          | 10 |
| (1) 関節可動域 (Passive Range of Motion) ..... | 10 |
| (2) 筋力.....                               | 11 |
| (3) 筋硬度.....                              | 11 |
| (4) 血液学的検査.....                           | 11 |
| 第4節 解析方法.....                             | 12 |
| 第5章 結果.....                               | 13 |
| 第1節 関節可動域 (Passive Range of Motion) ..... | 13 |
| 第2節 筋力.....                               | 13 |
| 第3節 筋硬度.....                              | 13 |
| 第4節 血液学的検査.....                           | 14 |
| 第6章 考察.....                               | 15 |

|  |    |
|--|----|
| 第1節 SR <sup>®</sup> が筋骨格系に及ぼす即時的効果 ..... | 15 |
| 第2節 本研究の限界.....                          | 17 |
| 第7章 結論.....                              | 18 |
| 第8章 要約.....                              | 19 |
| 謝辞 .....                                 | 20 |
| 引用文献一覧.....                              | 21 |
| Abstract .....                           | 25 |
| 図表一覧 .....                               | 26 |

## 第1章 緒言

ストレッチは、筋および結合組織を対象とした運動前後の柔軟性、粘弾性の獲得を目的としている。その効果は関節可動域の拡大、筋緊張の低下、疲労回復、血流増加、傷害予防があると報告されており<sup>1)</sup>、ウォーミングアップやクールダウンにおける代表的なコンディショニングプログラムとして、リハビリテーションやスポーツ現場などで幅広く用いられている。特に、一般的に広く認知されている代表的なストレッチとして、筋肉を持続的に伸張させる静的ストレッチ (Static Stretch: 以下 SS) がある。

SS は、関節可動域の最終域で停止し、物理的に短縮している筋肉を引き伸ばすことで筋柔軟性を拡大させるだけではなく、その施行後に血流を改善させ、筋硬結の性状を正常化することによって、自動的および他動的な伸縮性を回復するとされている<sup>2)</sup>。また SS は弾みをつけず、持続的に伸張することから、筋に対する安全性は高く、かつ簡易的であるため、セルフ・コンディショニングとして多くの人に用いられている。SS を実施する人の割合は多く、ウォーミングアップにおけるストレッチの使用率に関するアンケート調査を山口ら<sup>3)</sup>が行った結果、対象とした高校および大学の硬式野球部全 30 チームがスタティックストレッチを実施していると回答していた。また、米国における大学生アスレティックトレーナー521 名を対象とした調査では、60.6%が SS を推奨しているとの報告がある<sup>4)</sup>。

しかし、近年では SS を 30 秒以上行くと、最大で約 9.5%の筋力低下が起き<sup>5)</sup>、その効果が 120 分間持続することが報告されている<sup>6)</sup>。つまり、長い時間の SS は筋力および筋パフォーマンスに対しては望ましくない可能性がある、と考えられている。そのため、ストレッチの実施時間を短縮する方法が提唱されている。しかし、Bandy らは<sup>7)</sup>、健康者を対象に 15, 30, 60 秒の群に分けてハムストリングスのストレッチを 1 日 1 回 6 週間施行したところ、30 秒と 60 秒のみで可動域が有意に向上したと報告している。したがって、SS の時間短縮(15 秒)は、SS による関節可動域向上の効果を妥協する事となる。したがって、効果的な SS を行う為に 30 秒以上筋を伸張させることが望ましいのであれば、直後の筋力低下は必然的な結果となることから、運動直前に実施する SS の施行自体が疑問視されている。

近年、ストレッチ効果を有し、ウォーミングアップとクールダウン効果が期待できる機器が多く見受けられる。その 1 つにフォームローラー型で、局所的振動刺激を有する

ストレッチロール® ((株) ドリームファクトリー, Japan; 以下 SR®) がある。SR®はローラー上に身体部位を置き、自重でローラーに圧力を加えながら転がすトレーニング機器である。3分間に約1万回筋肉を振動させることで、関節可動域の拡大が認められていることから、スポーツジムやリハビリテーション分野で用いられている。また、フォームローラーは転がり運動によって、筋柔軟性の向上が認められていることから<sup>8)</sup>、SR®も同様の効果が期待できると考える。

これまでSSがパフォーマンスに及ぼす影響について検討した研究は数多く行われている。しかし局所的振動刺激機器であるSR®の効果について、検討した報告はほとんどない。

## 第2章 関連文献の考証

本章では、第1節でSSによって筋が伸張するメカニズムと、筋力低下を引き起こす要因について述べ、第2節ではSR<sup>o</sup>の形状であるフォームローラーとSR<sup>o</sup>の機能に備わっている振動刺激が及ぼす効果について、第3節ではメカニカルストレスによる酸化ストレス反応について考証し、最後に本研究の意義を述べる。

### 第1節 静的ストレッチ (SS: Static Stretch)

#### (1) 単回によるSSによって筋が伸張するメカニズム

SSで筋を伸張した時に、筋および結合組織からの抵抗が生じた時点で保持すると、筋腱移行部に多く存在するゴルジ腱器官がその刺激を受容し、求心性Ib神経線維を介して、脊髄後角までインパルスが伝播され、脊髄内で、脊髄前角細胞とシナプス結合している介在ニューロンがIb神経線維からの信号を受け取る<sup>9)</sup>。介在ニューロンは脊髄前角細胞の電位を下げる働きがあるため、結果的に前角細胞の脱分極を抑制し、Ib抑制を生じさせる<sup>10)</sup>。Ib抑制は筋の伸張刺激が腱へ加わることで、支配筋の筋緊張を低下させる自己抑制機能を有している。この結果、SSは筋緊張を抑制することから、運動前後に筋緊張を低下させる目的として、スポーツ選手のみならず一般の人々にも広く受け入れられている。また、筋緊張の低下により、血液循環が向上し、血液循環の改善が疲労物質の除去に関与するとされている<sup>11)</sup>。

しかし、SSで筋を過度に伸張させると、筋紡錘が機能し、筋が過度に伸張して傷害を起こさないように、反射的に筋を収縮させる伸張反射が生じ、筋緊張が高まってしまうとされる<sup>11)</sup>。したがってSSは、伸張反射が生じないように、反動をつけず、ゆっくり筋肉を引き伸ばすことを考慮して実施する必要がある。

#### (2) SSが筋力低下を引き起こす要因

SS実施後、筋・筋パワーの低下により、競技パフォーマンスの低下が懸念されている。筋腱の変化として、筋の長さ-張力関係の変化<sup>12)</sup>、スティフネス低下による力の伝導効率の低下<sup>13)</sup>が関与することが指摘されている。これは筋や腱の弾性力の減少により、筋収縮力が低下し、腱から骨への力の伝導効率が下がることが示唆されている<sup>14)</sup>。また、筋が伸張されることによって、筋の長さ-力関係あるいは速度-力関係に変化を来

し、最大の力発揮ができる至適な筋長ないし収縮速度が変化し、筋出力が減少することがパフォーマンス低下の一因であると考えられている<sup>14)</sup>。また、濱田らは<sup>15)</sup>、ストレッチングにより引き起こされる筋出力低下の神経学的な原因として、運動単位の活動性・インパルスの発射数・頻度を減少させること、それに加えて伸張反射の感受性を低下させることであると述べている。

これまで、様々な筋群を対象にSSが筋力および筋パワーへ与える影響について数多くの検討が行われてきた。しかし、SSによる筋力上昇を明らかにした報告は少なく、筋力低下を確認している報告が多いとされている<sup>16)</sup>。

## 第2節 局所的振動刺激機器：ストレッチロール(SR)\*

### (1) フォームローラーの効果

フォームローラーはローラーを反復させながら、筋紡錘やゴルジ腱器官を直接的かつ広範囲に刺激するローラーマッサージ機器であり<sup>17)</sup>、主にリハビリテーションやスポーツジムで使用されている。

フォームローラーの効果としてMacdonaldらは<sup>18)</sup>、関節可動域の拡大、垂直ジャンプの高さが増加したことを報告している。特に関節可動域の向上効果はSSと同様であることが認められている<sup>19)</sup>。また、MacDonaldらは<sup>20)</sup>、フォームローラーを使用することで、筋力低下を認めず、関節可動域を増加させることが可能であることを報告している。さらに、Markらは<sup>21)</sup>、激しい運動後に生じる筋肉痛に対して、フォームローラーを実施することで、筋肉痛を軽減させたことを報告していることから、除痛効果を有する可能性を示唆している。

これまで、フォームローラーが身体機能に及ぼす影響として、関節可動域の拡大、筋肉痛の軽減についての報告は数多く認められる。しかし、フォームローラーに振動刺激を加えたときの効果を検討した報告は少ない。

### (2) 振動刺激の効果

振動は、疼痛コントロール、筋力増強、柔軟性の改善、疲労発生の軽減、骨密度増加の効果があり、非侵襲的で安全に実施可能な刺激方法であるとされている<sup>22)</sup>。リハビリテーションでは物理療法として用いられ、一般的にマッサージ機器として応用されており、幅広く用いられている。ヒトが知覚する振動刺激の周波数は0.1~500Hzの範囲で

あり、振動刺激による効果は、周波数によって変化する。Hagbarth らは<sup>23)</sup>、振動刺激の生理学的効果として、骨格筋に 100Hz 程度の周波数で振動刺激を与えた際に、筋紡錘内筋線維から Ia 求心性入力により、刺激された筋の反射性収縮である、緊張性振動反射を報告している。一方、筋緊張の抑制として利用するには 40Hz 近傍の周波数が有効であるとされており<sup>24)</sup>、身体に与える周波数によって、筋緊張の影響が異なることが考えられる。リハビリテーション分野では痙縮を抑制する方法として利用されており、スポーツ分野においても全身振動刺激トレーニングとして用いられ、筋力増強やバランス能力の改善が報告されている<sup>25)</sup>。

また、低強度の振動刺激では血管に、せん断応力を含む機械的応力が加わることで、血管内に NO を分泌させる働きがあるとされており<sup>26)</sup>、二木は<sup>27)</sup>、NO が脂質過酸化反応の連鎖担体であるペルオキシラジカルを速やかに捕捉し、ラジカル捕捉型抗酸化物として作用することができると述べている。

### 第3節 メカニカルストレスによる酸化ストレス反応

生体における多様なストレスの中で、メカニカルストレスは、生体内の細胞や組織に負荷される物理的、力学的な刺激であり、生体はメカニカルストレスを受容して、動的な物質を生み出しているとされる<sup>28)</sup>。メカニカルストレスには、血流により血管内皮細胞に負荷されるせん断応力と、血圧によって血管内皮や血管平滑筋に加わる静水圧、筋緊張および弛緩に伴って骨格筋細胞に働く引張力、骨や聴覚器官に加わるストレスとして振動・衝撃力があり<sup>28)29)</sup>、ストレッチや振動刺激によっても認められる。また、メカニカルストレスを生化学的反応へと変換する過程をメカノトランスダクションと呼び、循環の恒常性およびその破綻についても密接な関係があるとされている<sup>30)</sup>。

