

スタティックストレッチングおよびダイナミックストレッチングによる
効果的ウォーミングアップ方法の検討

寒川 美奈

目 次

1. 要約	1
2. 背景	2
3. 実験課題①	3
4. 実験課題②	6
5. 実験課題③	9
6. 総合考察	13
7. 謝辞	14
8. 引用文献	14

スタティックストレッチング及びダイナミックストレッチングによる 効果的ウォーミングアップ方法の検討

寒川 美奈 吉田 真

1. 要約

ストレッチングは、ウォーミングアップの手段としてスポーツ現場等でよく用いられているが、その有効性については明らかにされていないことも多い。これまでの研究結果から、用いるストレッチングの手法によってウォーミングアップ効果も異なると考えられた。そこで本研究では、スタティックストレッチング(以下 SS)およびダイナミックストレッチング(以下 DS)による効果的なウォーミングアップ方法の検討を目的に、ストレッチングプロトコールの検証および筋腱伸張時の抵抗変化を調べるために、以下の3つの実験を行なった。

【実験課題①】

DSプロトコールの違いが、関節可動域(Range of motion 以下 ROM)、最大筋力、ジャンプパフォーマンスに与える影響を検証した。対象は健康若年男性10名で、下腿三頭筋に対するDSをメトロノーム音に合わせて、60beats/min×15sec, 60beats/min×30sec, 120beats/min×15sec, 120beats/min×30secのプロトコールでそれぞれ日を変えて行なわせた。介入前後には、足関節背屈ROM、最大筋力、垂直跳び高を測定した。結果、ROMは60beats/min×30secと120beats/min×15secのDS前後、最大筋力は120beats×15secの前後、垂直跳び高はすべてのプロトコール前後で有意な増加を示した。一方、各群間の変化量に差は認められなかった。本実験結果より、DSプロトコールの違いによって、ROMやパフォーマンスに異なる影響を示した。

【実験課題②】

ストレッチング法の違いが、伸張時の抵抗すなわち筋腱複合体スティフネスと硬度に与える変化を、足関節底屈筋に対して調べた。対象は、健康若年男性10名で、SS, DS, SSとDSの組み合わせ(以下SS+DS)からなる3つのストレッチング法をそれぞれ行なわせ、介入前後に腓腹筋内側頭の筋腱複合体スティフネスおよび硬度を計測した。ストレッチングは、SSでは30秒間保持を4セット、DS群はメトロノーム音に合わせて足底背屈自動運動を60beats/min×30secを4セット、SS+DS群においては、SS実施後DSを行わせ、介入前後のスティフネスおよび硬度を調べた。各ストレッチング前後のスティフネス変化は、SS群でSS+DS群より有意な低下($p<0.02$)、DS群より低下傾向($p=0.058$)を示した。一方、硬度については、各群間で変化がみられなかった。本実験結果から、SSはDSやSS+DSと比べ、筋腱複合体スティフネスの低下を明らかにした。

【実験課題③】

足関節底屈筋に対するSSおよびDSが、筋腱スティフネスに与える影響を調べた。対象は健康若年男性10名で、SS, DS, SS+DSそれぞれを実施させた。ストレッチング前後には、筋及び腱のスティフネスを測定した。結果、DS後筋スティフネスは有意に増加し、SS, SS+DSと比較しても有意な増加を認めた($p<0.05$)。SSでは、他群と比較して筋スティフネスの有意な低下を認めた。しかし、腱スティフネスでは各ストレッチング前後、群間比較ともに有意な変化は認めなかった。本研究結果より、SSとDSでは筋スティフネスに与える影響が異なり、ストレッチングの違いが運動パフォーマンスに対しても作用が異なる可能性を示す結果であった。

2. 背景

ストレッチングは、傷害予防やパフォーマンス向上を目的に、スポーツ現場等で広く用いられている。ストレッチングの種類には、ゆっくりと筋を伸張位で保持するスタティックストレッチング(Static stretching;以下 SS)と、自ら関節を動かして行うダイナミックストレッチング(Dynamic stretching;以下 DS)がある。

SSの実施は、柔軟性の改善(O'Sullivan, 2009)や傷害の予防には有効である(Hartig, 1999; Witvrouw, 2003)ことは既に報告されているが、ウォーミングアップ時に実施することでジャンプやランニング等運動パフォーマンス低下を引き起こしやすい(Behm, 2004)ことが示され、一方 DS 後は垂直跳び高や下肢筋パワー、ランニング、ゴルフスイング等運動パフォーマンスの向上を示す(Yamaguchi, 2005; Hough, 2009; Moran, 2009)という報告がなされてから、DS はスポーツ現場を中心に積極的に導入されてきている。しかしながら、ストレッチングの方法や組み合わせによる、柔軟性や筋腱組織、運動パフォーマンスへの影響に関する検討はまだあまりされていない。

