

学位申請論文

アクティブ ID ストレッチングが筋機能に与える効果の研究

主査：清永 明 教授

副査：向野 義人 教授

檜垣 靖樹 教授

布目 寛幸 教授

2014 年度

福岡大学大学院 スポーツ健康科学研究科

博士課程後期

GD130502 中村 浩一

目次

第一章 研究の背景

- 1.1. 関節可動域に対するストレッチングの効果
- 1.2. 筋出力に対するストレッチングの効果
- 1.3. スティフネスに対するストレッチングの効果
- 1.4. ストレッチングによる筋電図への影響
- 1.5. パフォーマンスに対するストレッチングの効果
- 1.6. ストレッチング研究の課題
- 1.7. 研究目的

第二章 アクティブ ID ストレッチングが柔軟性及び等速性筋出力に及ぼす影響

2.1. 緒言

2.2. 方法

- A. 対象者
- B. 柔軟性の測定方法
- C. 等速性筋出力の測定方法
- D. ストレッチング方法
- E. 統計分析

2.3. 結果

- A. 柔軟性の結果
- B. 等速性筋出力の結果

2.4. 考察

2.5. 結語

第三章 アクティブ ID ストレッチングが筋緊張抑制効果に及ぼす影響

3.1. 緒言

3.2. 方法

- A. 対象者
- B. 筋緊張抑制効果に対する測定方法
- C. ストレッチング方法
- D. 統計分析

3.3. 結果

H 波および M 波の最大振幅比 (H max/M max) の比較

3.4. 考察

3.5. 結語

第四章 結論

4.1. 本研究の結論

第五章 今後の研究課題

5.1. 今後の研究課題

第六章 図表

第七章 引用文献

第一章

研究の背景

スポーツ健康科学領域におけるストレッチング研究は、今日に至るまで枚挙にいとまがなく、そのアウトカムは「柔軟性」を代表として、筋力やパフォーマンス、電気生理、疼痛、自律神経活動、さらには精神心理、**Quality of life** に至るまで実に多彩である。また、その対象は、スポーツ選手のみならず、高齢者や疾患を有する者も含まれており、年齢や性別を問わず様々な場面で、ストレッチング方法の違いがその効果へ及ぼす影響について詳細に検証されてきている。一方で、著者の専門領域とするスポーツリハビリテーション領域において、筋組織を対象とするリハビリテーションは非常に重要なアプローチの一つとなっている。ストレッチングと同じく代表的なものとして、筋力トレーニングがあるが、本トレーニングはこれまで目的や対象に応じた精密な方法論や効果に関するエビデンスの構築が進んできた。しかしながら、ストレッチングにおいては、方法論が確立しておらず未だその段階に至っていない。これらのことから、適切なストレッチングの方法、対象、さらにはその効果の検証が急務と考えられる。

そこで、数多く存在するストレッチング方法の中から、まずは最も多くの研究成果が蓄積されている「スタティック・ストレッチング」を中心に、これまでの先行研究の結果を、関節可動域、筋出力、スティフネス、筋電図、パフォーマンスの観点から整理するとともに、現段階の見解と課題を下記に示す。

1.1. 関節可動域に対するストレッチングの効果

健常者の大腿四頭筋を対象に、ストレッチング時間を 10、20、30、60 秒の 4 種類設定し、スタティック・ストレッチングを行った。結果、介入前と比較して、膝関節屈曲可動域は 30、60 秒のストレッチングで有意に増加した (Siatras TA et al.2008)。健常者の下腿三頭筋を対象に、2、4、8 分のスタティック・ストレッチングを行った。結果、

介入前と比較して、足関節背屈可動域はすべての群において介入直後に増大した (Ryan ED et al.2008)。これらの結果から、健常者を対象とした1回みのスタティック・ストレッチングでは、その直後に関節可動域を改善する効果が認められ、ストレッチングの時間は30秒以上が効果的であることが示唆される。

健常者のハムストリングスを対象に、15秒のスタティック・ストレッチングを10回行った。結果、介入前と比較して膝関節伸展可動域は5回目のストレッチングまで有意に増加し、最も関節可動域が増加したのは1回目のストレッチングであった (Boyce D et al.2008)。ハムストリングスを対象に、15秒×3回×2種類または30秒×3回×2種類のスタティック・ストレッチングを行った。結果、介入前と比較して、どちらの群においてもハムストリングスの筋力が低下し、膝関節伸展可動域が増大した (Brandenburg JP. 2006)。健常男性の下腿三頭筋を対象に、1分間のスタティック・ストレッチングを5回行った。結果、介入前と比較して、足関節背屈可動域と筋腱複合体の伸張量が有意に増加した (Morse CI et al.2008)。等速性運動機器を用い、ハムストリングスを対象に5 deg/secの速度でアイソキネティック・ストレッチングを5回行った後、30秒のスタティック・ストレッチングを5回行った。結果、介入前と比較して、スタティック・ストレッチング後に膝関節伸展可動域が有意に増大した (Nordez A et al.2010)。これらの結果から、複数回のスタティック・ストレッチングは関節可動域を改善し、その効果は1回目に著明であることが示唆される。

健常者の大腿四頭筋、ハムストリングス、下腿三頭筋を対象に、45秒のスタティック・ストレッチングを6回行った。結果、コントロール群と比較して長座体前屈は有意に高値を示し、120分後まで持続した (Power K et al.2004)。体の硬い健常男性のハムストリングスを対象に、30秒のスタティック・ストレッチングを4回行った。結果、

介入前と比較して、膝関節伸展可動域はストレッチング 1、3 分後まで増大したが、6 分後以降は差が認められなくなった (Depino GM et al.2000)。健常者の下腿三頭筋を対象に、2、4、8 分のスタティック・ストレッチングを行った。結果、介入前と比較して足関節背屈可動域はすべての群で増大したが、10 分後には元に戻った (Ryan ED et al.2008)。健常男性の下腿三頭筋を対象に 1 分のスタティック・ストレッチングを 5 回行った。結果、介入前と比較して、足関節背屈可動域はストレッチング直後、15、30 分後に有意に高値を示した (Mizuno T et al.2013)。これらの結果から、スタティック・ストレッチング後の関節可動域増大は、ストレッチング時間、対象とする筋によって異なることが示唆される。

健常女性のハムストリングスおよび大腿四頭筋を対象に、20 分のスタティック・ストレッチングまたはバリスティック・ストレッチングを行った。結果、バリスティック・ストレッチングと比較して、スタティック・ストレッチングの股関節屈曲可動域は有意に増加した (Bacurau RF et al.2009)。健常学生の腰部脊柱筋群、大腿四頭筋、ハムストリングスを対象に、30 秒×3 回のスタティック・ストレッチングまたはバリスティック・ストレッチングを行った。結果、ストレッチング方法の違いによって腰椎屈曲、膝関節、足関節底屈の各関節可動域に差は認められなかった (Beedle BB et al.2007)。健常者の大腿四頭筋を対象に、30 秒のスタティック・ストレッチングまたは PNF ストレッチングを 4 回行った。結果、介入前と比較して、どちらのストレッチング様式においても膝関節屈曲可動域が増加した (Marek SM et al.2005)。健常者のハムストリングスを対象に、30 秒のスタティック・ストレッチング単独またはハムストリングスの等尺性収縮とスタティック・ストレッチングを組み合わせた PNF ストレッチングを行った。結果、どちらのストレッチング方法においても介入後に膝関節伸展可動域が有意

に増加した。さらに、スタティック・ストレッチングと比較して、PNF ストレッチングの増加角度は有意に大きかった (O'Hora J et al.2011)。健常男性の下肢筋群を対象に、30 秒×2 回×7 種類のスタティック・ストレッチングまたは 11 種類のダイナミック・ストレッチングを行った。結果、非介入時と比較して、長座体前屈はスタティック・ストレッチングおよびダイナミック・ストレッチング後に有意に増加した (Perrier ET et al.2011)。健常者のハムストリングスを対象に、ウォーミングアップ後に 30 秒のスタティック・ストレッチングまたはダイナミック・ストレッチングを 3 セット行った。結果、ウォーミングアップ後と比較して、スタティック・ストレッチング後の膝関節伸展可動域は有意に増加したが、ダイナミック・ストレッチング後の膝関節伸展可動域は有意に低下した (O'Sullivan K et al.2009)。これらの結果から、関節可動域に対する効果は認められるものの、スタティック・ストレッチングと他のストレッチングの比較では一定した見解は得られていないことがわかる。

健常男性のハムストリングスを対象に、30 秒のスタティック・ストレッチングを 1 日 3 回、週に 5 回行い、6 週間継続した。結果、介入前と比較して、膝関節伸展可動域が有意に増大した (Reid DA and McNair PJ.2004)。健常者のハムストリングスを対象に、30 秒のスタティック・ストレッチングを 1 日 3 回、週に 3 日行い、3 週間継続した。結果、介入前と比較して膝関節伸展可動域が有意に増大した (Decoster LC et al.2004)。健常者のハムストリングスを対象に 20 分のスタティック・ストレッチングを 4 週間継続した。結果、介入前と比較して股関節屈曲可動域が有意に増加した (Folpp H et al.2006)。健常者のハムストリングスおよび下腿三頭筋を対象に、30 秒のスタティック・ストレッチングを 1 日 4 回、週に 4 日行い、6 週間継続した。結果、介入前と比較して膝関節伸展可動域が有意に増大した (Yuktasir B and Kaya F.2009)。健常女