一方、メカニカルストレスによって心血管系に酸化ストレスを亢進させるとの報告がある<sup>31)</sup>。酸化ストレスは、生体の酸化反応と抗酸化反応のバランスが崩れ、酸化反応に傾いた状態であり、抗酸化反応・抗酸化能を上回る酸化ストレスは生体構成物質である蛋白質、脂質、糖質、核酸などに損傷を与え、細胞に障害をもたらす、ガン、炎症、動脈硬化など様々な疾患を発生、促進させるとされている<sup>31)32)</sup>。また NOS より生成される NO が、酸化的環境において酸素やスーパーオキシドと反応した後に、酸化性の強い NO<sub>2</sub>、ペロキシナイトライトを生成し、核酸、アミノ酸、脂質を酸化的に修飾することで、酸化ストレスマーカーとして臨床応用できるとされている<sup>33)</sup>。



活性酸素による酸化ストレスの防御機能として、抗酸化物は酸化傷害を抑える有益な予防、治療効果が期待できるとされており、動脈硬化、ガンなどの生活習慣病の発症リスクを低くすることが認められている<sup>34)</sup>。抗酸化物は予防型抗酸化物、ラジカル捕捉型抗酸化物、修復・再生型抗酸化物に分類され、傷害をひき起こす酸化物の無毒化、排除、損傷の修復として機能している<sup>27)</sup>。スポーツ現場ではコンディショニング法として活用されており、先行研究では自転車全力駆動の発揮パワーが高いほど抗酸化能が高く、潜在的抗酸化能の最大値が運動パフォーマンスに直結する新たな指標となりうる可能性があるとの報告もある<sup>35)</sup>。

活性酸素はオーバートレーニングなどの激しい運動負荷によって増加することで、疲労の一原因となり、疲労からの回復遅延を招くことが知られている<sup>36)</sup>。このことから、抗疲労臨床評価ガイドラインにおいて、酸化ストレスおよび抗酸化能は疲労の評価項目の1つとされている<sup>37)</sup>。また、活性酸素は心理的ストレスによって産生されることが認められており<sup>38)</sup>、Møller は<sup>39)</sup>、心理的ストレスによって酸化ストレスを増大させると報告していることから、酸化ストレスはストレスマーカーの1つとして期待される。

こうした反応を評価する方法としてFREE CARRIO DUO (Diacron International, Italy)を用いたd-ROMsテストとBAPテストがある。d-ROMsテストは生体内の活性酸素やフリーラジカルを直接計測するのではなく、主に血中のヒドロペドロオキシド(ROOH、酸化ストレス度のマーカー)濃度を呈色反応で計測し、生体内の酸化ストレス度の状態を総合的に評価するものである<sup>32)40)</sup>。BAPは過剰な活性酸素・フリーラジカルをどれくらい打ち消す力があるかをみるもので、血液中の還元力を分析測定し、数値化する<sup>32)</sup>。したがって、酸化ストレスの評価を行うには酸化反応だけでなく抗酸化反応や酸化・抗酸化のバランスを評価する必要があるとしている<sup>41)</sup>。

これまでメカニカルストレスの研究は様々な分野で行われており、スポーツ科学における効果的なリハビリテーションへの応用、臨床での診断や治療、幹細胞からの特定組織の構築などを目指した再生など、幅広い領域で応用可能であるとされている<sup>28)</sup>。

#### 第4節 本研究の意義

SSは簡易的なプログラムであるが、筋力低下を引き起こし、競技パフォーマンスに影響を及ぼす可能性があることを、先行研究から数多く報告されていることから、指導者および選手は、身体のコンディショニングに応じて適切なストレッチを選択する必要

がある。局所的振動刺激機能を有する SR<sup>®</sup>は、フォームローラーと形状が類似し、振動刺激効果も加わり、ストレッチと同様の効果が期待できるが、未だ明らかとなった見解は少ない。そこで、SR<sup>®</sup>の効果を明らかにすることは、スポーツ分野でのプログラムとして、より効率よく実施できるためのストレッチ方法の選択肢が拡がり、スポーツ分野に対して、意義があるものと考ええる。

### 第3章 目的

4つの異なるストレッチ条件から（SS、SR<sup>o</sup>振動なし、SR<sup>o</sup>振動 Low、SR<sup>o</sup>振動 High）、ストレッチ実施前後の関節可動域、筋力、筋硬度、酸化ストレス、抗酸化力を計測し、SR<sup>o</sup>の即時的な効果を明らかにすることを目的とした。

## 第4章 方法

本研究は、ヘルシンキ宣言に基づき行い、順天堂大学スポーツ健康科学部の研究等倫理委員会より承認（承認番号：順大ス倫第 29-34 号）を受けて実施した。

### 第1節 被験者

被験者は運動部無所属の健常な男子学生 8 名（身長：170.8±4.6cm, 体重：65.4±6.5kg, 年齢：23.1±1.0 歳）を対象とし、順天堂大学スポーツ健康医科学研究棟のスポーツ科学系実験室で測定が行われた。被験者は測定前に、大腿後面が衣服によって遮られないように男性用の水着を着用した。また、マーカーペンを用いて解剖学的ランドマークを皮膚に記入するため、測定する下肢全体の除毛をした。

ストレッチおよび測定筋はハムストリングスとした。被験者は①SS、②SR<sup>®</sup>振動なし、③SR<sup>®</sup>振動レベル Low (38.3Hz)、④SR<sup>®</sup>振動 High (61.7Hz) の全 4 条件のストレッチ法を順不同にて行った。ストレッチの条件間は 1 週間以上設けられ、平成 29 年 9 月 5 日から 19 週間の期間で実験が実施された。

本実験前に、被験者に対して研究目的、方法、予期される危険性、個人情報の保護を書面および口頭にて十分に説明を行い、書面のサインをもって研究参加の同意を得た。また本研究の同意が得られた後に、被験者の身長と体重、現病歴や既往歴を把握するため、質問紙表を配布し記入させた。尚、各ストレッチ開始前に、体調と疼痛の有無を口頭にて確認した。

### 第2節 ストレッチ方法

#### (1) SS

SS の実施肢位を図 2a に示した。検者は被験者の測定下肢を安静肢位から保持し、膝関節伸展位を維持したまま下肢を挙上させることで(膝屈曲度 5 度未満、下記 electrogoniometer の数値にてコントロール)股関節屈曲を受動的に行わせた。これによりハムストリングスをゆっくりと伸張させ、耐えられない疼痛が生じたところを股関節可動域制限とした。ストレッチ実施時間は 30 秒×5 セットとし、セット間インターバルを 30 秒とした。

## (2) SR<sup>®</sup>

SR<sup>®</sup>の実施肢位を図 2b に示した。SR<sup>®</sup>の振動レベルは振動なし、振動 Low(周波数：38.3Hz)、振動 High(周波数：61.7Hz)の 3 条件にて実施した。検者は SR<sup>®</sup>の進行方向を修正するため、被験者の測定下肢側に待機した。実施時間及びインターバルは SS 同様、30 秒×5 セットとし、インターバルを 30 秒とした。尚、SR<sup>®</sup>実施中の肢位および移動方向を図に示した。一定のリズムでローラーを転がせるように、メトロノーム音(120beats/min)に合わせてハムストリングスの筋腹間を往復した。またインターバル中、ハムストリングスにフォームローラーの圧刺激が加わらないように、SR<sup>®</sup>を外して待機した。

## 第 3 節 測定手順と項目

### (1) 関節可動域 (Passive Range of Motion)

背臥位にて electro-goniometers (DTS 2D Electrical Goniometer, EM-852, Noraxon USA Inc., Scottsdale, Arizona, USA) を股関節 (図 3a) および膝関節外側 (図 3b) の 2 か所に装着した。各測定前に、立位で脱力した姿勢から測定肢側の骨盤ライン(上前腸骨棘から大腿骨大転子)、大腿骨ライン(大腿骨大転子から大腿骨外側上顆)、腓骨ライン(大腿骨外側上顆から足関節外果)をマーカーで引き、その線上かつ大腿骨大転子から上下 6cm (図 3a)、及び大腿骨外側上顆から上下 6cm (図 3b) の位置に electro-goniometers を装着した。また、各測定前に背臥位にて脱力した状態で、Electro-goniometers の補正(ゼロセットオフ)を実施した。測定は、検者が被験者の測定下肢を保持し、安静肢位から股関節屈曲・膝関節伸展位にて下肢を挙上させたときの股関節屈曲最大角度を計測した。尚、膝関節伸展位を保持させるために、膝関節外側に装着した Electro-goniometers の数値でコントロールした。また視覚的評価スケール (open-end Visual Analog Scale: VAS, 図 4) を使用し、①ストレッチ実施前に股関節を関節可動域制限まで屈曲させたときの伸張痛、②ストレッチ実施後に、ストレッチ実施前に記録した股関節屈曲可動域値までの伸張痛、③ストレッチ実施後の股関節可動域制限まで股関節屈曲させたときの伸張痛を、0~10 cm のスケールで計測した。尚、VAS は最小である 0 を無痛、最大値である 10 を今までに経験したことの無い痛みとして設定し、メジャーで測定した距離 (cm) を痛み指数とした。

## (2) 筋力

Biodex System4(Biodex Medical System Inc., Shirley, NY, USA)を使用して測定肢側の等速性膝屈曲トルクを角速度 60 deg/s(2 レップス) 、及び 300 deg/s(3 レップス)にて計測した。それぞれの角速度で記録された最も高いピークトルクを筋力数値として採用した。これをストレッチ実施前後に行い、筋力の変化を評価した。測定の際は被験者の体幹と測定肢側の大腿及び下腿部をベルトで固定した。またシート位置は、ダイナモメーターの軸中心と膝関節中心が一致するよう被験者ごとに調整し、各測定で同一位置が再現された。

## (3) 筋硬度

筋硬度は筋硬度計 (NEUTONE TDM-NA1(株)TRY-ALL) を使用して評価した。図 2a と 2b で示した測定肢側の大腿骨ライン(大腿骨大転子と大腿骨外側上顆)を参照に大腿後面の midpoint、及びその上下 5cm の 3 箇所をそれぞれ筋硬度 (中)、筋硬度 (上)、筋硬度 (下) とし、それぞれ 3 回測定した平均値を記録した。

## (4) 血液学的検査

ストレッチ実施直前後に空腹時採血にて採取した血清を用いて、酸化ストレス (d-ROMs, Diacron International, Italy)、抗酸化能 (BAP, Diacron International, Italy) を測定した。採取した血液は、採血直後にテーブルトップ冷却遠心機 2800° ((株)久保田商事, Japan) を使用し、機械内温度 5°C、回転数 3000 rpm にて 15 分間遠心させ、分離した血清をエッペンへ移した後、専用の冷凍庫へ保存した。