スティフネスとは、柔軟性やパフォーマンスに影響し得る要素で、組織弾性の指標を示す。スティフネスは、組織の伸張に対する抵抗の変化率で表されている(Magnusson, 1996)。スティフネスに関する研究は、筋腱複合体、筋、腱に分けて報告があり、筋腱複合体や筋のスティフネス増加は柔軟性を低下させる(Nakamura, 2010)一方で、運動パフォーマンス向上には有益である(Kubo, 2007)ことが示されている。逆にスティフネスの低下は、運動パフォーマンスを低下させる一因(Herda, 2008)といわれ、傷害発生予防の効果(Magnusson)を有することも示されている。また、腱のスティフネスに関しては、運動パフォーマンスとの関連が報告されている(Bojsen-Møller, 2005)ものの、一致した見解はまだ得られていない。ストレッチングによるスティフネスへの変化に対しては、SS により筋腱複合体および筋のスティフネスを低下させる(Nakamura, 2010; Ryan, 2008; Mahieu, 2007)ことが報告されている一方で、腱スティフネスは変化しない(久保, 2010)ともいわれる。しかしながら、DS や、スポーツ現場でよく行われている SS と DS の組み合わせが、筋腱組織のスティフネスへの効果については、まだ検証されていない。

そこで本研究では、SS や DS あるいはそれらの組み合わせによる、柔軟性や筋腱組織、パフォーマンスへの有効性を明らかにし、ウォーミングアップとして有効なストレッチング方法を検討した。本研究課題に取り組むために、実験を以下の3つに分けて行なった。

3. 実験課題① 異なる DS プロトコールが関節可動域や筋力, ジャンプパフォーマンスに及ぼす影響

1) 目的

DS は, 運動パフォーマンスへの有効性が示されてからスポーツ現場を中心によく用いられているが, プロトコールに関しては一致した見解がまだ得られていない. そこで, DS プロトコールの違いが関節可動域(以下 ROM)や最大等速度性筋力, ジャンプパフォーマンスへ与える影響を検証した.

2) 方法

対象は, 両下肢に神経外科的および整形外科的疾患を有さない健常若年成人男子学生 10 名(平均年齢 21.3 ± 1.0 歳, 平均身長 173.1 ± 5.0 cm, 平均体重 66.1 ± 7.9 kg)とし, 倫理委員会で承認された文書による説明に同意を得てから, 本実験を開始した. 被験者には, ストレッチング前のウォーミングアップとして, 自転車エルゴメーターを 10 分間行わせた. 足関節底屈筋に対する DS は, 立位で股関節軽度屈曲, 膝関節伸展位で足関節底背屈全可動域における自動運動を, メトロノームの音に合わせて 60bpm では 2 秒で足関節底背屈運動を 1 回, 120bpm では 1 秒で底背屈運動 1 回のペースで $60 \text{ beats/min} \times 15 \text{ sec}$ (以下 60bpm15sec), $60 \text{ beats/min} \times 30 \text{ sec}$ (以下 60bpm30sec), $120 \text{ beats/min} \times 15 \text{ sec}$ (以下 120bpm15sec), $120 \text{ beats/min} \times 30 \text{ sec}$ (以下 120bpm30sec)のいずれかを, それぞれ日を変えて行なわせた(図1). DS の各プロトコールでは, 片脚ずつ 4 セット実施させ, セット間には 30 秒間の休息を設けた. 介入前後の足関節背屈 ROM, 垂直跳び高, 等速度性最大足関節底屈筋力を測定した. 足関節背屈 ROM は, 右腓骨頭, 外果, 第 5 中足骨頭・底にマーキングをし, 背臥位膝関節伸展位における他動最大足関節背屈 ROM を, デジタルカメラ(Easy Share V570;Kodak 社製)で撮影した. 得られた画像より, Image J ソフトウェア(NIH 製)を用いて, 足関節背屈 ROM を算出した. 最大足関節底屈筋力は, 等速度性筋力測定機器(Biodex system 3, Biodex 社製)を使用し, 腹臥位で 0 deg/sec , 120 deg/sec の角速度における最大筋力を 5 回測定した. 測定間には, 1 分間の休息を設けた. 測定値は, 最大筋力(ピークトルク)を, 各被験者の体重で除した値(%BW)を使用した. 垂直跳び高の測定は, 垂直跳び高計測機器(TKK5514 Jump-DF, 竹井機器社製)を使用した. 開始肢位は, 両手を臀部にあて, 股関節, 膝関節の屈曲角度は任意とした. 練習は 2 回行わせた後, 測定を 3 回行い, その最大値を測定値とした. 測定間は, 20 秒間の休息を設けた.

統計は, 介入前後の比較には対応のある t 検定を使用した. 各群間の足関節背屈 ROM と垂直跳び高での変化量の比較には一元配置分散分析を, 60 deg/sec , 120 deg/sec における最大足底屈筋力の比較には,

二元配置分散分析を用いた。有意水準は $p < 0.05$ とした。

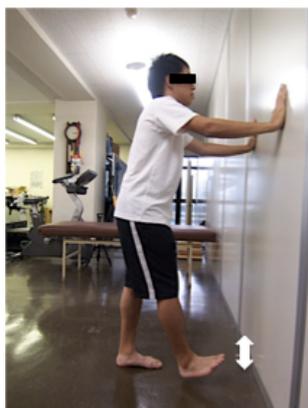


図1. 足関節底屈筋に対するダイナミックストレッチング

3) 結果

各プロトコル前後の ROM, 筋力, 垂直跳び高の変化を表 1 に示す。足関節背屈 ROM は, 60bpm 30sec, 120bpm15sec のプロトコル前後で有意に増加した($p < 0.05$)。最大足関節底屈筋力は, 60deg/sec の角速度で, 120bpm15 sec 前後に有意な増加を示した($p < 0.05$)。垂直跳び高は, 全てのプロトコル前後で有意に増加した($p < 0.05$)。一方で各群間の ROM, 最大筋力, 垂直跳び高に差は認められなかった。