性の下腿三頭筋を対象に、15秒のスタティック・ストレッチングを1日10回、週5日行い、6週継続した。結果、コントロール群と比較して、足関節背屈可動域が有意に増加した (Gajdosik RL.2007)。健常者の下腿三頭筋を対象に、1日合計10分のスタティック・ストレッチングを週5日行い、6週継続した。結果、コントロール群と比較して、足関節背屈可動域が有意に増加した (Guissard N and Duchateau J.2004)。健常者の下肢筋群を対象に、15秒のストレッチングを1日3回、週に3日行い、10週間継続した。結果、ストレッチング前と比較して長座体前屈が有意に増大した (Kokkonen J et al.2007)。13~15歳の若年健常学生の大腿四頭筋およびハムストリングスを対象に、スプリント・トレーニングに加え、20秒のスタティック・ストレッチングを1日2回行い、6週継続した。結果、介入前と比較して、長座体前屈が有意に増大した (Chaouachi A et al.2008)。これらの結果から、健常者を対象とした長期間のスタティック・ストレッチングは、関節可動域を改善させることが示唆される。

健常者の下腿三頭筋を対象に、20秒のスタティック・ストレッチングまたはバリスティック・ストレッチングを1日5回行い、6週間継続した。結果、介入前と比較して、両群とも足関節背屈可動域は有意に増大した (Mahieu NN et al.2007)。健常者の下腿三頭筋を対象に、15秒のPNFストレッチングを1日5回行い、6週継続した。結果、コントロール群と比較して、介入後の足関節背屈可動域は有意に増加した (Mahieu NN et al.2009)。健常男性のハムストリングスおよび下腿三頭筋を対象に、30秒のスタティック・ストレッチングまたはPNFストレッチングを1日4回、週4日行い、6週継続した。結果、介入前と比較して、両群とも膝関節伸展可動域は有意に増大した (Yuktasir B and Kaya F.2009)。これらの結果から、関節可動域に対する長期間のストレッチングの効果は、各ストレッチング方法とも認められるが、明確な差はないこと

が示唆される。

1.2. 筋出力に対するストレッチングの効果

健常者の下腿三頭筋を対象に、2、4、8分のスタティック・ストレッチングを行った。結果、介入前と比較して、随意および電気刺激による足関節底屈等尺性収縮時のピークトルクおよび twitch RFD が有意に低下した (Ryan ED et al.2008)。健常者の大腿四頭筋を対象に、ストレッチング時間を 10、20、30、60 秒の 4 種類設定し、スタティック・ストレッチングを行った。結果、介入前と比較して、膝関節伸展等尺性収縮時および 60、180deg/sec の求心性収縮時のピークトルクは 30、60 秒のストレッチングで有意に低下した (Siatras TA et al.2008)。健常者のハムストリングスを対象に、90 秒のスタティック・ストレッチングを 6 回行った。結果、介入前と比較して、膝関節屈曲角度が大きい (ハムストリングス短縮位) ほど膝関節屈曲等尺性筋力は低下したが、伸展位 (ハムストリングス伸張位) では等尺性筋力は変化しなかった (McHug MP et al.2008)。健常者の大腿四頭筋を対象に、30 秒のスタティック・ストレッチングを 4 回行った。結果、介入前と比較して、60deg/sec での膝関節伸展求心性筋力は有意に低下した (Cramer JT et al.2005)。健常者の大腿四頭筋を対象に、30 秒のスタティック・ストレッチングを 4 回行った。結果、介入前と比較して、60、300deg/sec での膝関節伸展求心性筋力は有意に低下した。また、angle at peak torque は変化しなかった (Cramer JT et al.2007)。健常者の大腿四頭筋を対象に、30 秒のスタティック・ストレッチングを 4 種類、それぞれ 4 回行った。結果、ストレッチング前と比較して、60、180deg/sec での膝関節伸展遠心性筋力、angle at peak torque は変化しなかった (Cramer JT et al.2007)。健常者の大腿四頭筋、ハムストリングス、下腿三頭筋を対象に、45 秒のスタティック・ストレッチングを 3 回行った。結果、コントロール群と比較し

て、膝関節伸展等尺性筋力に差は認められなかった (Behm DG et al.2004)。健常者の大腿四頭筋、ハムストリングス、下腿三頭筋を対象に、45 秒のスタティック・ストレッチングを 6 回行った。結果、コントロール群と比較して、随意および電気刺激による膝関節伸展等尺性収縮時の発揮トルクは有意に低下した (Power K et al.2004)。健常者の下腿三頭筋を対象に、30 秒のスタティック・ストレッチングまたは 6 秒の等尺性収縮後に、24 秒のスタティック・ストレッチングを行う contract-relax をそれぞれ 20 回行った。結果、介入前と比較して、両群ともに足関節底屈最大等尺性筋力は有意に低下した (Babault N et al.2010)。健常女性の下腿三頭筋を対象に、120 秒のスタティック・ストレッチングを 5 回行った。結果、介入前と比較して、足関節底屈等尺性筋力は有意に低下した (Weir DE et al.2005)。健常者の下腿三頭筋を対象に、135 秒のスタティック・ストレッチングを 13 回行った。結果、介入前と比較して、随意および電気刺激による足関節底屈等尺性収縮時の最大筋力はストレッチング 60 分後まで有意に低下し続けた。また、電気刺激による等尺性収縮時の optimal angle はストレッチング直後のみ有意に増加した (Fowles JR et al.2000)。これらの結果から、健常者を対象としたスタティック・ストレッチングは等尺性筋力を低下させ、他の収縮様式においても低下させる傾向があることが示唆される。

健常女性のハムストリングスおよび大腿四頭筋を対象に、20 分のスタティック・ストレッチングまたはバリスティック・ストレッチングを行った。結果、バリスティック・ストレッチングと比較して、スタティック・ストレッチングのレッグプレスは 1RM で有意に低下した (Bacurau RF et al.2009)。健常者の大腿四頭筋を対象に、30 秒のスタティック・ストレッチングまたは PNF ストレッチング (hold-relax) を 4 回行った。結果、介入前と比較して、両群ともに 60、300deg/sec での膝関節伸展求心性収縮時の平均パワーは有意に低下した (Marek SM et al.2005)。健常者の下腿三頭筋を対象に、30 秒のスタティック・

ストレッチングまたは 6 秒の等尺収縮後に、24 秒のスタティック・ストレッチングを行う contract-relax をそれぞれ 20 回行った。結果、ストレッチング前と比較して、両群ともに足関節底屈最大等尺性筋力は有意に低下した (Babault N et al.2010)。健常学生の胸部筋群、肩関節周囲筋群、上腕三頭筋、大腿四頭筋、ハムストリングスを対象に、30 秒×3 回のスタティック・ストレッチングまたはダイナミック・ストレッチングを行った。結果、ストレッチング方法の違いによってベンチプレス、レッグプレスの 1RM に差はなかった (Beedle BB and Mann CL.2007)。女性競技者の大腿四頭筋およびハムストリングスを対象に、20 秒×2 回のスタティック・ストレッチングまたはダイナミック・ストレッチングを行った。結果、介入前と比較して、スタティック・ストレッチングを行った群では、60、180deg/sec での膝関節伸展および屈曲求心性筋力、遠心性筋力はいずれも低下した。一方、ダイナミック・ストレッチングを行った群では、60、180deg/sec での膝関節伸展および屈曲求心性筋力、遠心性筋力はいずれも有意に増加した (Sekir U et al.2010)。健常女性の大腿四頭筋を対象に、30 秒×3 回のスタティック・ストレッチング、またはダイナミック・ストレッチングおよび 20 秒×3 回の PNF ストレッチング (contract-relax) を行った。結果、介入前と比較して、スタティック・ストレッチングおよび PNF ストレッチングでは、60、180deg/sec での膝関節伸展求心性収縮時の発揮パワーは変化しなかった。また、ダイナミック・ストレッチング後の発揮パワーの増加率は、スタティック・ストレッチングおよび PNF ストレッチングよりも有意に高値を示した (Manoel ME et al.2008)。健常者の下肢筋群を対象に、30 秒のスタティック・ストレッチングまたはダイナミック・ストレッチングを行った。結果、コントロール群と比較して、下肢伸展パワーはスタティック・ストレッチングでは変化せず、ダイナミック・ストレッチングでは有意に増加した (Yamaguchi T and Ishii K.2005)。健常男性のハムストリングスを対象に、30 秒のコンス

タントアングル・ストレッチング（スタティック・ストレッチング）をそれぞれ 16 セット行った。結果、介入前と比較して、両群ともに、膝関節屈曲最大等尺性筋力は有意に低下した（Herda TJ et al.2011）。これらの結果から、ダイナミック・ストレッチングは筋力を増加させるが、スタティック・ストレッチング、PNF ストレッチング、バリスティック・ストレッチングは筋力を低下させる傾向を持つことが示唆される。