酸化ストレスおよび抗酸化力の解析においては FREE CARRIO DUO を使用し、測定を行った。FREE CARRIO DUO は酸化ストレス解析及びフリーラジカル評価用に特化しており、高度と吸光度の測定を行う測光計である。測定セルに入れたキュベットの内容物についての単色光による吸光度測定であり、吸光を検出すると、結果をそれぞれの測定方法に応じた単位に変換する。本研究ではこれを使用して d-ROMs と BAP テストを行った。また、測定で得られた d-ROMs および BAP 値は、 $d-ROMs/BAP \times 8.85$  で相対的酸化ストレス度を<sup>42)</sup>、 $BAP/d-ROMs/7.541$  で潜在的抗酸化能を算出した<sup>43)</sup>。相対的酸化ストレス度は、疲労を評価する指標であり<sup>44)</sup>、潜在的抗酸化能は、運動パフォーマンスに直結する指標としてスポーツ現場で用いられている<sup>45)</sup>。

#### 第4節 解析方法

測定にて得られた値は、平均値±標準偏差 (Mean±SD) で表し、統計処理には IBM 社製 SPSS Statistics Ver. 25 を用いた。ストレッチ実施前とストレッチ実施後の各測定項目の変化は、対応のある t 検定を用いて、各ストレッチ条件ごとに比較した。有意水準は 5%未満をもって有意とした。

## 第5章 結果

### 第1節 関節可動域(Passive Range of Motion)

ストレッチの実施前後における股関節屈曲角度を図 5 に示した。SS 条件( $62.2^{\circ} \pm 10.4$  vs  $70.8^{\circ} \pm 12.7$ ,  $p=0.001$ , 14%)、SR®振動なし条件( $64.5^{\circ} \pm 7.1$  vs  $69.0^{\circ} \pm 9.6$ ,  $p=0.03$ , 7%)、SR®振動 Low 条件( $60.1^{\circ} \pm 12.3$  vs  $66.8^{\circ} \pm 11.9$ ,  $p=0.001$ , 11%)、SR®振動 High 条件( $59.8^{\circ} \pm 11.1$  vs  $65.2^{\circ} \pm 11.0$ ,  $p=0.001$ , 9%)の全ての条件において股関節屈曲角度に有意な増加が認められた。

VAS を用いた疼痛評価を図 6a, b, c, d に示した。ストレッチ実施前に、股関節屈曲の可動域制限で生じた痛みと、ストレッチ実施後に、ストレッチ実施前で測定した股関節屈曲角度での痛みでは、SS 条件 ( $6.1 \pm 1.3$  vs  $3.9 \pm 1.8$ ,  $p=0.01$ , 14%)、SR®振動なし条件( $6.4 \pm 1.0$  vs  $5.1 \pm 1.1$ ,  $p=0.02$ , 20%)、SR®振動 Low 条件( $6.4 \pm 1.3$  vs  $4.5 \pm 1.6$ ,  $p=0.01$ , 29%)、SR®振動 High 条件( $6.6 \pm 0.8$  vs  $4.5 \pm 0.9$ ,  $p=0.01$ , 31%)に有意な低下が認められた。また、ストレッチ実施後に、股関節屈曲の可動域制限で生じた痛みにおいては、SS 条件 ( $3.9 \pm 1.8$  vs  $6.3 \pm 1.5$ ,  $p=0.01$ , 33%)、SR®振動なし条件( $5.1 \pm 1.1$  vs  $6.4 \pm 0.9$ ,  $p=0.02$ , 26%)、SR®振動 Low 条件( $4.5 \pm 1.6$  vs  $6.6 \pm 1.4$ ,  $p=0.01$ , 46%)、SR®振動 High 条件( $4.5 \pm 0.9$  vs  $6.7 \pm 0.9$ ,  $p=0.01$ , 47%)に有意な上昇が認められた。

### 第2節 筋力

SS、SR®振動なし、SR®振動 Low、SR®振動 High の実施前後における膝屈曲筋力を図 7a, b に示した。60 deg/s では、SS 条件のみにおいてストレッチ実施後に筋力が有意に低下した( $86.6\text{Nm} \pm 15.0$  vs  $79.0\text{Nm} \pm 15.7$ ,  $p=0.008$ , -9%)。300 deg/s では、全てのストレッチ条件で筋力の有意な低下を認めなかった。

### 第3節 筋硬度

ストレッチ実施前後のハムストリングス筋硬度を図 8a, b, c に示した。SS では筋硬度の有意な変化が観られなかった。しかし、SR®振動なしでは筋硬度(上)( $14.4\text{T} \pm 3.5$  vs  $12.7\text{T} \pm 3.3$ ,  $p=0.01$ , -12%)と筋硬度(下)( $25.1\text{T} \pm 3.0$  vs  $23.6\text{T} \pm 1.9$ ,  $p=0.04$ , 6%)、SR®振動 Low では筋硬度(上)( $15.6\text{T} \pm 4.6$  vs  $14.7\text{T} \pm 4.7$ ,  $p=0.046$ , -6%)と筋硬度(中)( $23.8\text{T} \pm 2.6$  vs  $22.4\text{T} \pm 3.1$ ,  $p=0.04$ , -6%)、SR®振動 High では筋硬度



(上)( $17.3T \pm 3.1$  vs  $15.8T \pm 3.8$ ,  $p=0.04$ , -9%)と筋硬度(下)( $25.6T \pm 2.1$  vs  $24.2T \pm 1.9$ ,  $p=0.02$ , -6%)に有意な低下を認めた。

#### 第4節 血液学的検査

ストレッチ実施前後の血液学的検査を表1に示した。SR<sup>+</sup>振動 Low 条件に相対的酸化ストレス( $1.1 \pm 0.2$  vs  $1.0 \pm 0.1$ ,  $p=0.001$ , -4%)の有意な低下を認め、抗酸化力( $2252.8 \mu\text{mol/L} \pm 126.2$  vs  $2348.3 \mu\text{mol/L} \pm 118.3$ ,  $p=0.046$ , 4%)、潜在的抗酸化能( $1.1 \pm 0.2$  vs  $1.2 \pm 0.2$ ,  $p=0.001$ , 4%)の有意な上昇を認めた。

## 第6章 考察

本研究は、運動部無所属の健常男子学生 8 名を対象に、SS、SR<sup>\*</sup>振動なし、SR<sup>\*</sup>振動 Low、SR<sup>\*</sup>振動 High の全 4 条件のストレッチを、1 週間以上間隔をあけて行い、前向き調査を実施した。測定は各ストレッチ実施前後に、関節可動域、筋力、筋硬度、血液学的検査を行った。関節可動域において、SR<sup>\*</sup>振動なし条件 7%、SR<sup>\*</sup>振動 Low 条件 11%、SR<sup>\*</sup>振動 High 条件 9%の有意な拡大認め、筋力は SS 条件で 9%の有意な低下を認めるも、SR<sup>\*</sup>は有意な変化を認めず、筋硬度を低下させる効果を有していることが示唆された。

### 第 1 節 SR<sup>\*</sup>が筋骨格系に及ぼす即時的効果

関節可動域の拡大について、本研究の結果から、SS 条件 14%、SR<sup>\*</sup>振動なし条件 7%、SR<sup>\*</sup>振動 Low 条件 11%、SR<sup>\*</sup>振動 High 条件 9%の有意な増加を認めた。関節可動域が拡大した要因に、痛覚閾値の上昇および筋硬度の低下が考えられる。痛覚閾値が上昇するメカニズムとして、筋紡錘からの求心性情報を伝達する A $\alpha$  神経線維が向上し、その信号が皮膚、筋膜、腱、靭帯など、ポリモーダル受容器からの信号抑制効果を有しており、ストレッチ実施後にも生じることが報告されている<sup>41)</sup>。VAS の結果から、ストレッチ実施後に疼痛が有意に低下しており (SR<sup>\*</sup>振動なし:20%, SR<sup>\*</sup>振動 Low:29%, SR<sup>\*</sup>振動 high:31%)、ハムストリングスの伸張痛が抑制されたことで関節可動域が拡大したと推察する。

一般的に幅広く利用されているストレッチとして、主に SS が挙げられるが、能動的に関節を繰り返し動かし、目的の筋肉の伸張と収縮を繰り返すことにより、筋を伸張させるダイナミックストレッチ (Dynamic Stretch; 以下 DS) や、反動を使いながら伸張させるボリスティックストレッチ (Ballistic Stretch: 以下 BS) があり、筋を伸張させるストレッチによって関節可動域を拡大させる報告は数多く認められる<sup>46)47)</sup>。一方、フォームローラーは SS, DS, BS とは異なり、筋を伸張させず、ローラーによる圧刺激によって関節可動域を拡大させることが報告されている<sup>48)</sup>。このことから、SR<sup>\*</sup>による圧刺激によって筋紡錘を刺激し、疼痛閾値を上昇させ、関節可動域を拡大させたと推察する。

また、筋硬度の低下は関節可動域の拡大と関連があるとされており<sup>49)</sup>、本研究の結果から、SR<sup>\*</sup>実施後のハムストリングスの筋硬度に有意な低下を認めた。ストレッチは筋を伸張させる際に、I b 抑制効果による筋の伸張刺激が腱へ加わることで、支配筋の筋緊張を低下させる自己抑制機能によって筋硬度を抑制させる<sup>12)</sup>。一方、フォームローラー

一は、筋を緊張させるストレッチとは異なり、筋を圧迫させることで筋紡錘を刺激し、筋長を変化させることで筋硬度を低下させたことが考えられる。さらに、Peer らは<sup>50)</sup> ハムストリングスに対して局所的な振動刺激を与えることで、ハムストリングスの筋硬度を低下させ、関節可動域が拡大したことを報告している。したがって、SR<sup>®</sup>は圧刺激だけでなく、振動刺激によっても筋硬度を低下させ、関節可動域の拡大に影響を及ぼすことが推察される。一方、酸化ストレスおよび抗酸化力の結果から、SR<sup>®</sup>振動 Low では d-ROMs は変化せず、BAP の有意な上昇を認めた (SR<sup>®</sup>振動 Low;4%)。先行研究から、低強度の振動刺激が NO を分泌させるとの報告があり<sup>25)</sup>、NO はラジカル捕捉型抗酸化物として作用されることから<sup>26)</sup>、SR<sup>®</sup>振動 Low 群において BAP の上昇を認めたと推察する。また、相対的酸化ストレス度が有意に低下し (SR<sup>®</sup>振動 Low:4%)、潜在的抗酸化能に有意な上昇を認めたことから (SR<sup>®</sup>振動 Low:4%)、低強度の SR<sup>®</sup>であれば、心理的ストレスを軽減させる可能性が示唆された。