表1. 各プロトコル前後における ROM, 筋力, 垂直跳び高の変化

プロトコル	ROM(deg)		筋力 60deg/sec (%BW)		筋力 120deg/sec (%BW)		垂直跳び高(cm)	
	前	後	前	後	前	後	前	後
60bpm15sec	30.6±4.0	31.5±4.5	135.2±45.3	142.9±37.1	109.1±31.4	108.0±27.5	<u>51.0±4.6</u>	<u>53.8±5.7</u>
60bpm30sec	<u>29.7±3.7</u>	<u>33.0±4.0</u>	132.0±44.6	139.6±37.8	100.5±28.6	108.6±27.0	<u>51.2±4.8</u>	<u>53.9±5.6</u>
120bpm15sec	<u>30.9±7.0</u>	<u>34.1±7.0</u>	<u>136.7±38.9</u>	<u>146.5±37.9</u>	100.0±26.9	103.6±27.8	<u>50.3±3.5</u>	<u>53.7±5.3</u>
120bpm30sec	32.4±5.8	33.0±5.7	145.0±34.4	149.7±36.0	108.9±25.7	108.0±31.5	<u>51.3±4.9</u>	<u>54.2±5.9</u>

*下線部で有意差を認めた($p < 0.05$)

4) 考察

足関節底屈筋に対する DS は, 60bpm30sec あるいは 120bpm15 sec のプロトコルの 4 セット実施することで, 足関節背屈 ROM に有意な増加が認められた($p < 0.05$)。先行研究結果では, 60bpm30sec プロトコルにおいて同様の結果を示していた(Samukawa, 2011)が, より速い速度の DS においても ROM 拡大に有効であることが示された。しかしながら, 60bpm15sec, 120bpm30sec では差がみられなかった。本研究では,

ROMが拡大した60bpm30secと120bpm15secを4セット実施したプロトコールでは、計60回の足関節底背屈運動のDSを行っていたが、60bpm15secでは4セットの実施により計32回、120bpm30secでは4セットで計120回のDSを行っていたことから、ストレッチングの実施回数がROM拡大に影響していた可能性が示唆された。また、DS速度や回数が多くなることで、反動が付き伸張反射を誘発しやすくなる(覚張, 2004)といわれていることから、ストレッチング効果が低くなったのではないかと考えられた。

DSによる最大筋力の変化については、60 deg/secの足関節底屈最大筋力で、120bpm15secプロトコールでのみ有意な増加が認められた($p < 0.05$)。DSを30秒間12~15回の低速では4セット実施後、膝関節屈曲最大筋力に有意な変化を認めなかった(O'Sullivan, 2009)という報告がある一方で、DSを低速で5回その後高速で10回行うことにより、脚伸展パワーが有意に増加していた(Yamaguchi, 2005)。50 bpmと100 bpmの速度で10回2セットのDSをそれぞれ行ったところ、100 bpmでのみ腓腹筋筋活動の増加がみられた(Fletcher, 2010)。つまり、DSの速度は速い方が、筋力や筋活動を向上させることが示された。しかしながら本研究では、120bpm15secでは有意な増加を認めたものの、120 bpm30secのプロトコールでは筋力の増加がみられなかった。先行研究では、DSを14回2セット後短距離走のタイムは短縮したものの、3セットでは逆に増加し、筋疲労によるパフォーマンス低下の可能性が指摘されていた(Olfa, 2012)。本研究においても、120bpm30 secのプロトコールでは有意差が認められず、これには筋疲労との関連が考えられた。

垂直跳び高については、すべてのプロトコール前後で有意に向上した($p < 0.05$)。過去の研究において、DS後垂直跳び高が有意に向上したという報告は多くある(Fletcher, 2010; Olfa, 2012)が、本結果では各群間のROM、筋力、垂直跳び高の変化量に有意な差は認められなかった。これには、データに個人差が大きかったことや、被験者に対し実験前の活動を制限できなかったこと、日内変動の影響などが考えられた。

4. 実験課題② 足関節底屈筋に対するSSやDSが、筋硬度及びスティフネスに及ぼす影響

1) 目的

ストレッチング法の違いが、筋伸張時の抵抗すなわちスティフネスや硬度に与える変化を、足関節底屈筋に対してSSやDSの効果から調べた。

2) 方法

対象は、右下腿に神経学的及び整形外科的疾患を有しない、健常若年男性 10 名 (平均年齢: 20.0 ± 1.3 歳) とした。各被験者には、本学倫理委員会で承認を得た実験内容を説明し、同意を得てから本実験を行った。ストレッチングプロトコールは、SS, DS, SS と DS を組み合わせた (以下 SS+DS) それぞれを実施し、介入前後に腓腹筋内側頭のスチフネスおよび硬度を計測した。ストレッチングの介入は、SS は Muir らの方法 (Muir, 1999) に準じて実施した。壁に両手をつき、右膝関節完全伸展位で足底全面を接地した状態で右足底屈筋に適度な伸張を感じる肢位にて 30 秒間保持させ、それを 4 セット実施した (図 2)。DS は実験課題①と同様の方法で、足関節底背屈運動を 2 秒 1 回のペースで 30 秒間 4 セット、SS+DS においては、前述の方法で SS 実施後 DS を行わせた。硬度の計測は、組織硬度計 (伊藤超短波製) を用い、腓腹筋内側頭筋腹部にて 3 回計測した平均値を測定値とした (図 3)。スチフネスは、他動による筋伸張時の抵抗トルク変化を調べ、最終背屈域 10° における線形近似直線の傾きを筋腱複合体スチフネスとした (図 4)。グラフは代表例を示す。他動伸張時の抵抗トルクは、等速度性筋力測定機器 (Biodex system 3) により調べた。