健常者の下腿三頭筋を対象に、1 日合計 10 分のスタティック・ストレッチングを週 5 日行い、6 週間継続した。結果、介入前と比較して、足関節底屈最大等尺性筋力は変化しなかった（Guissard N and Duchateau J.2004）。健常者の下肢筋群を対象に、15 秒のスタティック・ストレッチングを 1 日 3 回、週に 3 日行い、10 週間継続した。結果、ストレッチング前と比較して、膝関節屈曲 1RM、伸展 1RM は有意に増加した（Kokkonen J et al.2007）。これらの結果から、長期間のスタティック・ストレッチングは、短期効果と異なり、筋力を低下させない可能性が示唆される。

1.3. スティフネスに対するストレッチングの効果

健常者の下腿三頭筋を対象に、2、4、8 分のスタティック・ストレッチングを行った。結果、介入前と比較して、すべての群でスティフネスが低下した。また、コントロール群と比較して、2 分ストレッチングを行った群ではストレッチング直後のみ、4 分および 8 分ストレッチングを行った群はストレッチング 10 分後までスティフネスが低値を示した（Ryan ED et al.2008）。健常男性の下腿三頭筋を対象に、1 分のスタティック・ストレッチングを 5 回行った。結果、介入前と比較して、スティフネスは有意に低下した（Morse CI et al.2008）。これらの結果から、スタティック・ストレッチングはスティフネスを低下させ、その効果はストレッチング時間に依存する可能性が示唆される。

健常者の下腿三頭筋を対象に、5分のスタティック・ストレッチングを行った。結果、介入前と比較して、腓ステイフネスが低下した (Burgess KE et al.2009)。健常者の下腿三頭筋を対象に、60秒のスタティック・ストレッチングを行った。結果、介入前と比較して、腓ステイフネスに変化は認められなかった (Kay AD and Blazevich AJ.2009)。これらの結果から、スタティック・ストレッチングによる腓ステイフネスの変化の程度は、ストレッチング時間に依存する可能性が示唆される。

健常者の下腿三頭筋を対象に、30秒のコンスタントトルク・ストレッチングを4回行った。結果、介入前と比較して、ステイフネスは3回以上のストレッチングにより有意に低下した (Ryan ED et al.2009)。健常男性のハムストリングスを対象に、30秒のコンスタントアングル・ストレッチング (スタティック・ストレッチング) またはコンスタントトルク・ストレッチングをそれぞれ16セット行った。結果、介入前と比較して、ステイフネスはコンスタントトルク・ストレッチングのみ有意に低下した (Herda TJ et al.2011)。健常者の下腿三頭筋を対象に、合計60秒のスタティック・ストレッチングまたはサイクリック・ストレッチングを行った。結果、介入前と比較して、ステイフネスはサイクリック・ストレッチング後に有意に低下したが、スタティック・ストレッチング後には変化は認められなかった (McNair PJ et al.2001)。これらの結果から、コンスタントトルク・ストレッチング、サイクリック・ストレッチングは、スタティック・ストレッチングよりステイフネスを低下させる可能性が示唆される。

健常者の下腿三頭筋を対象に、1日合計10分のストレッチングを週5日行い、6週間継続した。結果、介入前と比較して、同一可動範囲におけるステイフネスは低下した (Guissard N and Duchateau J.2004)。健常者の下腿三頭筋を対象に、45秒のスタティック・ストレッチングを1日10回行い、20日間継続した。結果、介入前と比較して、ステイフネスが

有意に低下した (Kubo K et al.2002)。健常者のハムストリングスを対象に、合計 6 分間のスタティック・ストレッチングを週 5 回行い、4 週間継続した。結果、介入前と比較して、スティフネスが有意に低下した (Marshall PW et al.2011)。健常女性の下腿三頭筋を対象に、15 秒のスタティック・ストレッチングを 1 日 10 回、週 5 日行い、6 週継続した。結果、介入前と比較して、スティフネスは変化しなかった (Gajdosik RL et al.2007)。これらの結果から、長期間のスタティック・ストレッチングはスティフネスを低下させる傾向が示唆される。

健常者の下腿三頭筋を対象に、20 秒のスタティック・ストレッチングまたはバリスティック・ストレッチングを 1 日 5 回行い、6 週間継続した。結果、介入前と比較して、腱スティフネスはスタティック・ストレッチング後に変化しなかったが、バリスティック・ストレッチング後に有意に低下した (Mahieu NN et al.2007)。この結果から、長期間のバリスティック・ストレッチングは腱スティフネスを低下させる可能性が示唆される。

1.4. ストレッチングによる筋電図への影響

健常者の大腿四頭筋を対象に、30 秒のスタティック・ストレッチングまたは PNF ストレッチングを 4 回行った。結果、介入前と比較して、60、300deg/sec での膝関節伸展求心性収縮時の大腿直筋および外側広筋の EMG 振幅は、両群ともに有意に低下した (Marek SM et al.2005)。健常者の大腿四頭筋を対象に、30 秒のスタティック・ストレッチングを 4 回行った。結果、介入前と比較して、60、240deg/sec での膝関節伸展求心性収縮時の大腿直筋および外側広筋の EMG 振幅は有意に低下した (Cramer JT et al.2005)。健常者の大腿四頭筋を対象に 30 秒のスタティック・ストレッチングを 4 回行った。結果、介入前と比較して、60、300deg/sec での膝関節伸展求心性収縮時の大腿直筋の EMG 振幅は有意に

低下した (Cramer JT et al.2007)。健常者の下腿三頭筋を対象に、60 秒のスタティック・ストレッチングを行った。結果、介入前と比較して、足関節底屈等尺性収縮時の下腿三頭筋の EMG 振幅が有意に低下した (Kay AD and Blazevich AJ.2009)。女性競技者の大腿四頭筋およびハムストリングスを対象に、20 秒×2 回のスタティック・ストレッチングまたはダイナミック・ストレッチングを行った。結果、介入前と比較して、60、180deg/sec の膝関節伸展求心性および遠心性収縮時の外側広筋、膝関節屈曲求心性および遠心性収縮時のハムストリングスの EMG 振幅は、スタティック・ストレッチング後に有意に低下した (Sekir U et al.2010)。健常者の下腿三頭筋を対象に、2、4、8 分のスタティック・ストレッチングを行った。結果、介入前と比較して、すべての群において足関節底屈等尺性収縮時の EMG 振幅は変化しなかった (Ryan ED et al.2008)。健常者のハムストリングスを対象に、30 秒のスタティック・ストレッチングまたはダイナミック・ストレッチングを 4 回行った。結果、介入前と比較して、膝関節屈曲等尺性収縮時の大腿二頭筋の EMG 振幅はスタティック・ストレッチング後では変化は認められなかった (Herda TJ et al.2008)。健常者の下腿三頭筋を対象に、30 秒のスタティック・ストレッチングまたは 6 秒の等尺性収縮後に 24 秒のスタティック・ストレッチングを行う contract relax をそれぞれ 20 回行った。結果、介入前と比較して、足関節底屈等尺性収縮時のヒラメ筋の EMG 活動は両群ともに有意に低下したが、腓腹筋の EMG 活動はスタティック・ストレッチング後では低下し、contract relax 後には増加した (Babault N et al.2010)。健常者の大腿四頭筋、ハムストリングス、下腿三頭筋を対象に、45 秒のスタティック・ストレッチングを 6 回行った。結果、介入前と比較して、等尺性収縮中に行う電気刺激時の大腿四頭筋および下腿三頭筋の EMG 活動に変化は認められなかった (Power K et al.2004)。健常者の大腿四頭筋を対象に、合計 270 秒のスタティック・ストレッチングを 3 回行った。結果、コントロール群と比較し

て、膝関節伸展等尺性収縮時の大腿四頭筋の EMG 活動に差はなかった (McBride JM et al.2007)。これらの結果から、短期間のスタティック・ストレッチングは、筋活動を低下させるか影響を及ぼさない可能性が示唆される。

女性競技者の大腿四頭筋およびハムストリングスを対象に、20 秒×2 回のスタティック・ストレッチングまたはダイナミック・ストレッチングを行った。結果、介入前と比較して、60、180deg/sec での膝関節伸展求心性・遠心性収縮時の大腿直筋、外側広筋の振幅および 60、180deg/sec での膝関節屈曲求心性・遠心性収縮時のハムストリングスの EMG 振幅は、それぞれスタティック・ストレッチング後に有意に低下したが、ダイナミック・ストレッチング後には有意に増加した (Sekir U et al.2010)。健常男性の下肢筋群を対象に、30 秒のスタティック・ストレッチングまたはダイナミック・ストレッチングを行った。結果、スタティック・ストレッチングと比較して、ダイナミック・ストレッチングではスクワットジャンプ時の内側広筋 EMG 振幅が有意に高値を示した (Hough PA et al.2009)。健常男性のハムストリングスを対象に、30 秒のスタティック・ストレッチングまたはダイナミック・ストレッチングを 4 回行った。結果、介入前と比較して、膝関節屈曲等尺性収縮時の大腿二頭筋の EMG 振幅はスタティック・ストレッチング後に変化しなかったが、ダイナミック・ストレッチング後に有意に増加した (Herda TJ et al.2008)。健常者の大腿四頭筋を対象に、30 秒のスタティック・ストレッチングまたは PNF ストレッチングを 4 回行った。結果、介入前と比較して、60、300deg/sec での膝関節伸展求心性収縮時の大腿直筋および外側広筋の EMG 振幅は、両群とも有意に低下した (Marek SM et al.2005)。健常者の下腿三頭筋を対象に、30 秒のスタティック・ストレッチングまたは 6 秒の等尺性収縮後に 24 秒のスタティック・ストレッチングを行う contract relax をそれぞれ 20 回行った。結果、介入前と比較して、足関節底屈等尺性収縮時のヒラメ筋の EMG 活動は両群ともに有意に低