しかしながら、SR<sup>®</sup>振動なし、SR<sup>®</sup>振動 Low、SR<sup>®</sup>振動 High において、筋硬度 (上) では有意な低下を認めているが (SR<sup>®</sup>振動なし:12%, SR<sup>®</sup>振動 Low:6%, SR<sup>®</sup>振動 High:9%)、筋硬度 (中) (SR<sup>®</sup>振動 Low:6%)、筋硬度 (下) (SR<sup>®</sup>振動なし:6%, SR<sup>®</sup>振動 High:6%) において、それぞれ筋硬度に変化がない箇所が認められた。Grace らは<sup>51)</sup>、フォームローラーが下肢に加わる圧力について、臀部から膝関節にかけて圧力が分散して低くなることを報告している。SR<sup>®</sup>使用中、臀部から膝関節へ進行する際に、振動数が増加するほど、SR<sup>®</sup>の進行方向がハムストリングスから外れることが多く、検者によってローラーの軌道を修正されることがあった。また、ローラーの切り替えし地点が筋硬度上と筋硬度下の箇所であり、筋硬度中よりもローラーの圧が多く加わっていた可能性がある。このことから、ローラーに加わる圧力の分散によるフォームローラーの操作困難度の増加と、ハムストリングスにローラーの圧力が十分に加わっていなかったことから、筋硬度に変化を認めない箇所があったと推察する。

一方で、筋力は、60deg/s において、SS は有意な低下を認めており (SS:9%)、先行研究<sup>5)6)</sup>と同様に筋力の低下を認めた。しかし、SR<sup>®</sup>振動なし、SR<sup>®</sup>振動 Low、SR<sup>®</sup>振動 High では有意な差を認めなかった。SS は筋腱が付着する起始および停止部位を持続的に伸張させることで、筋腱の弾性力が減少し、筋収縮力が低下する<sup>14)</sup>。また、先行研究より、最大の力発揮ができる至適な筋長ないし収縮速度が変化することで筋出力の減少が示唆されている<sup>14)</sup>。しかし、フォームローラー型である SR<sup>®</sup>は、筋を圧迫させることで筋

紡錘を刺激し、筋長を変化させるため、腱紡錘を刺激しないことから、筋や腱の弾性力は減少せず、腱から骨への力の伝導効率下がらなかった可能性が推察される。したがって、SR<sup>o</sup>は筋を伸張させるメカニズムが、SS と異なることから筋力低下を起こさなかったと推察する。

本研究では4つの異なるストレッチ条件から（SS、SR<sup>o</sup>振動なし、SR<sup>o</sup>振動 Low、SR<sup>o</sup>振動 High）、ストレッチ実施前後の関節可動域、筋力、筋硬度、酸化ストレス、抗酸化力を計測し、SR<sup>o</sup>の即時的な効果を明らかにすることを目的とした。今回の結果から、SSは関節可動域を拡大させ、筋力低下を引き起こすのに対して、SR<sup>o</sup>は筋力に影響を及ぼさなかった。さらにSR<sup>o</sup>は筋硬度を低下させ、低強度のSR<sup>o</sup>であれば相対的酸化ストレスを低下、抗酸化力と潜在的抗酸化能を上昇させることから、ストレスを軽減させる可能性が示唆された。このことから、SR<sup>o</sup>はスポーツ現場において、運動前に筋力低下を引き起こさずに関節可動域を拡大させ、また筋硬度およびストレスを軽減させる可能性が推察される。

## 第2節 本研究の限界

本研究は被験者が8名と少なく、今後人数を増やして再検討する必要がある。またSR<sup>o</sup>の振動強度は4段階あり、スポーツの種目や種類、個人差によって振動の至適強度がある可能性がある。さらに、本研究は運動部無所属の男子学生を対象としており、アスリートを対象とした際に、同様の結果が得られるとは限らないことから、今後検討が必要である。また今後の課題として、スポーツ現場にて使用されるストレッチは数多く認められていることから、他のストレッチ法との効果を比較し、SR<sup>o</sup>の効果をさらに検証していく必要がある。さらには、運動後のリカバリーにおけるSR<sup>o</sup>の効果を評価する予定である。

## 第7章 結論

局所的振動刺激機器を使用したストレッチが身体機能に及ぼす影響を、関節可動域、筋力、筋硬度、酸化ストレス、抗酸化力から SR® の即時的な効果を検討した。その結果、SR® の使用は、筋力を低下させずに、関節可動域を拡大させた。また、筋硬度を低下させ、低強度の振動で SR® を使用すると、酸化ストレスに影響を及ぼし、ストレスを軽減させる可能性が示唆された。このことから、SR® を使用したストレッチは筋力低下を来さずに関節可動域を拡大させるストレッチ効果を有しており、さらにストレスを軽減させる新たなストレッチ方法となる可能性が示唆された。

## 第 8 章 要約

### 【背景】

静的ストレッチ (SS) は一時的な筋力低下が生じると報告されていることから、より効率良く実施するストレッチ方法の開発が望まれている。近年、ストレッチ効果が期待できる機器に局所的振動刺激を用いてアプローチするストレッチロール (SR<sup>®</sup>) があるが、これまで SR<sup>®</sup>を使用したストレッチが身体およびストレスに及ぼす影響を検討した報告は少ない。

### 【目的】

4つの異なるストレッチ条件から (SS、SR<sup>®</sup>振動なし、SR<sup>®</sup>振動 Low、SR<sup>®</sup>振動 High)、ストレッチ実施前後の関節可動域、筋力、筋硬度、酸化ストレス、抗酸化力を計測し、SR<sup>®</sup>の即時的な効果を明らかにすることを目的とした。

### 【方法】

運動部無所属の健常な男子学生 8 名を対象とした。1 週間以上空けて①SS ②SR<sup>®</sup>振動なし ③SR<sup>®</sup>振動 Low ④SR<sup>®</sup>振動 High、以上 4 つの条件の介入をランダムに行い、関節可動域、筋力、筋硬度、酸化ストレス、抗酸化力について実施前後の効果を評価した。

### 【結果】

SR<sup>®</sup>を使用することで、関節可動域を拡大させ、筋力低下なしに、筋硬度の低下を認めた。また、SR<sup>®</sup>振動 Low 条件では、相対的酸化ストレスの有意な低下を認め、抗酸化力 (BAP) および潜在的抗酸化能の有意な上昇を認めた。

### 【結論】

SR<sup>®</sup>を使用したストレッチは、SS でみられる一時的な筋力低下を来さずに、関節可動域を拡大させた。また、筋硬度を低下させ、低強度の振動で SR<sup>®</sup>を使用すると、酸化ストレスに影響を及ぼし、ストレスを軽減させる新たなストレッチ方法となる可能性が示唆された。

## 謝辞

本論文作成において、多大なるご指導を賜りました深尾宏祐准教授、スポーツ医学（内科）研究室の皆様へ深く感謝致します。また、本研究の測定において、ご指導を賜りました島田和典前任准教授、坂本彰宏助教、被験者として協力していただきました皆様へ心から御礼申し上げます。そして最後に、大学院進学にあたり、理解を示してくださった、さかき整形外科クリニックの皆様、また家族に感謝致します。

## 引用文献一覧

- 1) 栗山節郎(2003). 新・ストレッチングの実際. 南江堂. p1-2.
- 2) 奈良勲(2007). 系統別治療手技の展開 改定第2版. 協同医書出版社. p473.
- 3) 山口太一. ストレッチングの科学:君のストレッチングは間違っている. 北海道スポーツ医・科学雑誌 Hokkaido J. Sports Med, p27~36, 2005.
- 4) Popp JK, Bellar DM, Hoover DL, Craig BW, Leitzelar BN, Wanless EA, et al. Pre-and post-activity stretching practices of collegiate athletic trainers in the United states. J Strength Cond Res, p2347-2354. 2017.
- 5) Winchester JB, Nelson AG, Kokkonen J. A single 30-s stretch is sufficient to inhibit maximal voluntary strength. Res Q Exerc Sport, p257-261. 2009.
- 6) Power K. An acute bout of static stretching: effects on force and jumping performance. Med Sci Sports Exerc, p1389-1396. 2004.
- 7) Bandy WD, Irion JM, et al. The Effect of Time on Static Stretch on the Flexibility of the Hamstring Muscles. Phy Ther 74, p845-850. 1994.
- 8) Junker DH. The Foam Roll as a Tool to Improve Hamstring Flexibility. J Strength Cond Res, p3480-3485. 2015.
- 9) 鈴木重行. 理学療法グローバル・スタンダード -ストレッチングの科学的検証-. 理学療法学 第40巻 第8号 p503~507. 2013.
- 10) 鈴木重行. ID ストレッチング 第2版. 三輪書店. p3. 2006.
- 11) 鈴木重行. ID ストレッチング. 三輪書店. p11. 2005.
- 12) Avela J, Kyrolainen H, et al. : Altered reflex sensitivity after repeated and prolonged passive muscle stretching. J Appl Physiol. p1283-1291. 1999.
- 13) Ryan ED, Beck TW, et al. Do practical durations of stretching alter muscle strength? A dose response study. Med Sci Sports Exerc. p1529-1537. 2008.
- 14) 山口太一. ウォーミングアップにおける各種ストレッチングがパフォーマンスに及ぼす影響. トレーニング科学. Vol. 23. No. 3, 2011.
- 15) 濱田桂佑. 静的ストレッチングがジャンプ能力に及ぼす効果-生理学面ならびに機能面からの検討-. 理学療法科学. p463-467, 2008.
- 16) 山口太一. 運動前のストレッチングがパフォーマンスに及ぼす影響について-近年のストレッチング研究の結果をもとに-. Japan Stretching Association, p1-18. 2007.