図 2 足関節底屈筋に対するスタティックストレッチング



図 3. 組織硬度計

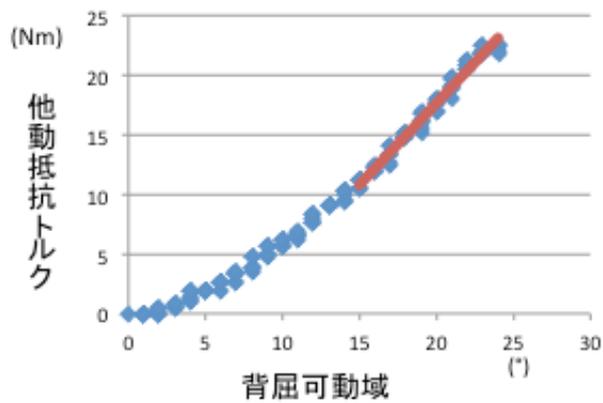


図 4. 筋腱複合体スティフネスの計測

3) 結果

ストレッチング前後のスティフネス変化を図 5 に示す. SS は SS+DS より有意な低下を認め ($p=0.018$), DS より有意な低下傾向を示した ($p=0.058$). 一方, 硬度では各群間に差が認められなかった (図 6).

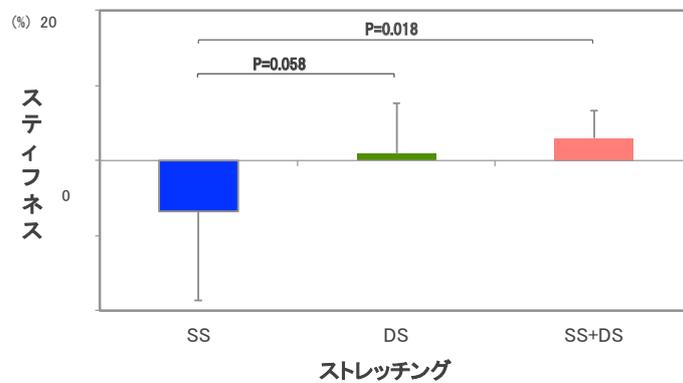


図 5. 各ストレッチング前後の筋腱複合体スティフネス変化

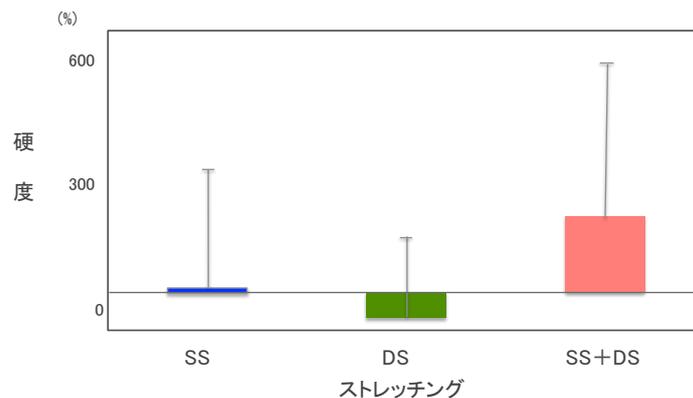


図 6. 各ストレッチング前後の筋硬度の比較

4) 考察

本研究では、筋の長軸方向への伸張に対する抵抗の変化で表されるスティフネスと、短軸方向への組織抵抗として知られる筋硬度が、ストレッチングによる変化を観察した。その結果、筋腱複合体スティフネスは、SS で、DS と比べ有意な低下、SS+DS よりも有意な低下傾向を示した。SS による筋腱複合体スティフネスの低下は既に報告されている(Nakamura, 2010)が、他のストレッチング方法と比較した本研究結果においても、SS は低下傾向を示していた。これまで、SS によるジャンプやダッシュ等運動パフォーマンスの低下(Fletcher, 2004)も示されている一方で、プライオメトリックトレーニングにより筋腱複合体スティフネスが増加し、ジャンプパフォーマンスが向上した(Kubo, 2007)と述べられていることから、SS によるスティフネスの低下と、運動パフォーマンス低下への関係性が示唆された。

一方でストレッチングによる筋硬度への変化はみられなかった。筋硬度に関する研究では、SS により硬度の増加(Nordez, 2008)、あるいは差はみられなかった(Yinen, 2009)と見解が一致しておらず、本研究においてもストレッチング前後および群間で差がみられなかったことから、ストレッチングによって硬度は変化しないと思われた。しかしながら、これにはストレッチングのプロトコールによる影響や、被験者の実験前の活動によっても影響されると考えられるため、今後更なる検討を要するであろう。

5. 実験課題③ SS, DS が筋および腱スティフネスに与える影響

1) 目的

SS による筋腱複合体および筋のスティフネス低下 (Nakamura, 2010; Morse, 2008; Ryan, 2008; Mahieu, 2007) は報告されているが, DS や, SS と DS の組み合わせ (以下 SS+DS) による, 筋腱組織のスティフネスへの効果は, まだ検証されていない. 足関節底屈筋に対する SS, DS, あるいは SS と DS を組み合わせた際の, 筋腱スティフネスに与える影響を調べた.