下したが、腓腹筋の EMG 活動はスタティック・ストレッチング後では有意に低下し、contract relax 後には増加した (Babault N et al.2010)。健常男性のハムストリングスを対象に、30 秒のコンスタントアングル・ストレッチング (スタティック・ストレッチング) またはコンスタントトルク・ストレッチングをそれぞれ 16 セット行った。結果、介入前と比較して、膝関節屈曲等尺性収縮時の大腿二頭筋の EMG 活動は両群とも変化はなかった (Herda TJ et al.2011)。これらの結果から、ダイナミック・ストレッチングは筋活動を増加させるが、スタティック・ストレッチングは筋活動を低下させる傾向が示唆される。

健常者のヒラメ筋を対象に、6 分のスタティック・ストレッチングを行った。結果、ストレッチング前と比較して、ストレッチング開始直後の H 波振幅は低下し、ストレッチング終了直後には有意な変化はなかった (Funase K et al.2003)。健常男性の下腿三頭筋を対象に、1 時間のサイクリック・ストレッチングを行った。結果、介入前と比較して、H/M ratio が有意に低下した (Avela J et al.1999)。これらの結果から、健常者を対象としたスタティック・ストレッチングは H 波振幅を低下させる可能性が示唆される。

健常女性の下腿三頭筋を対象に、120 秒のスタティック・ストレッチングを 5 回行った。結果、介入前と比較して、伸張反射時の下腿三頭筋の EMG 振幅は有意に低下した (Weir DE et al.2005)。このことから、スタティック・ストレッチングは伸張反射による EMG 振幅を低下させる可能性が示唆される。

健常者の下腿三頭筋を対象に、1 日合計 10 分のスタティック・ストレッチングを週 5 日行い、6 週間継続した。結果、介入前と比較して、H 波および T 波振幅は有意に低下した (Guissard N and Duchateau J.2004)。このことから、長期間のスタティック・ストレッチングは H 波および T 波振幅を低下させる可能性が示唆される。

1.5. パフォーマンスに対するストレッチングの効果

19歳以下のラグビー選手の大腿四頭筋、ハムストリングス、下腿三頭筋を対象にコーチの指導のもとスタティック・ストレッチングを合計12分行った。結果、介入前と比較して、40mスプリントタイムに差は認められなかった (Stewart M et al.2007)。大学陸上部に所属する学生の大腿四頭筋、ハムストリングス、下腿三頭筋を対象に、30秒のスタティック・ストレッチングをそれぞれ4回行った。結果、非介入時と比較して、20mスプリントタイムが有意に遅くなった (Nelson AG et al.2005)。男性競技者のハムストリングス、大腿四頭筋、下腿三頭筋、股関節外転筋群を対象に、20秒のスタティック・ストレッチングを行った。結果、非介入時と比較して、各種スプリントタイムが遅くなる傾向であった (Beckett JRJ et al.2009)。これらの結果から、スタティック・ストレッチングはアスリートのスプリントタイムを悪化させる傾向が示唆される。

プロサッカー選手の下肢筋群を対象に、30秒のスタティック・ストレッチングまたはダイナミック・ストレッチングを行った。結果、非介入時と比較して、ダイナミック・ストレッチングは、各種スプリントタイムを有意に短縮させた (Little T and Williams AG.2006)。この結果から、ダイナミック・ストレッチングはスプリントタイムを改善させる可能性が示唆される。

健常者の下肢筋を対象に、15秒のスタティック・ストレッチングを1日3回、週に3日行い、10週間継続した。結果、介入前と比較して、20mスプリントタイムは有意に短縮した (Kokkonen J et al.2007)。この結果から、長期間のスタティック・ストレッチングはスプリントタイムを改善させる可能性が示唆される。

健常者の下腿三頭筋を対象に、3種類の強度 (不快を感じる点 [POD]、75%POD、50%POD) で30秒のスタティック・ストレッチングを4回行った。結果、介入前と比較して、

すべての強度のスタティック・ストレッチング後にスクワットジャンプ、カウンタームーブメントジャンプ、ドロップジャンプ高が有意に低下した (Behm DG and Kibele A.2007)。健康者の大腿四頭筋、ハムストリングス、下腿三頭筋を対象に、45 秒のスタティック・ストレッチングを 6 回行った。結果、介入前と比較して、ドロップジャンプ高、ドロップジャンプ時の接地時間、スクワットジャンプ高は変化しなかった (Power K et al.2004)。健康者のハムストリングスを対象に、30 秒のスタティック・ストレッチングを 3 回行った。結果、介入前と比較して、カウンタームーブメントジャンプ高は変化しなかった (Cronin J et al.2008)。これらの結果から、健康者に対するスタティック・ストレッチングはジャンプパフォーマンスを変化させないか、悪化させる可能性が示唆される。

健康者の大腿四頭筋、ハムストリングス、下腿三頭筋を対象に、30 秒のスタティック・ストレッチングを 2 回、または 30 秒のダイナミック・ストレッチングを 2 回行った。結果、介入前と比較して、カウンタームーブメントジャンプ高はスタティック・ストレッチングで有意に低下したが、ダイナミック・ストレッチングでは変化しなかった (Pearce AJ et al.2009)。プロサッカー選手の下肢筋群を対象に、30 秒のスタティック・ストレッチングまたはダイナミック・ストレッチングを行った。結果、非介入時と比較して、両ストレッチングともカウンタームーブメントジャンプ高に差はなかった (Little T and Williams AG.2006)。健康男性の下肢筋群を対象に、30 秒のスタティック・ストレッチングまたはダイナミック・ストレッチングを行った。結果、スタティック・ストレッチングと比較して、スクワットジャンプ高はダイナミック・ストレッチングで有意に高値を示した (Hough PA et al.2009)。健康男性の下肢筋群を対象に、30 秒×2 回×7 種類のスタティック・ストレッチングまたは 11 種類のダイナミック・ストレッチングを行った。結果、スタティック・ストレッチングおよび非介入時と比較して、カウンタームーブメントジャンプ高はダイナ

ミック・ストレッチングで有意に高値を示した。一方、ジャンプ反応時間は各群間に差を認めなかった (Perrier ET et al.2011)。健常者の下肢筋群を対象に、30 秒×2 回のバリスティック・ストレッチングまたはダイナミック・ストレッチングを行った。結果、非介入時と比較して、カウンタームーブメントジャンプ高は両群ともに差が認められなかった (Jaggers JR et al.2008)。健常者の大腿四頭筋、ハムストリングスを対象に、30 秒のスタティック・ストレッチングまたはバリスティック・ストレッチングを 3 回行った。結果、非介入時と比較して、カウンタームーブメントジャンプ高は両群ともに差が認められなかった (Samuel MN et al.2008)。健常学生の大腿四頭筋、ハムストリングス、下腿三頭筋を対象に、合計 10 分のスタティック・ストレッチングまたはバリスティック・ストレッチングまたは PNF ストレッチング (contract relax) を行った。結果、介入前と比較して、スクワットジャンプおよびカウンタームーブメントジャンプ高はスタティック・ストレッチングおよび PNF ストレッチング後に有意に低下したが、バリスティック・ストレッチング後には変化しなかった (Bradley PS et al.2007)。これらの結果から、ストレッチング方法の違いによるジャンプパフォーマンスに対する効果は一定していないことが示唆される。

健常男性のハムストリングスおよび下腿三頭筋を対象に、30 秒のスタティック・ストレッチングまたは PNF ストレッチング (contract relax) を 1 日 4 回、週 4 日行い、6 週継続した。結果、介入前と比較して、ドロップジャンプ接地時間は両群とも変化しなかった (Yuktasir B and Kaya F.2009)。健常者の下肢筋群を対象に、15 秒のスタティック・ストレッチングを 1 日 3 回、週 3 日行い、10 週間継続した。結果、介入前と比較して、立ち幅跳びの距離、垂直跳び高が有意に増加した (Kokkonen J et al.2007)。これらの結果から、長期間のストレッチング方法の違いによるジャンプパフォーマンスに対する効果に差はない可能性が示唆される。

健常学生の大腿四頭筋、ハムストリングス、下腿三頭筋を対象に、45 秒のスタティック・ストレッチングを 3 回行った。結果、コントロール群と比較して、バランス機能が有意に低下した (Behm DG et al.2004)。健常学生の大腿四頭筋、ハムストリングス、下腿三頭筋を対象に、45 秒のスタティック・ストレッチングを 3 回行った。結果、介入前と比較して、バランス機能は変化しなかった (Lewis NL et al.2009)。健常者の下腿三頭筋を対象に、3 分のスタティック・ストレッチングを行った。結果、介入前と比較して、バランス機能が低下した (Nagano A et al.2006)。これらの結果から、健常者を対象としたスタティック・ストレッチングはバランス機能を低下させる可能性が示唆される。