- 17) Lewis J. Macgregor. The Effect of Foam Rolling for Three Consecutive Days on Muscular Efficiency and Range of Motion. Sports Med Open. 2018.
- 18) Macdonald GZ. Foam rolling as a recovery tool after an intense bout of physical activity. Med Sci Sports Exerc, p131-142. 2014.
- 19) Bradbury-Squires DJ. Roller-massager application to the quadriceps and knee-joint range of motion and neuromuscular efficiency during a lunge. J Athl Train. p133-140. 2015.
- 20) MacDonald GZ. An acute bout of self-myofascial release increases range of motion without a subsequent decrease in muscle activation or force. J Strength Cond Res. p812-821. 2013.
- 21) Mark Tyler Cavanaugh. An acute session of roller massage prolongs voluntary torque development and diminishes evoked pain. Eur J Appl Physiol, p109-117. 2017.
- 22) 庄本康治 (2017). エビデンスから身につける物理療法. 羊土社. p54-289
- 23) Hagbarth, KE&Eklund G. Tonic vibration reflexes (TVR) in spasticity. Brain Res, p201-203. 1966.
- 24) 岩月宏泰. 振動刺激が拮抗筋の運動ニューロン興奮性に与える影響. 理学療法学 18(1), 41-44. 1991
- 25) 藤谷亮. Whole body vibration トレーニングが歩行能力に与える影響. -疾患別比較検討-. 理学療法学, p19-23, 2016.
- 26) Gojiro Nakagami. Effect on vibration on skin blood flow in vivo microcirculatory model. BioScience Trends, p161-166. 2007.
- 27) 二木鋭雄. 活性酸素・フリーラジカルに対する防御システム. 化学と生物 Vol. 37. No. 8. 1999.
- 28) 宮坂恒太. メカニカルストレスと転写制御. 生化学第 81 卷 第 6 号, p. 494-501, 2009.
- 29) 八木宏樹. メカニカルストレス応答. 心臓 Vol. 47. No. 12. 2015.
- 30) Gillespie PG, Walker RG : Molecular basis of mechanosensory transduction. Nature ; 413 : p194-202. 2001.
- 31) 横山光宏 (2010). 「循環器ストレス学」 p12-13. 南山堂.
- 32) 宮川俊平. 一過性の高強度有酸素性運動による酸化ストレスの変化と主観的コンデ

- イシヨニング指標（疲労感・筋肉痛）との関係. The 3rd Sports&Oxidative stress・Anti-oxidant seminar. p64-65. 2016.
- 33) 塚原宏一. 酸化ストレスの生体マーカー. 小児感染免疫 Vol. 24:No. 2. 2012.
- 34) 吉川敏一(2014). 酸化ストレスの医学. 診断と治療者. p250-251.
- 35) 杉田正明. 運動パフォーマンスと酸化ストレス・抗酸化力の関係. WISMERLL JOURNAL. Vol. 65, p1-2. 2016.
- 36) 局 博一. 運動負荷が酸化ストレスおよび抗酸化能に及ぼす効果に関する研究. 平成 23 年度厚生労働科学研究報告書-自律神経機能異常を伴い慢性的な疲労を訴える患者に対する客観的な疲労診断法の確立と慢性疲労診断指針の作成-.
- 37) 抗疲労臨床評価ガイドライン(2011).「日常生活により問題となる疲労に対する抗疲労製品の効果に関する臨床評価ガイドライン」日本疲労学会
- 38) Jiro Takaki. Associations of Job Stress Indicators with Oxidative Biomarkers in Japanese Men and Women. Int J Environ Res Public Health. p6662-6671. 2013.
- 39) Møller P. Oxidative stress associated with exercise, psychological stress and life-style factors. Chem Biol Interact. p17-36. 1996.
- 40) 江口裕伸. 酸化ストレスと健康. 生物試料分析 Vol. 32, No 4. 2009.
- 41) Eugenio Luigi Iorio. Importance of oxidative stress evaluation from the view of Sports Medicine. The 3rd Sports&Oxidative stress・Anti-oxidant seminar. p28-34. 2016.
- 42) Nojima J. 'Oxidation stress index' as a possible clinical marker for the evaluation of non-Hodgkin lymphoma. Br J Haematol, p528-530. 2011.
- 43) K Yamamoto. Effect of tumor necrosis factor- $\alpha$  antagonists on oxidative stress in patients with Crohn's disease. World J Gastroenterol. p10208-10214. 2015. .
- 44) 野島順三. 種々の疲労状態における酸化ストレス値/抗酸化力値の評価. 平成 22 年度厚生労働科学研究障害者対策総合研究事業(精神の障害/神経・筋疾患分野). 2010.
- 45) 杉田正明. 運動パフォーマンスと酸化ストレス・抗酸化力の関係. WISMERLL JOURNAL Vol. 65. p1-2. 2016.
- 46) Jules Opplert. Acute Effects of Dynamic Stretching on Muscle Flexibility and Performance: An Analysis of the Current Literature. Sports Medicine

February, Volume 48, p299-325. 2018.

- 47) 山口太一. ウォーミングアップにおける各種ストレッチングがパフォーマンスに及ぼす影響. トレーニング科学. Vol. 23. No. 3. 2011.
- 48) Kathleen M. ROLLER - MASSAGER APPLICATION TO THE HAMSTRINGS INCREASES SIT - AND - REACH RANGE OF MOTION WITHIN FIVE TO TEN SECONDS WITHOUT PERFORMANCE IMPAIRMENTS. J Sports Phys Ther. p228-236. 2013.
- 49) 鈴木重行: ストレッチングの科学, 三輪書店:2013.
- 50) Peer KS. The acute effects of local vibration therapy on ankle sprain and hamstring strain injuries. Phys Sportsmed. p31-38. 2009.
- 51) Grace Couture. The Effect of Foam Rolling Duration on Hamstring Range of Motion. Open Orthop J, p450-455. 2015.

## Abstract

### **Effect of stretching using local vibration stimulation device on physical and stress markers.**

Atsuya Ootsuka

#### **【Introduction】**

It is reported that static stretching may result in muscle weakness, so it is desirable to develop a more effective stretching method.. In recent years, Stretch Roll® (Dream Factory Co., Ltd.) is an instrument resulting in a stretching effect using local vibration stimulation. it is no report investigating the influence of stretch using stretch roll® on physical function compared with static stretch up until now.

#### **【Purpose】**

The effect obtained using four different stretching measure joint, muscle strength, muscle hardness, oxidative stress, and antioxidant power.

#### **【Methods】**

This study evaluated eight healthy men with no physical strength. In the 4 terms random (①static stretch(SS) term, ②Stretch roll(SR)® No vibration term, ③SR® low vibration term, ④SR® high vibration term, we evaluated the effects of range of motion, muscular strength, muscle, hardness, and blood test.

#### **【Result】**

Using the stretch roll®, expansion range of motion and the muscle hardness decreased without weakness of the muscles. Also, SR® vibration low term, showed significant decrease in the relative oxidative stress, and significant increase of the BAP (Biological Antioxidant Potential) and the potential antioxidant ability.

#### **【Conclusion】**

Based on our results, using the SR® has some similar effects of SS without muscle weakness and it may be a new stretch method to cause stress reduction and increasing in antioxidant power.