2) 方法

対象は, 右下肢に現在疼痛や神経外科的および整形外科的疾患のない健常若年男性 10 名 (年齢: 20.0 ± 1.3 歳, 身長: 173.9 ± 4.9 cm, 体重: 64.8 ± 4.9 kg) とした. 各被験者には, 本学倫理委員会で承認を得た研究内容を説明し, 同意を得てから実験を行った. 各ストレッチングは, 右足底屈筋に対する SS, DS, SS+DS を実験課題②と同様の方法で, 日を分けてランダムに実施した. 被験者は, ウォーミングアップとして 10 分間の自転車エルゴメーターを行った後, 右足底屈筋に対して SS, DS, SS+DS のいずれかを実施させた. 各ストレッチング前後に, 筋および腱のスティフネスを測定した.

筋スティフネスの測定は, Morse らの方法 (Morse, 2008) に準じて実施した (図3). 足関節他動背屈時の「他動抵抗トルク-腓腹筋伸張量」の関係から, 筋の単位伸張量あたりの抵抗トルクを筋スティフネスと定義した (単位: Nm/mm). 筋スティフネスは, 全範囲における線形近似直線の傾きとした (図7). 腱スティフネスの測定は, Kubo らの方法¹⁷⁾ に準じて実施した (図4). 足関節最大底屈筋力発揮までの「筋張力-アキレス腱伸張量」の関係から, 腱の単位伸張量あたりの筋張力を腱スティフネスとした (単位: N/mm). 他動抵抗トルクの計測には, 等速度性筋力測定機器 (Biodex system.3, Biodex 社製) を使用した. 測定肢位は, 腹臥位で膝伸展位とし, 足関節を底屈位から 2 deg/sec の角速度で他動的に背屈させた. その際, 被験者にはリラックスして動かないように指示した. 50~100% 最大等尺性随意収縮 (MVC) における関係の線形近似直線の傾きを腱スティフネスとした. 筋および腱伸張量は, 超音波画像診断装置 Mylab 25 (日立メディコ製) を用いて, 腓腹筋内側頭筋腱移行部移動量から調べた.

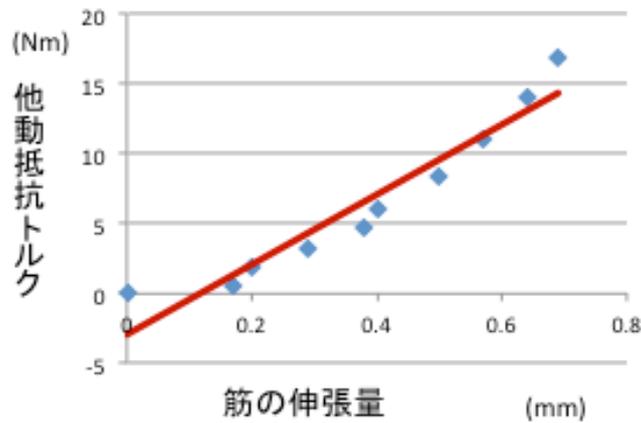


図 7. 筋スティフネスの計測

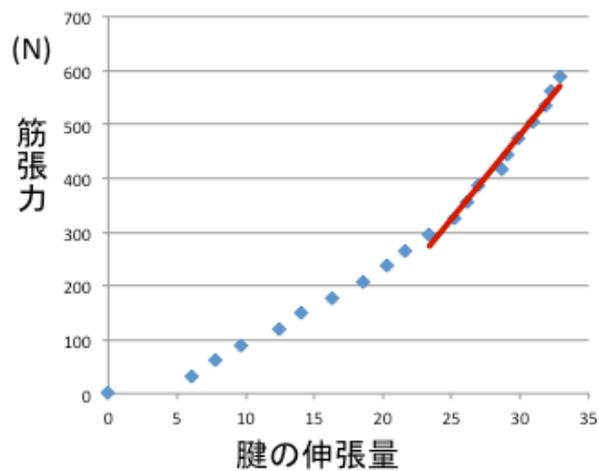


図 8. 腱スティフネスの計測方法

統計は、ストレッチング前後における各スティフネス変化の比較には、対応のある t 検定を使用した。各群における変化率の比較には、繰り返しのある一元配置の分散分析 (ANOVA)、有意差がみられた場合 post hoc test (Fisher's PLSD) を用いた。有意水準は $p < 0.05$ とした。

3) 結果

ストレッチング前後のスティフネス変化を表 2 に示す。DS 前後で、筋スティフネスが有意に増加した ($p = 0.028$)。また、ストレッチングの違いによる筋スティフネスの変化を図 9 に示す。DS 群において、SS 群、SS+DS 群と比べ、有意に増加していた ($p = 0.001 \sim 0.023$)。一方、腱スティフネスについては各群において有意な差は認められなかった (図 10)。

表 2. ストレッチング前後の筋腱スティフネス変化

プロトコール	SS		DS		SS+DS	
	前	後	前	後	前	後
筋スティフネス(Nm/mm)	3.4±1.0	2.3±0.7	<u>3.2±0.5</u>	<u>3.8±0.8</u>	3.7±0.5	3.6±0.6
腱スティフネス(N/mm)	21.5±6.9	20.6±5.0	25.9±9.0	23.9±8.5	20.9±4.7	20.3±7.0