1.6. ストレッチング研究における課題

ここまで、関節可動域、筋出力、スティフネス、筋電図、パフォーマンスの観点からストレッチングの効果を紹介した。その結果、ストレッチングには様々な効果を示す見解が得られているが、現段階において一定の見解とは言えないことがわかる。ストレッチングは、その対象をスポーツ科学領域のみならず、リハビリテーション領域においても運動器疾患を中心としておこなわれている。その方法は、ストレッチングにより生ずる生理学的反応を予測し、選択する必要がある。ストレッチングを指導および施行することにより、筋機能の改善を求めるトレーナーや理学療法士は、対象者の主訴と動作分析から得られた情報をもとに、多角的に筋機能の状態を評価し、それらは最終的に触診過程において、治療ターゲットとなる筋を特定する流れを組む。つまり、ストレッチングは個別的な骨格筋へ対するアプローチを実施する場合に用いる方法である。しかし、これまでのストレッチング研究では、骨格筋の名称により筋群をまとめてストレッチされており、手法よりも「スタティック・ストレッチング」であるか、または「ダイナミック・ストレッチング」であ

るかといったストレッチングの種類、また、そこから得られた効果に対して着目されている。現場のトレーナーや理学療法士は、骨格筋を個別的に解剖学的視点からとらえ、ストレッチングを指導および施行しているにも関わらず、研究になるとその視点が遠ざかるように思えてならない。ここが現場と研究の乖離であり、これらはストレッチング研究における根本的な課題であるとともに、さらなる検証の必要性を残すものと考えられる。

1.7. 研究目的

骨格筋の重要な機能は身体運動の力源としての働きであるが、骨格筋の短縮による関節可動域の低下、筋緊張の異常による運動遂行能力の低下、筋の痛みによる運動効率の低下など、骨格筋に現れるさまざまな変化が身体運動に影響を及ぼしている。これらすべてが身体運動に関連する骨格筋の機能であり、筋機能の障害に対しては、理学療法が実施される。その代表的な治療手段として、物理療法を除いた場合、ストレッチングが挙げられる。

上述した近年のストレッチングにおける研究報告は、いずれも個別的な筋へのアプローチを施したのではなく、ハムストリングス、大腿四頭筋、下腿三頭筋といった筋線維走行は異なるものの、筋の名称により、ひとつの方向から筋全体に対するストレッチングによってアプローチされたものであり、その中で効果を検証したものである。しかしながら、実際の臨床において、理学療法士は理学療法評価の過程から、患者の治療対象となる筋を特定し、個別的にアプローチすることが多い。その個別的アプローチの手法として、鈴木ら（鈴木・他、2006）は、Individual Muscle Stretching（以下 ID ストレッチング）を考案した。ID ストレッチングは、筋線維走行に即したそれぞれのポジションからストレッチングを施行する特性を持つため、ターゲットとする筋に対し、個別的にアプローチを行う際は、有効な手段のひとつと考えられる。その効果は、我々の研究から従来のスタティッ

ク・ストレッチングと比較し、関節可動域（柔軟性）の増大および等速性筋出力の低下、また、精神機能に対してはポジティブな見解が示唆された（中村・他、2011）。しかし、筋を代表とする軟部組織は一時的に伸張性や柔軟性が改善しても、姿勢、運動負荷、ストレスなどにより容易に機能低下を引き起こす。そのため、ID ストレッチングで治療対象となった筋は、その場限りでなく、時間の許す限り自分自身でヘルスプロモーションしていく必要がある。そこで、ID ストレッチングを基礎として、セルフストレッチング手法のひとつである Active Individual Muscle Stretching（以下 AID ストレッチング）が 2007 年に考案された（鈴木・他、2007）。AID ストレッチングを含むセルフストレッチング領域の研究報告は、パートナーストレッチに比べ世界的にも少なく、研究の余地が多分に残されている。

そこで本研究では、これまで研究報告が見当たらない AID ストレッチングについて、(1) 関節可動域（柔軟性）、(2) 等速性筋出力、(3) 筋緊張抑制効果について検証し、セルフコンディショニング領域の一端を明らかにすることを目的に本研究を計画した。

第二章

アクティブ **ID** ストレッチングが
柔軟性及び等速性筋出力に及ぼす影響

2.1. 緒言

1980年初頭にテレビのスポーツ教室番組でストレッチングが紹介されて以降、それに呼応するようにストレッチング関係の一般向け書籍が多く出版され、日本ではいわゆるストレッチングブームが引き起こされた(井上・他. 2007)。ストレッチングの目的には、これまでの研究から関節可動域(柔軟性)の改善と筋緊張の低下(Morse CI et al. 2007)、血液循環の改善(Avela J et al. 2007)、筋痛の緩和(Reisman S et al.2009)、障害予防・競技パフォーマンスの改善(Kokkonen J et al.2007)などが共通してあげられる。現在では、Proprioceptive Neuromuscular Facilitationなど神経系の反応を応用したストレッチングがスポーツ領域で注目を浴びている。また、姿勢や呼吸法を重視するヨガやピラティスとストレッチングを組み合わせるなど、ストレッチングの種類や目的は多種多様であるが、その一方でストレッチングの方法と効果の関連については、未だ諸説があり、議論の余地が残されている。

鈴木ら(鈴木・他. 2006)により考案された Individual Muscle Stretching(以下 ID ストレッチング)は、一つ一つの筋を個別的にストレッチングすることで、筋の柔軟性、伸張性を高め、筋が関与する関節可動域と巧緻性の改善を目的(鈴木・他. 2006)として、1999年以降、病院、クリニックからスポーツ領域に至るまで、主に理学療法士を中心に広く活用されている。ID ストレッチングの特徴(鈴木・他. 2006)は、個々の筋に対する Ib 抑制を利用した他動的スタティック・ストレッチングであること、筋の走行、刺激に対する筋の反応などの解剖学・生理学の詳細な知識が必要であること、筋緊張の程度により、等尺性収縮を組み合わせることが挙げられている。ID ストレッチングは我々の研究(中村・他. 2011)から、従来の他動的スタティック・ストレッチングに比べ柔軟性の向上や、筋出力の低下、精神心理におけるポジティブな変化をもたらす可能性が示唆された。しかし、

コンディショニングという領域を考えた場合、理学療法士やトレーナーといわれる人だけが施行するものではなく、患者自身または選手自身が自ら管理し、取り組み、実施することが重要である。

筋を代表とする軟部組織は一時的に伸張性や柔軟性が向上しても、姿勢、運動負荷、ストレスなどにより、容易に機能低下が引き起こされる（鈴木・他、2007）。したがって、筋緊張低下や痛みの軽減を目的とした ID ストレッチングの治療対象となった筋は、その場かぎりでなく、継続的に自分自身でストレッチングすることが軟部組織の機能を維持する上で重要（鈴木・他、2007）と考えられる。そこで、セラピストから他動的に行われる ID ストレッチングとは異なり、選手自身または患者自身で行うことができるアクティブ ID ストレッチング（Active Individual Muscle Stretching；以下 AID ストレッチング）が 2007 年に考案（鈴木・他、2007）された。それ以降、AID ストレッチングは理学療法士を中心に患者や選手を対象として、ベッドサイドやホームエクササイズとして活用されてきたが、AID ストレッチングの効果を検証した研究は我々の知る限り見当たらない。

そこで本研究は、AID ストレッチングが筋機能に及ぼす影響を関節可動域器具（メディカ株式会社製ゴニオメーター）並びに等速性筋力測定器（メディカ株式会社製 Cybex770-NORM）を用いて検討し、コンディショニング領域における一端を明らかにすることを目的とした。

2.2. 方法

A. 対象者

下肢に既往を持たない健常男子学生 40 名 40 肢右脚とした。被験者の年齢、身長および体重は 20.8 ± 1.6 歳, 171.8 ± 5.4 cm, 66.4 ± 7.3 kg (平均±標準偏差) であった。

本研究は、すべての対象者に対し事前に口頭と文章で研究の趣旨と内容、得られたデータは研究の目的以外に使用しないこと、個人情報の漏洩に注意すること、また研究への参加は自由意志であることを説明した。すべての対象者は研究内容を理解した上で承諾書に署名し、研究に参加した。なお、本研究は福岡保健学院研究倫理委員会の承認を得た後に実施した。

なお、すべての対象者に対して、ヒラメ筋への AID ストレッチングを課す条件 (AID 条件) と、課さない (control 条件) の 2 条件において、柔軟性および等速性筋出力の測定を行った。評価前には、対象者の運動条件を整えるため、エルゴメーター(5min, 60w)を課した (Hoffren M et al. 2007)。

B. 柔軟性の測定方法

対象筋は足関節底屈筋であるヒラメ筋とし、ストレッチング施行前後に関節可動域測定 (Range of motion test ; 以下 ROM-T)、等速性足関節底屈筋力測定を行った。柔軟性を評価する ROM-T の測定方法は、日本リハビリテーション医学会評価基準委員会が定めた方法 (奈良・他. 2009) に順じ、関節可動域測定器具ゴニオメーターを用いて、基本軸を膝関節屈曲位から腓骨への垂線とし、移動軸を第 5 中足骨としたときの足関節の背屈可動域として測定した。測定する際は、筆者らとは別の理学療法士 2 名(臨床経験 : 10.5 ± 2.4 年)が固定者と測定者に分かれ、測定前後で入れ替わり実施した。