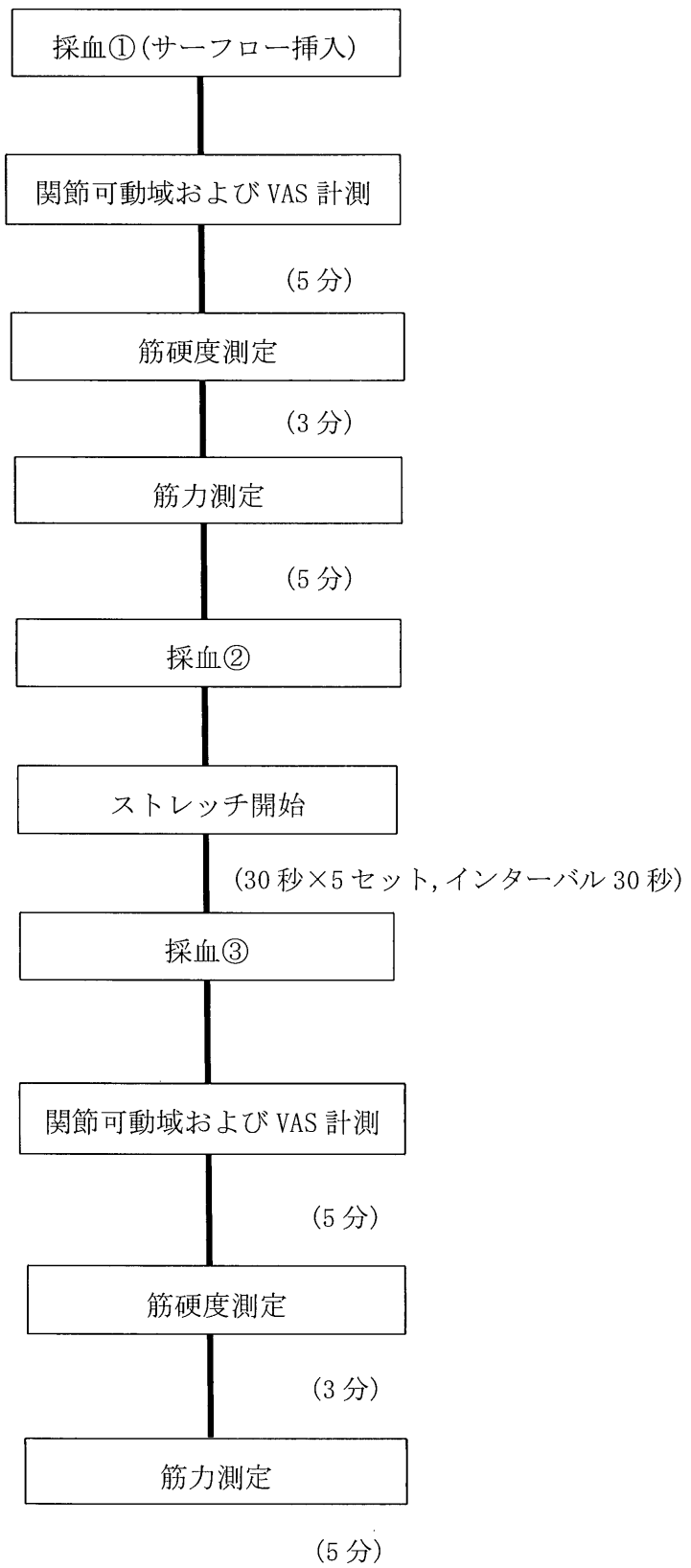


図1：測定の流れ



図 2a:SS の測定肢位

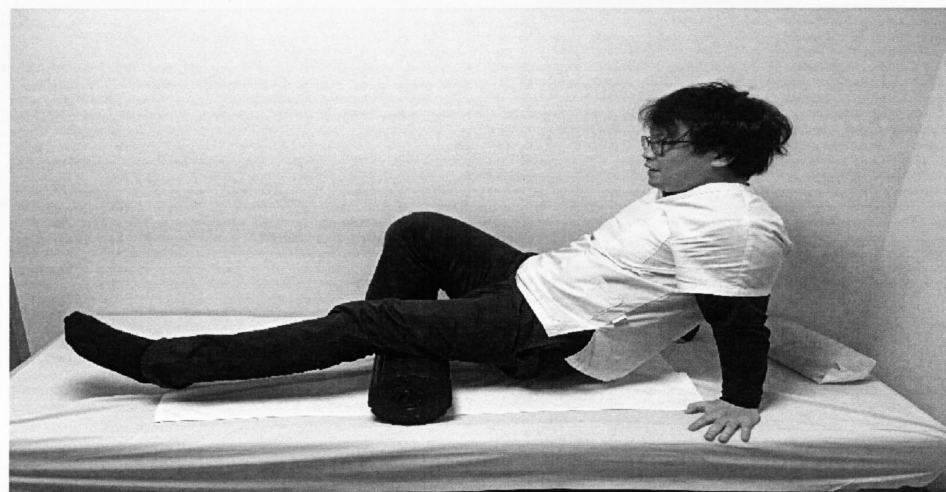


図 2b:SR\*の測定肢位

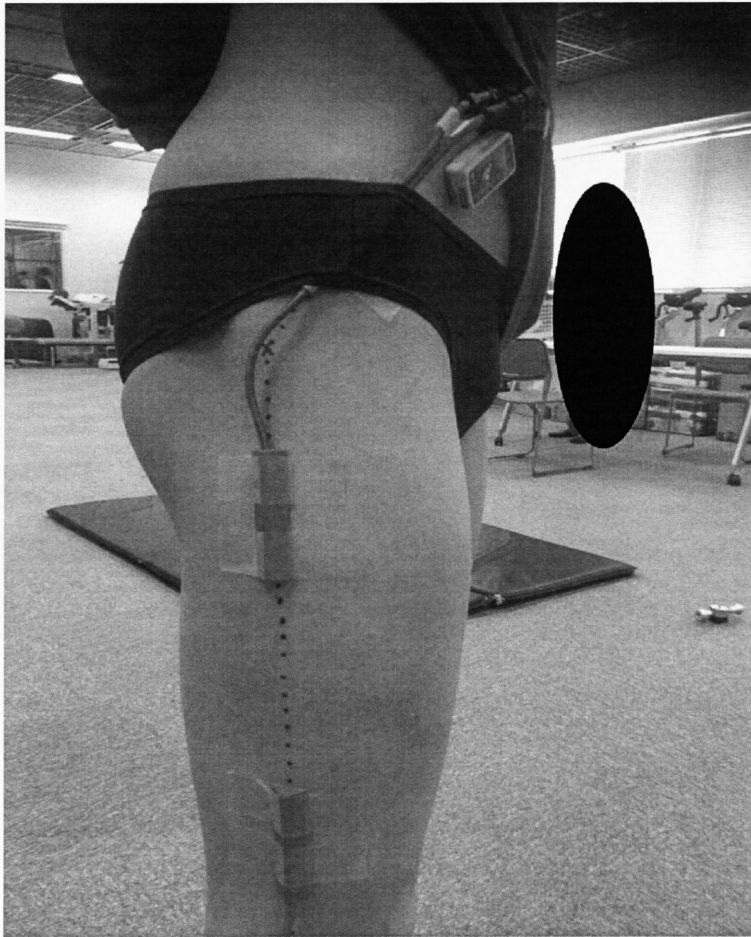


図 3a : Electro-goniometers (股関節装着時)

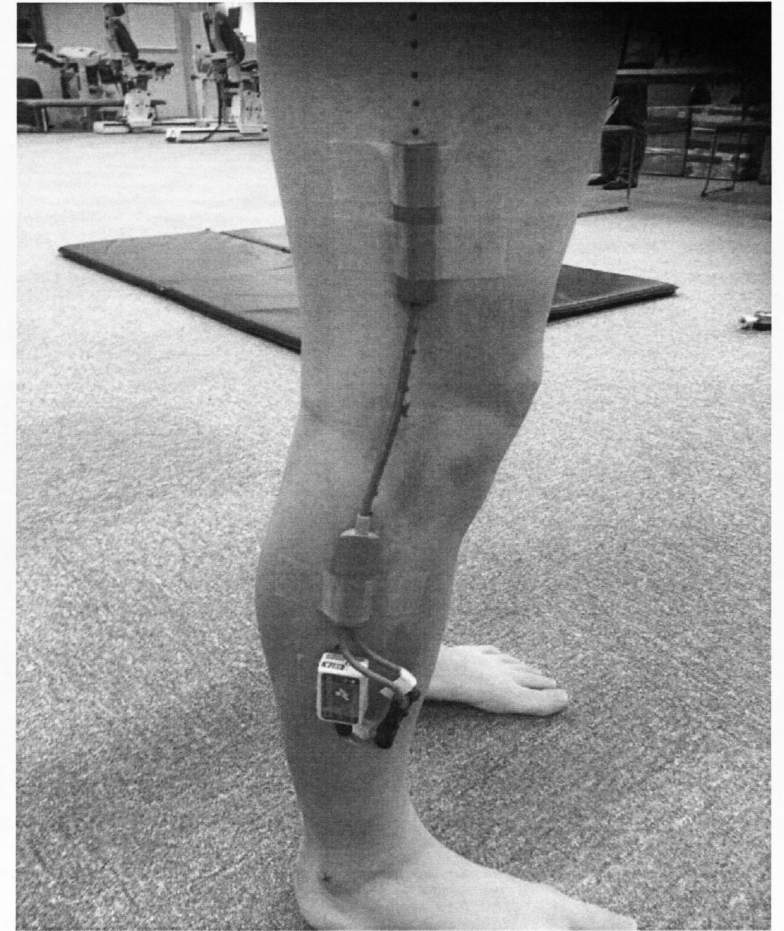


図 3b : Electro-goniometers (膝関節装着時)

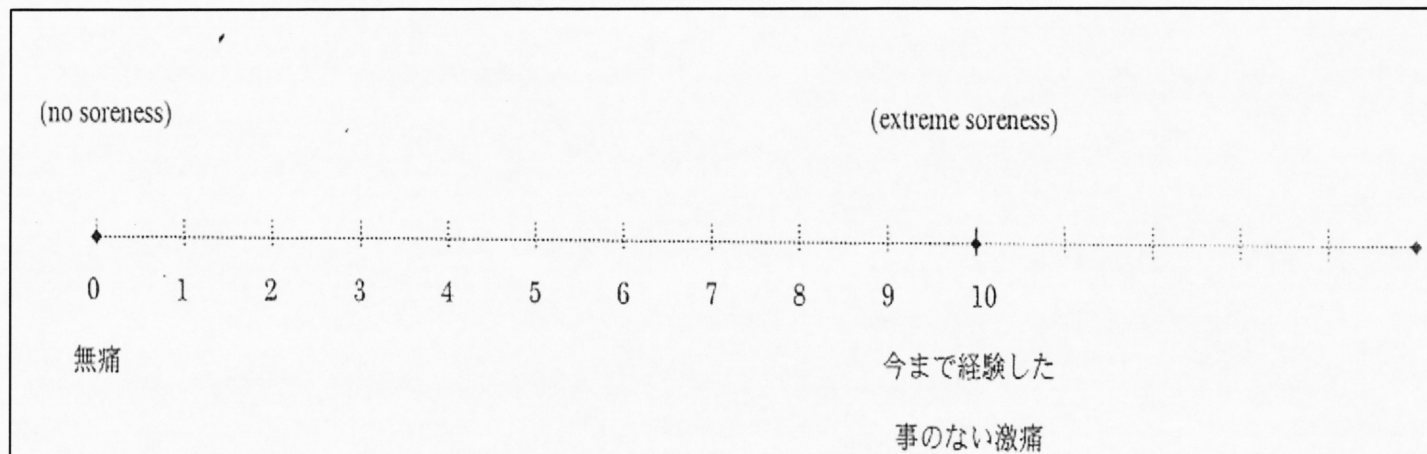


図 4:VAS 評価表



\*: P<0.05, 介入前後

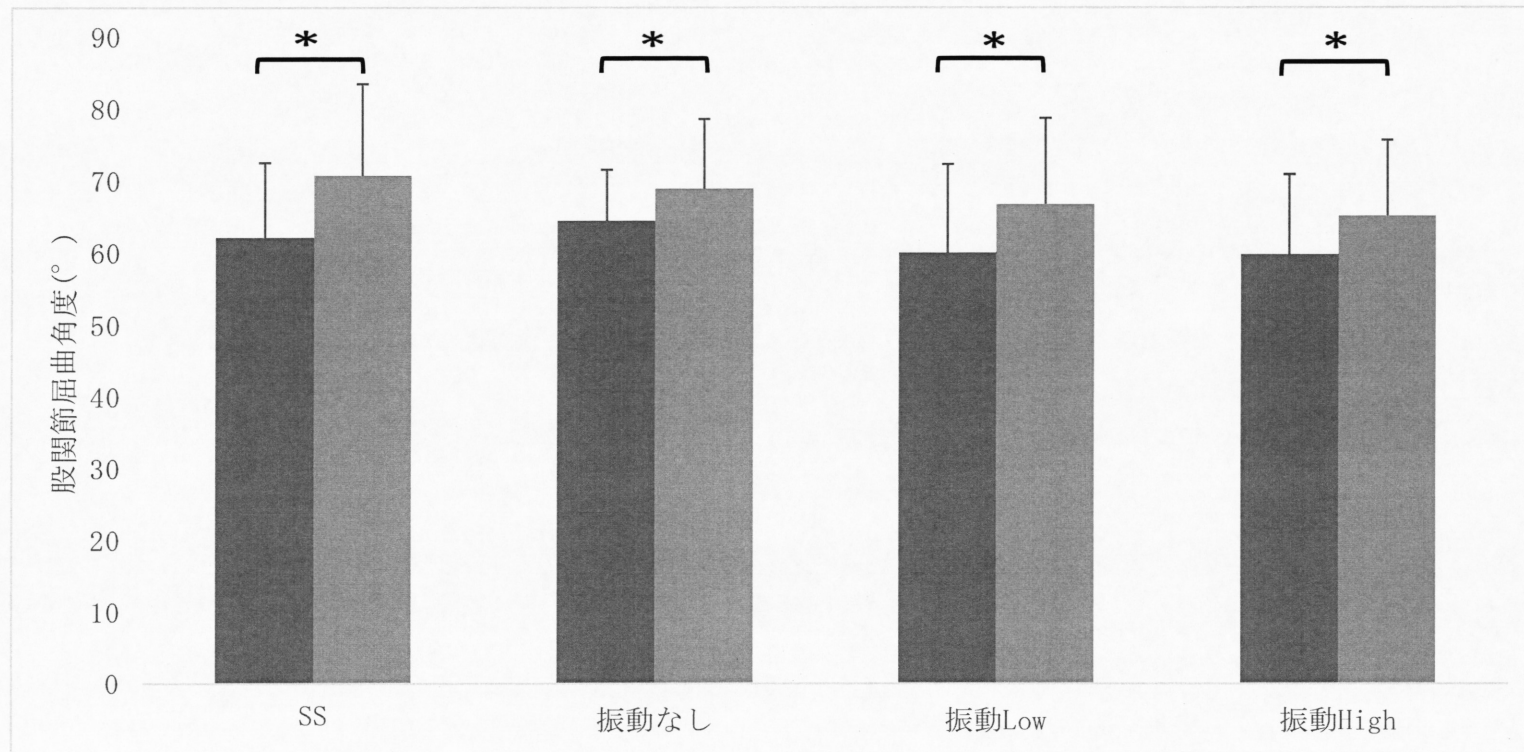


図5:股関節屈曲角度

○2元配置分散分析: (F=87.3, p<0.01)。

○多重比較:SS(62.2° ± 10.4 vs 70.8° ± 12.7, p=0.01, 14%)、SR\*振動なし(64.5° ± 7.1 vs 69.0° ± 9.6, p=0.04, 7%)、