*下線部で有意差を認めた(p<0.05)

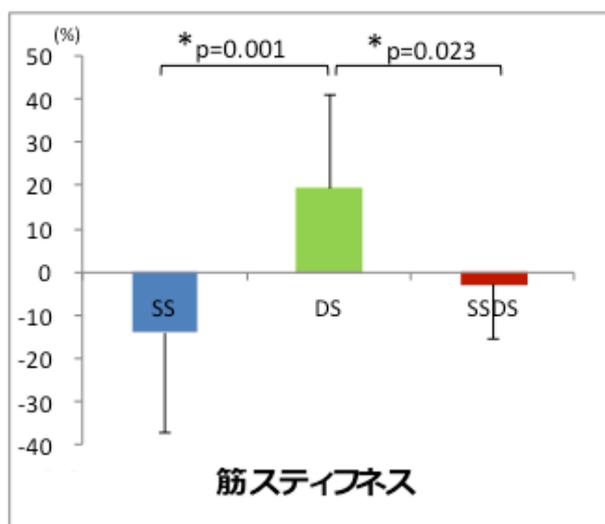


図 9: 各ストレッチングによる筋スティフネス変化率の比較

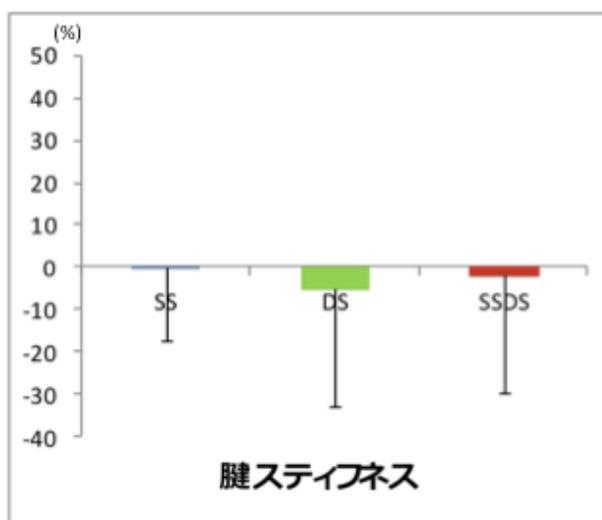


図 10. 各ストレッチングによる腱スティフネス変化率の比較

4) 考察

②の結果から、SS による筋腱複合体スティフネスの低下が示されたが、本実験ではストレッチングの違いが筋および腱のスティフネスに与える変化を調べた。その結果、DS は SS, SS+DS に比べ筋スティフネスの有意な増加が認められた ($p < 0.05$)。DS による垂直跳びや短距離走等運動パフォーマンスの向上効果は過去に示されている(Hough, 2009)が、このメカニズムに関しては筋腱組織のスティフネス向上との関連性が述べられていた。また、下肢筋スティフネスの増加によって弾性エネルギーの蓄積と再利用が増加する(Komi, 2000)という報告があることから、DS によるパフォーマンス向上の一要因に、筋スティフネス増加が関与する可能性が考えられた。また、SS による筋スティフネス変化は、DS, SS+DS と比べ、低下傾向を示していた。これまで、SS による筋腱複合体及び筋スティフネスの低下は報告されている(Nakamura, 2010; Morse, 2008; Ryan, 2008; Mahieu, 2007)が、他のストレッチング手法と比べた本実験においても SS で低下傾向を示し、SS と DS では、筋のスティフネスに与える効果が相反していた。一方で、SS による垂直跳びや短距離走のパフォーマンス低下や、DS による向上効果(Hough, 2009; Fletcher, 2007)から、SS と DS のパフォーマンスに対する作用も相反している。つまり、スティフネスの増加はパフォーマンス向上の要因(Komi, 2010; Kubo, 2007)に、スティフネスの低下はパフォーマンス低下の要因(Herda, 2008)に関与しているのではないかと考えられた。一方で、DS による腱組織の伸張は報告されている(Samukawa, 2011)ものの、SS による腱スティフネスへの影響は小さい(久保, 2010)ことが示された。一方、腱スティフネスへの影響に関する報告は、これまであまり調べられていなかった。腱スティフネスの増加は、筋線維のパワーを効率的に骨へ伝達できるといわれ(Cavagna, 1981)、大きな力の発揮を要する筋出力は、腱スティフネスと正の相関がある(Bojsen-Møller, 2005)といわれていることから、DS は腱の伸張とともにスティフネスへ変化を及ぼし、パフォーマンスの向上に関わっていることが推測された。しかしながら本研究結果では、腱スティフネスにおいて、ストレッチング前後やストレッチング法の違いによる有意な変化は認められなかった。また、腱スティフネスは、等尺性のトレーニングで有意に増加し、運動持続時間の長いトレーニングの方が腱組織への効果が大きい(Kubo, 2001)という報告や、6 週間のストレッチングトレーニングにより、SS では腱スティフネスに有意な変化はないが、反動を用いて行うバリスティックストレッチングで腱スティフネスが有意に低下した(Mahieu, 2007)という報告がある。これらのことから、腱スティフネスへ変化を与えるには、筋腱組織に対し大きな力による刺激を要することが仮説立てられ、自動運動による DS 下では、腱スティフネスへ変化を及