C.等速性筋出力の測定方法

等速性筋出力の測定には、等速性筋力測定器 Cybex770-NORM を使用した。角速度は、吉野ら（吉野・他. 2007）の研究報告を参考とし、研究において指標とされる低速度(60 deg/sec)・中速度(180 deg/sec)・高速度(300 deg/sec)の3領域からそれぞれ検討することを目的に各角速度を設定した。測定時は、足関節底背屈運動を最大努力下でそれぞれ連続3回施行し、各角速度で達成した peak torque の平均を算出（中村・他. 2011）した。

測定は一日、一手技、一角速度とし、順序効果を考慮し、日を替え、ランダムに行った。AID ストレッチングに要する時間（鈴木・他. 2007）は、20秒間を1回とし、以下の方法で実施した。

D.ストレッチング方法

AID 条件におけるヒラメ筋へのストレッチング方法（鈴木・他. 2007）は、両手で右前足部を両側から把持し、重心を後方に移動させながら右足関節を背屈した(図1)。なお、ストレッチングを行う際の施行肢に加える外力を、客観的で定量化可能な筋力評価に用いられるハンドヘルドダイナモメーター(日本メディックス製品 FET-102)を用い、5kgf で制御した（中村・他. 2011）。ストレッチングの指導を行う者は、我々とは別であり、且つ ROM-T 測定を実施した者とは別の理学療法士 2 名(経験年数 9.5 ± 2.1 年)が指導者と測定者に分かれた。ストレッチに要する時間は、ハンドヘルドダイナモメーターで 5kgf に達したときを開始とした 20 秒間を 1 セットとし、合計 3 セットを実施した。Control 条件はストレッチングを施行せず、AID 条件と同様の安静時間をとった前後に測定を行った(中村・他. 2011)。

E.統計分析

①柔軟性に対して、条件(AID×control の 2 水準)及び両条件の足関節背屈可動域測定値(ストレッチング前×ストレッチング後の 2 水準)の 2 要因について二元配置反復測定分散分析にて行い、②筋出力に対しては、条件(AID×control の 2 水準)、両条件の peak torque 値(ストレッチング前×ストレッチング後の 2 水準)および角速度(60deg/sec×180deg/sec×300deg/sec の 3 水準)の 3 要因について三元配置分散分析を行った。いずれも多重比較検定には Fisher's PLSD を用いた。なお、すべて有意水準 5%未満とし、統計ソフトは SPSS19.0.J for Windows (SPSS, JAPAN) を使用した。

2.3. 結果

A.柔軟性の結果

柔軟性において、群および ROM 測定値にそれぞれ主効果を認めた。2 条件間を比較した結果、ストレッチを施行した AID 条件では control 条件に比べ、有意に柔軟性の向上が認められた (表 1)。

両条件の足関節背屈可動域前後を比較した結果、AID 条件では、AID 後に有意な柔軟性の向上が認められた ($p<0.05$)。control 前後で有意差は認められなかった ($p>0.05$) (表 1)。

B.等速性筋出力の結果

筋出力において 2 条件間で比較した結果、ストレッチを施行した AID 条件では control 条件に比べ、有意に筋出力の低下を認めた。両条件の介入前後比較においては AID 条件のみ、ストレッチング後に有意に筋出力の低下が認められた ($p<0.05$) (表 2)。

角速度別に peak torque 値を介入前後で比較した結果、AID 条件において角速度 60 deg/sec の場合のみ有意差を認めた ($p<0.05$)。control 条件では、いずれも介入前と後の間に有意差は認められなかった ($p>0.05$) (表 2)。

2.4. 考察

本研究は、AID ストレッチングが筋機能に及ぼす影響について、柔軟性、等速性筋出力の2点から比較検討した。

柔軟性においてストレッチングを施行したAID条件は、control条件に比べ、柔軟性の向上を認めた。この背景として、これまでの研究からもストレッチングにより引き起こされる神経系の反応が考えられる。Heldaら (Helda TJ et al. 2008) は、ストレッチングにより筋肉の固有受容器である筋紡錘が持続的に引き伸ばされると、筋紡錘の求心性活動に抑制が起こり、筋緊張が低下することを報告している。またFowlesら (Fowles JR et al. 2000) は、持続的な静的ストレッチングによりゴルジ腱器官や侵害受容器の筋緊張抑制の反応が起こることを報告している。いずれもこれら神経系の反応は、筋電図の積分値の減少 (Weir DE et al. 2005) や伸張反射の遅延 (濱田・他. 2008) からも説明され、筋緊張の低下が結果的に柔軟性を向上させたものと考えられる。AID ストレッチングも静的ストレッチングの範疇にあるため、これら神経系の反応が生体内に起こり、先行研究と同様の結果が得られたものと推測される。

等速性筋出力の結果について、AID条件はcontrol条件に比べ、介入後、筋出力の低下を認めた。この結果は、これまでの研究からも筋組織の力学的特性が関与していることが考えられる。Morseら (Morse CI et al. 2008) によれば、ストレッチ直後の急性の変化として、筋肉の結合組織の弾力性が低下する(伸びやすくなる)ことを報告している。具体的にCramerら (Cramer JT et al. 2007) は、ストレッチングにより筋線維の筋節が伸張されること、またTeramotoら (Teramoto A et al. 2008) は、腱も伸張されることを報告している。これらの報告は、筋の力学的特性として、ストレッチング前に比べ、ストレッチング後は筋線維が長い状態にあることを意味している。筋の張力-長さの関係からも、最大収

縮張力を発揮させるためには一定の筋長が必要（本剛・他，2005）であり、ストレッチング後は同じ関節角度であっても、筋節や腱が伸ばされたことで筋長はストレッチング前より長い状態となることから、筋力が減少するものと考えられる（木元・他，2011）。そのため、今回の研究結果でも先行研究同様に、ストレッチング直後の急性の変化として、筋出力の低下が認められたものと考えられた。

角速度毎で発揮される等速性筋出力を調べた結果、角速度 60 deg/sec の場合のみ、AID 条件の介入後において筋出力の低下が認められた。このことについて、Nelson ら（Nelson AG et al. 2001）は、低速である 60 deg/sec は等尺性の運動様式に類似し、筋の収縮がより遅い短縮速度で発揮されるため、ストレッチングの影響が大きいと報告している。これらは、最大収縮後に起こる筋生理学的反応の影響を低速度領域は受けやすいことを意味する。AID ストレッチングは、ID ストレッチング同様に個別的に筋を伸張する方法を選択する特性から Ib 抑制の影響を受けやすく、その結果、筋緊張の抑制効果を招きやすい。このことが AID 条件で低速度領域における筋出力の低下へとつながったものと考えられた。

2.5. 結語

本研究の結果から、セルフストレッチングである AID ストレッチングは、他動的スタティック・ストレッチング同様に柔軟性の向上、筋出力の低下をもたらすことが示唆された。これらの結果は、セルフコンディショニング領域における一つの可能性を示唆したものと考えられる。今回は、筋出力の低下という表現であるが、その背景に推測される筋緊張の変化、抑制効果に対する検討が行われていない。そのため、今後は筋緊張の抑制効果を検討するためにも、誘発筋電図を用いての神経生理学的検討 (Costa PB et al. 2001) が必要である。また、実際に関節運動を行う際は、多数の筋が関与するため、基本動作やスポーツ動作によるパフォーマンス評価等を加え検討すること、さらに、AID ストレッチングが活用されるホームエクササイズの観点からも、その効果における持続時間についても検討していく必要があると考える。

第三章

アクティブ ID ストレッチングが 筋緊張抑制効果に及ぼす影響

3.1. 緒言

理学療法の個別的な治療の対象に骨格筋がある。骨格筋の重要な機能は身体運動の力源としての働きであるが、骨格筋の短縮による関節可動域の低下 (Takahashi Y et al.1997)、筋緊張の異常による運動遂行能力の低下 (松原. 2010)、筋の痛みによる運動効率の低下 (松原・他. 2008) など、骨格筋に現れるさまざまな変化が身体運動に影響を及ぼしている。これらすべてが身体運動に関連する骨格筋の機能であり、筋機能の障害に対しては、理学療法が実施される。

単関節筋や二関節筋の起始・停止の両端を伸張するスタティック・ストレッチングは、高齢者からスポーツ競技者および愛好家に至るまで幅広く普及し、それらは、医療・介護・福祉領域だけでなく日常生活においてもよく用いられている。ストレッチングの効果は、これまでの研究から関節可動域(柔軟性)の改善と筋緊張の低下 (Morse CI et al. 2007)、血液循環の改善 (Avela J et al. 2007)、筋痛の緩和 (Reisman S et al.2009)、障害予防・競技パフォーマンスの改善 (Kokkonen J et al.2007) などが共通してあげられる。従来リハビリテーション治療介入として行われているスタティック・ストレッチングは、一つの運動方向の筋群をまとめてストレッチングすることで、短時間でより多くの筋群をストレッチングできるという利点 (鈴木・他. 2006) があげられる。しかし、解剖学的に見た場合、大殿筋や三角筋をはじめとして、一つの筋でも筋線維走向は異なることが多い。したがって、筋を効果的に伸張するには、筋線維がなるべく一直線上になるような肢位を選択し、同じ筋でも筋線維走行に合わせて、それぞれの方向で個別にストレッチングする (鈴木・他. 2006) 必要があると考えられる。