SR\*振動Low(60.1° ± 12.3 vs 66.8° ± 11.9, p=0.01, 11%)、SR\*振動High(59.8° ± 11.1 vs 65.2° ± 10.5, p=0.01, 9%)

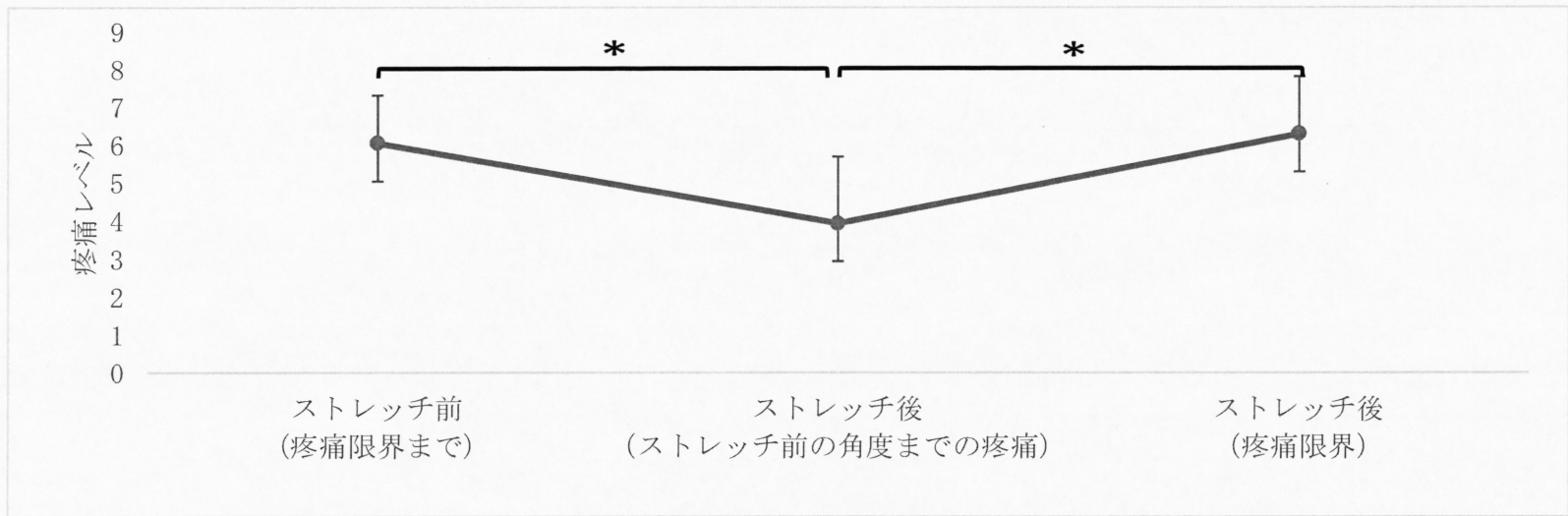


図 6a:SS 条件の VAS 結果

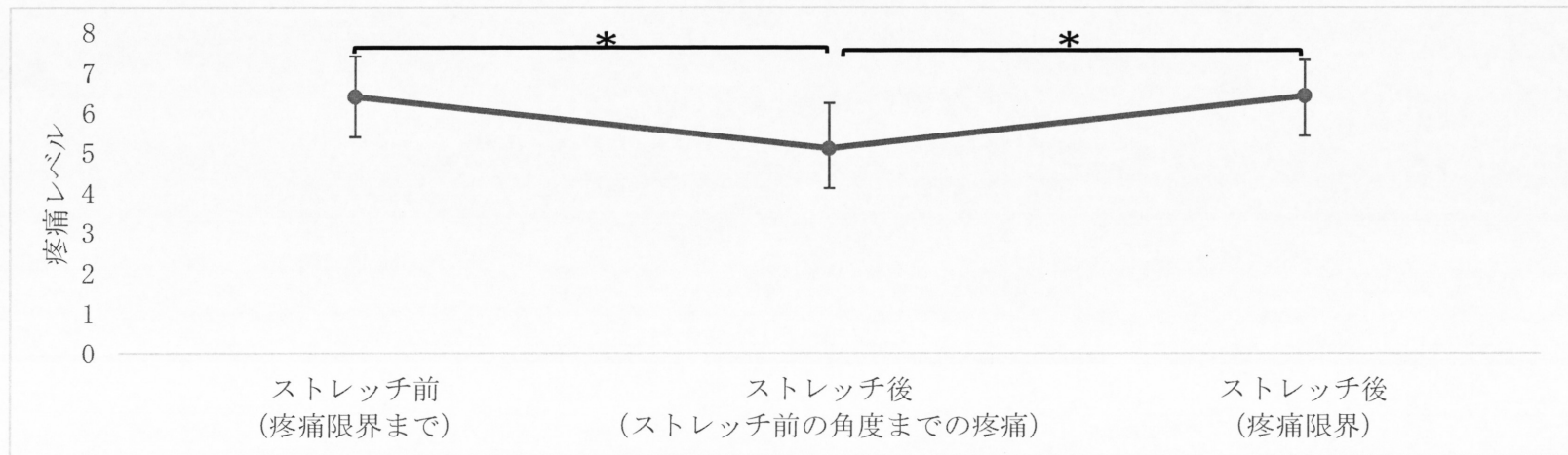


図 6b:SR<sup>®</sup>振動なし条件の VAS 結果

\*: P<0.05, 介入前後

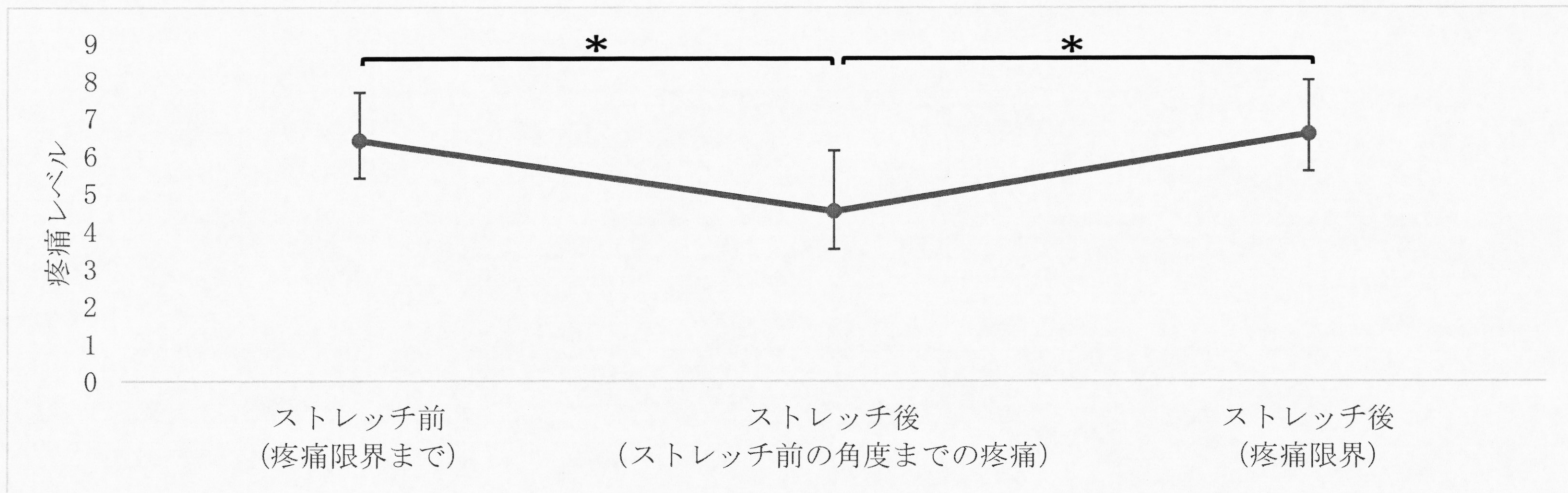


図 6c:SR<sup>\*</sup>振動 Low 条件の VAS 結果

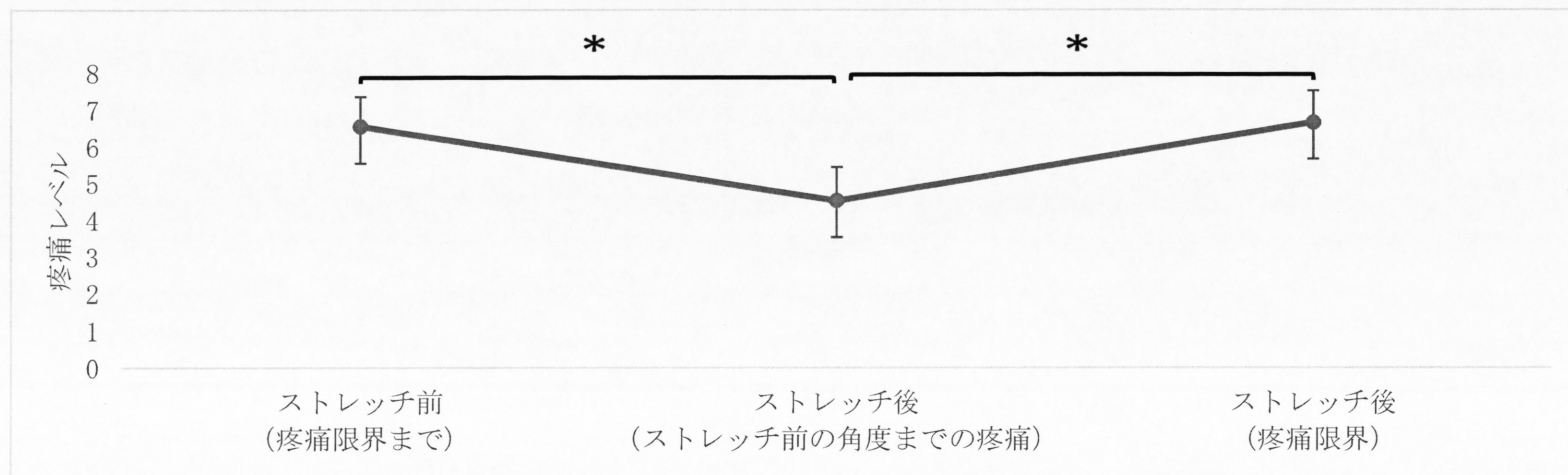


図 6d:SR<sup>\*</sup>振動 High 条件の VAS 結果

\*: P<0.05, 介入前後

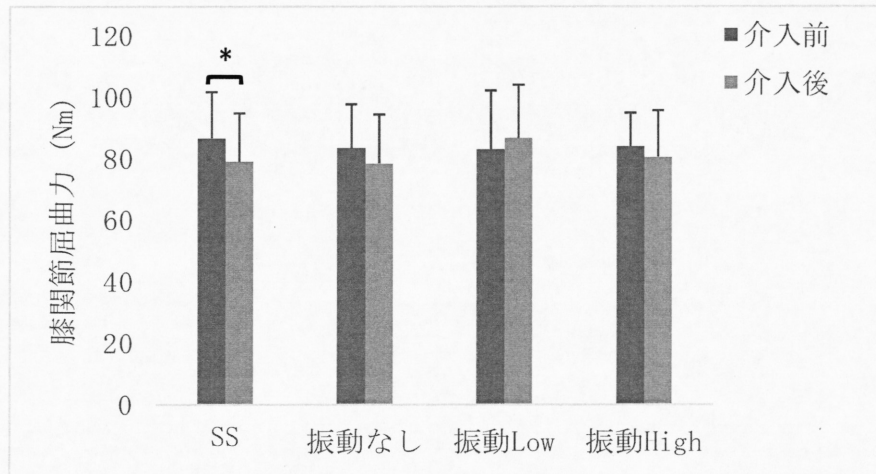


図 7a : 角速度 60deg/s でのハムストリングスの筋力

○2元配置分散分析: (F=7.9, p=<0.05)  
 ○多重比較:  
 SS (86.6Nm ± 15.0 vs 79.0 Nm ± 15.7, p=0.01, 9%)

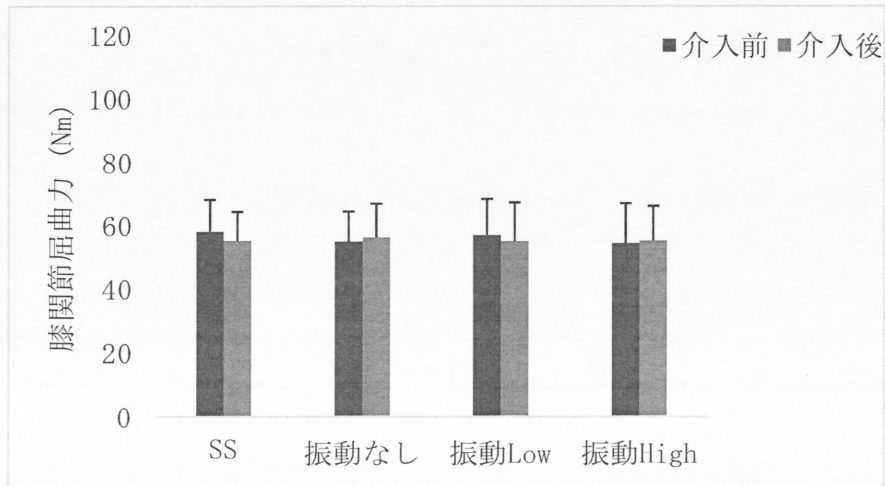


図 7b: 角速度 300deg/s でのハムストリングスの筋力

\*: P<0.05, 介入前後

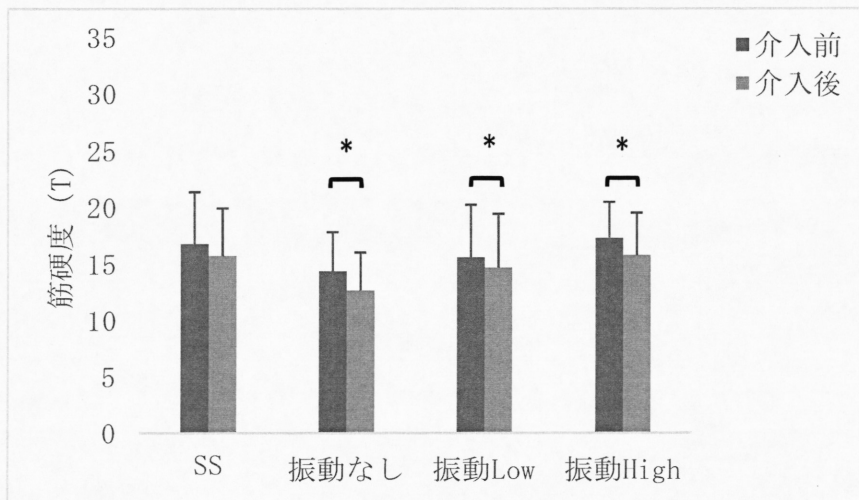


図 8a: ハムストリングスの筋硬度 (上)

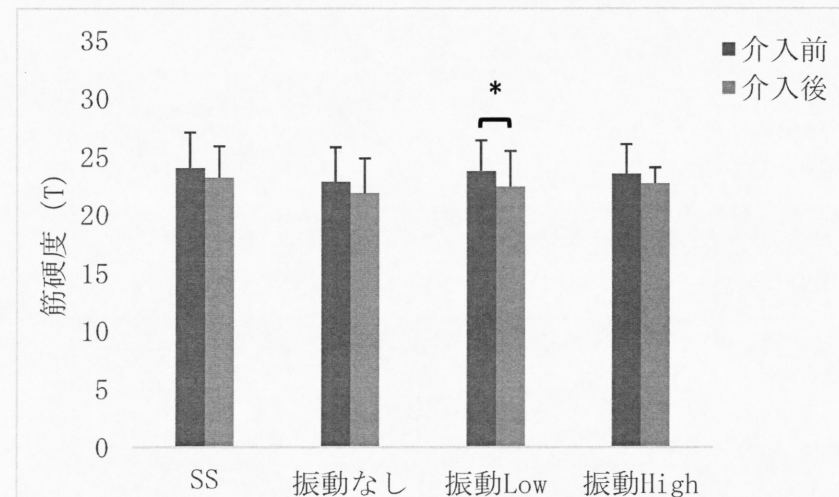


図 8b: ハムストリングスの筋硬度 (中)

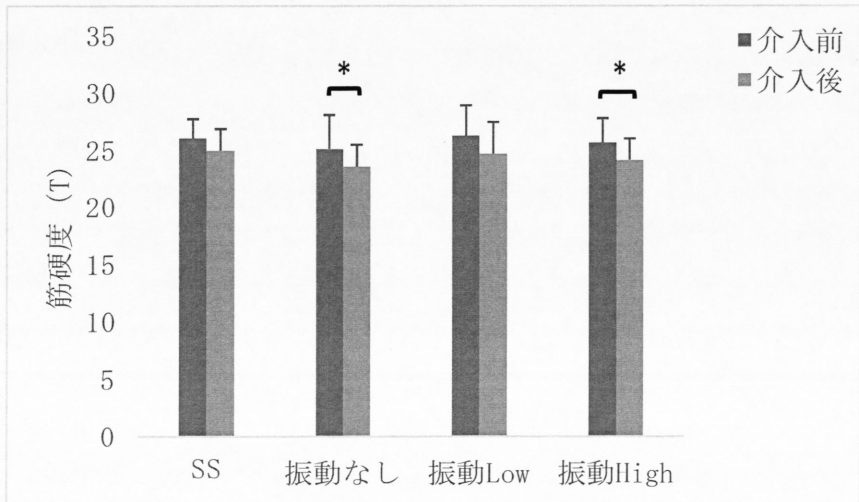


図 8c: ハムストリングスの筋硬度 (下)

○2 元配置分散分析:筋硬度 (上) ( $F=38.9, p<0.01$ )  
筋硬度 (下) ( $F=20.4, p<0.01$ )

○多重比較検定

SR\*振動なし: 筋硬度(上) ( $14.4 \pm 3.5$  vs  $12.7 \pm 3.3, p=0.01, 12\%$ )  
筋硬度(下) ( $25.1 \pm 3.0$  vs  $23.5 \pm 1.9, p=0.04, 6\%$ )

SR\*振動 Low: 筋硬度(上) ( $15.6 \pm 4.6$  vs  $14.7 \pm 4.7, p=0.046, 6\%$ )  
筋硬度(中) ( $23.8 \pm 2.6$  vs  $22.4 \pm 3.1, p=0.04, 6\%$ )、

SR\*振動 High: 筋硬度(上) ( $17.3 \pm 3.1$  vs  $15.8 \pm 3.8, p=0.04, 9\%$ )  
筋硬度(下) ( $25.6 \pm 2.1$  vs  $24.1 \pm 1.8, p=0.02, 6\%$ )

\*:  $P<0.05$ , 介入前後