ばす程の刺激量は与えられていなかったことが考えられた。

本研究は、SSとDSの組み合わせによるスティフネスへの変化を初めて検証した報告となる。本研究結果から、SS+DS前後でスティフネスに有意な変化は認められなかった。SSとDSを組み合わせることで、スティフネスへのDSの効果を打ち消す可能性が考えられた。これまでに、SSとDSの組み合わせによる研究は、パフォーマンスに着目して検証されている。SSとDSを組み合わせることで、SSによる敏捷性パフォーマンスの低下を防ぐ(Ashril, 2010)という報告や、長時間のSSに短時間のDSを組み合わせることで、パフォーマンス低下を抑えられる(Wong, 2011)という研究結果から、SSとDSを組み合わせることで、SSによるパフォーマンスへの負の効果が弱められると思われた。

また、今回はスポーツ現場で広く行われているという理由から、SSの後にDSを行ったが、実施順による結果への影響も考えられた。今後プロトコルなどを再考して検討することで、より効果的なストレッチング方法を考案する手掛かりになるかもしれない。

6. 総合考察

本研究では、ストレッチングによる効果的なウォーミングアップ方法の検討を目的に、SSおよびDS、あるいはそれらの組み合わせによる効果を調べた。最初の実験では、ROMを向上させるためには60bpm30secもしくは120bpm15secのプロトコルで、60deg/secでの最大等速度性筋力の増加には120bpm15sec、垂直跳びパフォーマンスについては、どのプロトコルにおいても有効であったことが示された。次に、ストレッチング方法の違いが筋腱複合体スティフネスや硬度に与える影響について検証し、SSで筋腱複合体スティフネスは低下していた。また、ストレッチング法の違いが筋や腱のスティフネス変化に及ぼす影響については、SSによって筋スティフネスは低下し、DSでは逆に筋スティフネスが増加した。これらの結果より、DSでは自動運動の速度によって、ROMや筋力、垂直跳び高への効果が異なること、またSSやDS、あるいはそれらを組み合わせるストレッチング法の検討では、SSによる筋スティフネスの低下と、DSによる筋スティフネスの増加を認めた。これまでの報告で、SSによる運動パフォーマンスの低下(Behm, 2004)や、DSによる運動パフォーマンスの向上(Yamaguchi, 2005; Hough, 2009; Moran, 2009)が示されていることと合わせて考えると、筋スティフネスの変化は運動パフォーマンスへの有効性がみられるかもしれない。一方、SSとDSを組み合わせることで、スティフネスや硬度に変化がみられなかったことから、スティフネスは多くの

研究で示されているように運動パフォーマンスと関連して考えるのであれば、やはり SS と DS を組み合わせてスティフネス低下を防ぐことは必要ではないかと思われた。

また、SS は、筋の伸張からゴルジ腱器官による自原抑制 (I b 抑制) を生じさせ、目標筋の運動ニューロンの興奮性を抑制し、弛緩させる。それに対し DS は、拮抗筋群の収縮により相反抑制 (I a 抑制) を生じさせ、目標筋の運動ニューロンの興奮性を抑制し、弛緩させる。このように、SS と DS の生理学的機序が異なり、このような生理学的機序の違いがスティフネスへ異なる作用を及ぼしたのかもしれない。しかしながら、DS のメカニズムやその効果も解明されていない部分が多いため、今後更なる知見の蓄積が必要とされる。

6. 謝辞

本研究を実施するにあたり、助成頂きました財団法人上月スポーツ教育財団に深く感謝の旨を表したい。また、実験機器をお貸し下さいましたウチダシステム株式会社様、本研究にご協力頂きました被験者の皆様、実験をお手伝い頂きました三上兼太郎氏、三森由麻氏、坂本健人氏、森田寛子氏にも深く感謝いたします。なお、本研究の一部は、第67回日本体力医学会大会および第23回日本臨床スポーツ医学会学術集会において発表いたしました。

7. 引用文献

- 1) Andersen JC, et al. : Stretching before and after exercise: Effect on muscle soreness and injury risk. J Athl Train 40: 218-220, 2005.
- 2) Ashril BY, et al.: Acute effect of different stretching methods on illinois agility test in soccer players. J Strength Cond Res 24: 2698-2704, 2010.
- 3) Bandy WD, et al.: The effect of static stretch and dynamic range of motion training on the flexibility of the hamstring muscles. J Orthop Phys Ther 27: 295-300, 1998.
- 4) Behm DG, et al.: Effect of acute static stretching on force, balance, reaction time, and movement time. Medicine and Science in Sports and Exercise 36: 1397-1402, 2004.
- 5) Bojsen-Møller J, et al.: Muscle performance during maximal isometric and dynamic contractions is influenced by the stiffness of the tendinous structures. J Appl Physiol 99: 986-994, 2005.
- 6) Cavagna GA, et al.: Effects of speed and extent of stretching on the elastic properties of active frog-muscle. J Exp Biol 91: 131-143, 1981.
- 7) Cornwell A, et al: Acute effects of stretching on the neuromechanical properties of the triceps surae muscle complex. Eur J Appl Physiol 86: 428-434, 2002.