Individual Muscle Stretching(以下 ID ストレッチング)は、一つ一つの筋を個別的にストレッチングし、筋の柔軟性、伸張性を高めることによる、筋が関与する関節可動域と巧緻

性の改善を目的（鈴木・他，2006）として、1999年以降、スタティック・ストレッチング同様に病院、クリニックからスポーツ領域に至るまで、主に理学療法士を中心に広く活用されている。ID ストレッチングは、筋線維走行に即したそれぞれのポジションからストレッチングを施行する特性を持つため、ターゲットとする筋に対し、個別的にアプローチを行う際は、有効な手段のひとつと考えられる。

しかし、筋を代表とする軟部組織は一時的に伸張性や柔軟性が向上しても、姿勢、運動負荷、ストレスなどにより、容易に機能低下が引き起こされる（鈴木・他，2007）。したがって、筋緊張低下や痛みの軽減を目的とした ID ストレッチングの治療対象となった筋は、その場かぎりではなく、継続的に自分自身でストレッチングすることが軟部組織の機能を維持する上で重要（鈴木・他，2007）と考えられる。そこで、セラピストから他動的に行われる ID ストレッチングとは異なり、選手自身または患者自身で行うことができるセルフストレッチングの一つの手法として、アクティブ ID ストレッチング（Active Individual Muscle Stretching；以下 AID ストレッチング）が 2007 年に考案（鈴木・他，2007）された。それ以降、理学療法士を中心にホームエクササイズ指導の一環として AID ストレッチングは、様々な場面で活用されている。しかしながら現在、AID ストレッチングを含むセルフストレッチング領域の生理学的効果に関する報告は非常に少なく、経験的な基礎をもとに処方されていることが現状といえる。AID ストレッチングの効果は、これまで我々の研究から柔軟性向上や一時的な筋出力の低下を招く可能性が示唆された（Nakamura K et al. 2013）。しかし、これはあくまでパフォーマンス上の変化であり、その数値が意味する背景を神経生理学的に検討されていない。また、それと同時に AID ストレッチングにおける筋緊張抑制効果についての報告は、我々の知る限り見当たらない。

誘発筋電図で導出される Hoffman 波（以下，H 波）は、脊髄運動細胞の興奮性を示す指

標である（柳沢・他．2004）。実際、筋緊張が亢進している症例では H 波と M 波の最大振幅比（Hmax/Mmax）が高値を示すため（田中．1986）、神経生理学的に筋緊張を評価する際の良い指標となる。

それらを踏まえ、本研究では、AID ストレッチングが筋緊張に及ぼす影響を誘発筋電図（Viking Select、Nicolet 社製）を用いて検討し、セルフコンディショニング領域における一端を神経生理学的に明らかにすることを目的とした。

3.2. 方法

A. 対象者

対象は、下肢に神経障害の既往がない健常男子学生 40 名とした。対象者の年齢、身長および体重は、 21.2 ± 4.6 歳、 $168.6 \pm 4.4\text{cm}$ 、 $62.5 \pm 8.4\text{kg}$ （平均±標準偏差）であった。測定は左下肢 40 肢に行い、対象筋はヒラメ筋とした。

本研究は、すべての対象者に対し事前に口頭と文章で研究の趣旨と内容、得られたデータは研究の目的以外に使用しないこと、個人情報の漏洩に注意すること、また研究への参加は自由意志であることを説明した。すべての対象者は研究内容を理解した上で承諾書に署名し、研究に参加した。なお、本研究は福岡保健学院研究倫理委員会の承認を得た後に実施した。

すべての対象者に対して、ヒラメ筋への AID を課す条件（AID 条件）および、課さない（control 条件）の 2 条件において、H 波と M 波の最大振幅を測定した。なお、前の条件が次の条件での結果に及ぼす影響を考慮して、AID 条件と control 条件での実施には 1 日以上の間隔をあけた。

B. 筋緊張抑制効果に対する測定方法

ヒラメ筋の H 波と M 波の導出には、誘発筋電図 (Viking Select、Nicolet 社製) を用いた (図 2)。

測定肢位は、いずれも腹臥位とした。誘発筋電図の刺激電極を膝窩部に設置し、脛骨神経に対して経皮的な電気刺激を行った。脛骨神経に対する刺激は、刺激頻度 1 Hz、刺激持続時間 1 msec の矩形波とした。導出電極には表面電極を用い、関電極は脛骨結節と足関節内果の中間の位置で、脛骨のすぐ内側のヒラメ筋上に貼付した。不関電極はアキレス腱の内側に貼付した。なお、アースを刺激電極と関電極の中間点に貼付した。H 波と M 波の測定は 5 分間の安静臥床後に 1 回、各条件直後に 1 回測定した。測定は、臨床検査技師 2 名 (経験年数 10.5 ± 2.0 年) が行った。測定に際して、H 波は室内温度や皮膚温度による影響を受けやすいため (千野, 2005)、室内温度を 24°C 前後 (中林・他, 2012) に維持し、下腿中央部の皮膚温度は皮膚温時計 (IT-500S、HORIBA 社製) を用いて、 $32.0 \pm 1^{\circ}\text{C}$ で統一した。本研究では、各条件の影響を排除するために日を改めて測定を反復した。そのため、H 波の最大振幅を M 波の最大振幅で規格化を行い、H 波と M 波の最大振幅比を用いて検証を行った。

C. ストレッチング方法

AID 条件におけるヒラメ筋へのストレッチング方法（鈴木・他、2007）は、両手で左前足部を両側から把持し、重心を後方に移動させながら右足関節を背屈した。なお、ストレッチングを行う際の施行肢に加える外力を、客観的で定量化可能な筋力評価に用いられるハンドヘルドダイナモメーター（日本メディックス製品 FET-102）を用い、5kgf で制御した（Nakamura K et al. 2013）。ストレッチングの指導を行う者は、我々とは別の理学療法士 2 名（経験年数 9.5 ± 2.1 年）とした。ストレッチに要する時間は、ハンドヘルドダイナモメーターで 5kgf に達したときを開始とした 20 秒間を 1 セットとし、合計 3 セットを実施した。control 条件に対しては、ストレッチングを施行せず、AID 群と同様の安静をとった前後に測定を行った（Nakamura K et al. 2013）。

D. 統計分析

要因として「ストレッチングの有無（AID 条件、control 条件の 2 水準）および「測定時期（ストレッチング前、ストレッチング後の 2 水準）」の 2 要因に対し、H 波および M 波の最大振幅比に対して二元配置反復測定分散分析を行い、多重比較には Fisher's PLSD を実施した。統計解析ソフトウェアは、SPSS19.0.J for Windows（SPSS, Japan）を使用し有意水準を 5%未満とした。

3.3. 結果

「ストレッチングの有無」および「測定時期」で、H 波および M 波の最大振幅比 (Hmax/Mmax) を比較した結果、交互作用が認められた ($F(1,116)=7.16, p<0.05$)。有意な主効果は、「ストレッチングの有無」においては認められなかったが、「測定時期」においては認められた ($F(1,116)=4.61, p<0.05$)。AID が筋緊張に影響を及ぼす可能性が示された (表 3)。そこで「測定時期」について多重比較を行ったところ、control 条件は有意差を認めなかったが、AID 条件はストレッチング前に比較し、ストレッチング後で最大振幅比が有意に低かった ($F(3,116)=5.09, p<0.05$) (表 3)。

① 安静および AID ストレッチング前後における H 波および M 波の最大振幅比 (Hmax/Mmax) の比較

2 条件に対して H 波および M 波の最大振幅比の前後を比較した結果、主効果として control 条件は有意差を認めなかったが、AID 条件は AID ストレッチング前に比べ、ストレッチング後に有意な最大振幅比の低下を認めた ($F(3,116)=5.09, p<0.05$) (表 3, 図 3)。多重比較検定の結果、AID ストレッチング後の最大振幅比は control 条件に比べ AID 条件が有意に低下した ($p<0.05$) (表 3)。

3.4. 考察

本研究は、AID ストレッチングが筋緊張に及ぼす影響について神経生理学的に検証し、セルフコンディショニング領域の一端を明らかにすることを目的に実施した。

ストレッチング研究における誘発筋電図の代表的な指標として、H 波や H 波および M 波の最大振幅比 (Hmax/Mmax) が用いられる (Avela J et al. 1999)。誘発筋電図で用いられる H 波は、太い有髄筋感覚神経 Ia 線維を電気刺激して起こる単シナプス反射であり、H 波の振幅変化は脊髄前角細胞の興奮性を反映 (Funase K et al.2003) している。また、ヒトの筋緊張の調節は、主に伸張反射と自原性抑制の反射が関与 (本郷・他. 2005) しており、即ち、H 波を用いて分析することは脊髄および上位運動中枢の興奮準位を評価する有効な手段である。臨床においては、筋緊張が亢進している患者ほど H 波と M 波の最大振幅比は亢進している (Bakheit AM et al. 2005)。つまり、これらを踏まえ、誘発筋電図は、定量的な評価が難しいとされる筋緊張の評価を、より客観的に行うことが可能といえる。