表 1:酸化ストレスおよび抗酸化力評価

|              | SS             |                |       | 振動なし           |                |       |
|--------------|----------------|----------------|-------|----------------|----------------|-------|
|              | 実施前            | 実施後            | p値    | 実施前            | 実施後            | p値    |
| d-ROMs(unit) | 268.3 ± 52.85  | 268 ± 49.48    | 0.483 | 245.1 ± 28.73  | 245.5 ± 31.46  | 0.725 |
| BAP(μmol/L)  | 2228.9 ± 231.5 | 2239.1 ± 166.3 | 1     | 2274.6 ± 151.9 | 2257.3 ± 147.7 | 0.484 |
| 相対的酸化ストレス度   | 1.1 ± 0.3      | 1.1 ± 0.2      | 0.779 | 0.95 ± 0.1     | 0.96 ± 0.1     | 0.484 |
| 潜在的抗酸化力      | 1.1 ± 0.2      | 1.1 ± 0.2      | 1     | 1.24 ± 0.1     | 1.23 ± 0.1     | 0.889 |

|              | 振動Low          |                |       | 振動High         |               |       |
|--------------|----------------|----------------|-------|----------------|---------------|-------|
|              | 実施前            | 実施後            | p値    | 実施前            | 実施後           | p値    |
| d-ROMs(unit) | 270.9 ± 32.58  | 269.9 ± 34.19  | 0.833 | 260.8 ± 28.54  | 261.8 ± 29.01 | 0.396 |
| BAP(μmol/L)  | 2252.8 ± 126.2 | 2348.3 ± 118.3 | 0.049 | 2203.3 ± 208.6 | 2165 ± 190.8  | 0.401 |
| 相対的酸化ストレス度   | 1.1 ± 0.2      | 1.0 ± 0.1      | 0.012 | 1.06 ± 0.2     | 1.08 ± 0.2    | 0.6   |
| 潜在的抗酸化力      | 1.1 ± 0.2      | 1.2 ± 0.2      | 0.012 | 1.13 ± 0.2     | 1.11 ± 0.2    | 0.4   |