- 8) Fletcher IM, et al.: The effect of different warm-up stretch protocols on 20-meter sprint performance in trained rugby union players. *J Strength Cond Res* 18: 885-888, 2004.
- 9) Fletcher IM, et al.: The acute effects of combined static and dynamic stretch protocols on fifty-meter sprint performance in track-and-field athletes. *J Strength Cond Res* 21: 784-787, 2007.
- 10) Fletcher IM: The effect of different dynamic stretch velocities on jump performance. *Eur J Appl Physiol* 109: 491-498, 2010.
- 11) Hartig DE, et al: Increasing hamstring flexibility decreases lower extremity over use injuries in military basic trainees. *Am J Sports Med* 1999; 27: 173-176.
- 12) Herda TJ, et al.: Acute effects of static versus dynamic stretching on isometric peak torque, electromyography, and mechanomyography of the biceps femoris muscle. *J Strength Cond Res* 22: 809-817, 2008.
- 13) Hough PA, et al.: Effects of dynamic and static stretching on vertical jump performance and electromyographic activity. *J Strength Cond Res* 23: 507-512, 2009.
- 14) Jason R, et al.: The acute effects of dynamic and ballistic stretching on vertical jump height, force, and power. *J Strength Cond Res* 22: 1844-1849, 2008.
- 15) Komi PV: Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigued muscle. *J Biomech* 33: 1197-1206, 2000.
- 16) Kubo K, et al.: Effect of different duration isometric contractions on tendon elasticity in human quadriceps muscles. *J Physiol* 536: 649-655, 2001.
- 17) Kubo K, et al.: Influence of static stretching on viscoelastic properties of human tendon structures in vivo. *J Appl Physiol* 90: 520-527, 2001.
- 18) Kubo K, et al.: Is passive stiffness in human muscles related to the elasticity of tendon structures. *Eur J Appl Physiol* 85: 226-232, 2001.
- 19) Kubo K, et al.: Effect of Plyometric and Weight Training on Muscle-Tendon Complex and Jump Performance. *Med Sci Sports Exerc* 39: 1801-1810, 2007.
- 20) Magnusson SP, et al.: Biomechanical responses to repeated stretches in human hamstring muscle in vivo. *Am J Sports Med* 24: 622-628, 1996.
- 21) Magnusson SP, et al.: A biomechanical evaluation of cyclic and static stretch in human skeletal muscle. *Physiology and Biochemistry* 19: 310-316, 1998.
- 22) Mahieu NN, et al.: Effect of Static and Ballistic Stretching on the Muscle-Tendon Tissue Properties. *Med Sci Sports Exerc* 39: 494-501. 2007.
- 23) Moran KA, et al.: Dynamic stretching and golf swing performance. *Int J Sports Med* 30: 113-118, 2009.
- 24) Morse CI, et al.: The acute effect of stretching on the passive stiffness of the human gastrocnemius muscle tendon unit. *J Physiol* 586: 97-106, 2008.
- 25) Muir IW, et al.: Effect of a static calf-stretching exercise on the resistive torque during passive ankle dorsiflexion in healthy subjects. *J Orthop Sports Phys Ther* 29: 106-115, 1999.
- 26) Nakamura M, et al.: Acute and prolonged effect of static stretching on the passive stiffness of the human gastrocnemius muscle tendon unit in vivo. *J Orthop Res* 29: 1759-1763, 2010.
- 27) Nordez

- 28) Olfa T, et al.: The effect of warm-ups incorporating different volumes of dynamic stretching on 10- and 20-m sprint performance in highly trained male athletes. *J Strength Cond Res* 26: 63-72, 2012.
- 29) O'Sullivan K, et al.: The effect of warm-up, static stretching and dynamic stretching on hamstring flexibility in previously injured subjects. *BMC Musculoskelet Disord* 10: 2009.
- 30) Purslow PP, et al.: Strain-Induced reorientation of an intramuscular connective-tissue network - implications for passive muscle elasticity. *J Biomech* 22: 21-31, 1989.
- 31) Ryan ED, et al.: The time course of musculotendinous stiffness responses following different durations of passive stretching. *J Orthop Sports Phys Ther* 38: 632-639, 2008.
- 32) Samukawa M et al.: The effects of dynamic stretching on plantar flexor muscle-tendon tissue properties. *Man Ther* 16: 618-622, 2011.
- 33) Trent J et al.: Acute effects of static versus dynamic stretching on isometric peak torque, electromyography, and mechanomyography of the biceps femoris muscle. *J Strength Cond Res.* 22: 809-807, 2008.
- 34) Witvrouw E, et al.: Muscle flexibility as a risk factor for developing muscle injuries in male professional soccer players. *Am J Sports Med* 31: 41- 46, 2003.
- 35) Wong DP, et al: Short durations of static stretching when combined with dynamic stretching do not impair repeated sprints and agility. *J Sports Sci Med* 10: 408-416, 2011.
- 36) Yamaguchi T et al.: Effects of static stretching for 30 seconds and dynamic stretching on leg extension power. *J Strength Cond Res* 19: 677-68, 2005.
- 37) Yinen J et al.: Effect of stretching on hamstring muscle compliance. *J Rehabil Med* 41: 80-84, 2009.
- 38) 浅井友詞：関節可動域制限に対するストレッチングのエビデンス. *理学療法* 20: 634-641, 2003.
- 39) 覚張秀樹他：ウォーミングアップ・クーリングダウンにおけるストレッチング. *理学療法* 21: 1482-1491, 2004
- 40) 久保啓太郎：セラピューティック・ストレッチングによる筋腱複合体の粘弾性の変化. *理学療法* 27 : 967-972, 2010.