今回、ヒラメ筋に対してストレッチングを施行した AID 条件と control 条件の条件間比較において交互作用が認められた。前後比較においては、AID ストレッチング前に比べ AID ストレッチング後は H 波および M 波の最大振幅比が有意に低値を示した。このことから、ヒラメ筋に対して AID ストレッチングを施行すると、脊髄運動細胞の興奮性が抑制されることが明らかになった。先行研究においても持続伸張が、筋緊張を抑制あるいは低下させる報告がこれまで数多く見られる (Morse CI et al. 2008)。それらの背景として、筋が引き伸ばされる時に、筋緊張の抑制に関与する末梢の受容器はゴルジ腱器官、関節受容器であり、一般に筋腱移行部に多く存在するといわれているゴルジ腱器官からの Ib 神経線維は、筋の張力に応じて興奮の程度が変化する (Magnusson SP et al.1996)。すなわち、筋に持続的な伸張が加わると主動筋、共同筋に存在するゴルジ腱器官が興奮し、この信号が求心

性に Ib 神経線維を伝播し脊髄後角に入り、介在ニューロンを介して同名筋の脊髄前角細胞の興奮を抑制する原理が働くことに集約される。本研究においても、これらの神経生理学的変化から、脊髄運動細胞の興奮性を抑制し、その結果、H 波の M 波に対する最大振幅比が低値したものと考えられる。そのため、本研究の結果は、先行研究を支持する結果が得られたものと解釈できる。

3.5. 結語

本研究の結果から、セルフストレッチングである AID ストレッチングは、他動的スタティック・ストレッチング同様に脊髄運動細胞の興奮性を抑制する働きをもたらす可能性が示唆された。この結果は、セルフコンディショニング領域における一つの根拠と可能性を示唆したものと考えられる。今回は、ヒラメ筋にターゲットを絞った即時的効果の検証であるが、AID ストレッチングが活用されるホームエクササイズを考慮すると、その効果における持続時間についての検討が必要である。また、実際に関節運動を行う際は、多数の筋が関与することを考慮すると、基本動作やスポーツ動作によるパフォーマンス評価等を加え検討していく必要がある。今後は、これらを課題とし研究を継続することで、様々な角度から AID ストレッチングを検証し、予防医学の観点からも国民の健康に寄与していきたいと考える。

第四章

結論

4.1. 本研究の結論

本研究の結果、セルフストレッチング手法のひとつである AID ストレッチングは、ゴニオメーターおよびサイベックスの評価から関節可動域の増大（柔軟性の向上）、一時的な等速性筋出力の低下が明らかとなり、その背景に推測された神経生理学的変化においても H 波の M 波に対する最大振幅比を求めた誘発筋電図の評価から、脊髄運動細胞の興奮性を抑制する働きをもたらす可能性が示唆された。本研究結果は、従来のスタティック・ストレッチング（パートナー・ストレッチング）効果と同様の知見であり、セラピストが行うストレッチングも選手・患者自身が行うストレッチングも、その効果において差がないことが証明されたものと解釈できる。リハビリテーション領域においては、セルフプロモーションの時期においても、セラピストに依存される患者が多く見受けられるため、本研究結果が心身の自立への糸口となることに期待したい。また、これら研究結果をもとに筋機能改善を求める理学療法士およびトレーナーらがセルフコンディショニング領域の指導および発展に活用し、国民の健康に寄与することにも期待したい。

第五章

今後の研究課題

5.1. 今後の研究課題

これまでのストレッチング領域における研究を集約すると、関節可動域(柔軟性)の改善、筋緊張の低下、血液循環の改善、筋痛の緩和、障害予防・競技パフォーマンスの改善が共通してあげられる。

本研究において、セルフストレッチングのひとつの手法である AID ストレッチングは、関節可動域(柔軟性)の改善に加え、一時的な筋出力の低下、さらに脊髄運動細胞の興奮性が抑制されることが明らかとなった。今後は、血液循環量の変化や筋痛に対する効果も検証していく。また、今回はヒラメ筋にターゲットを絞った即時的効果の検証であったが、AID ストレッチングが活用されるホームエクササイズを考慮すると、その効果における持続効果時間についての検討も必要である。さらに、実際に関節運動を行う際は、多数の筋が関与することを考慮すると、基本動作やスポーツ動作によるパフォーマンス評価等に加え検討していく必要性もある。最後に、ストレッチングにおける対側および拮抗筋に対する影響も視野に入れ、多角的に研究を推進し、継続して検証していくことが今後の課題である。

第六章

図表

Table 1: Range of motion before and after the intervention

Group	Before	After
AID	19.5±3.6	25.2±3.0*
Control	19.7±3.5	20.1±3.2

AID: Active Individual Muscle Stretching

Before: Before stretching After: After stretching

n=40, the values shown are angles (°)

Mean ± standard deviation *p<0.05

Table 2: Isokinetic muscle strength output before and after the intervention

Group	60 deg/sec		180 deg/sec		300 deg/sec	
	Before	After	Before	After	Before	After
AID	75.4±28.6	53.7±22.3*	55.2±15.3	45.2±14.7	44.4±14.1	40.5±12.6
Control	74.1±27.4	72.7±23.4	53.1±13.6	52.5±11.6	45.4±10.2	44.3±9.6

AID: Active Individual Muscle Stretching

Before: Before stretching After: After stretching

n=40, the values are shown as peak torques (Nm).

Mean ± standard deviation *p<0.05

Table 3: The maximum amplitude ratio of an H wave and the M wave

Group	Before	After
AID	0.39±0.14	0.27±0.11*
Control	0.37±0.13	0.38±0.14

AID: Active Individual Muscle Stretching

Before: Before stretching After: After stretching

n=40, the values are shown as Hmax/Mmax (%).

Mean ± standard deviation * p<0.05 * : Before AID vs After AID



Fig.1. Active Individual Muscle Stretching of the Soleus



Fig.2. Measurement scenery by the evoked EMG

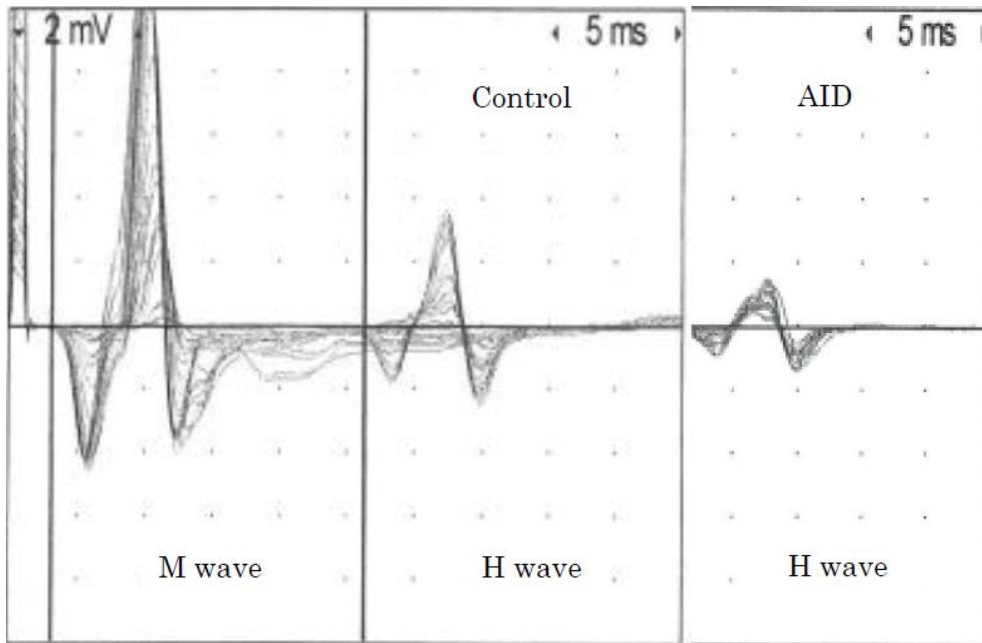


Fig.3 .H max/ M max (amplitude ratio between maximum H-reflex and M waves) of the Soleus

第七章

引用文献

Siatras TA, Mittas VP, Mameletzi DN, Vamvakoudis EA. The duration of the inhibitory effects with static stretching on quadriceps peak torque production. *J Strength Cond Res* 22:40-46, 2008.

Ryan ED, Beck TW, Herda DJ, Hull HR, Hartman MJ, Stout JR, Cramer JT. Do practical durations of stretching alter muscle strength? A does response study. *Med Sci Sports Exerc* 40:1529-1537, 2008.

Boyce D, Brosky JAJr. Determining the minimal number of cyclic passive stretch repetitions recommended for an acute increase in an indirect measure of hamstring length. *Physiother Theory Pract* 24:113-120, 2008.

Brandenburg JP. Duration of stretch does not influence the degree of force loss following static stretching. *J Sports Med Phys Fitness* 46:526-534, 2006.

Morse CI, Degens H, Maganaris CN, Jones DA. The acute effect of stretching on the passive stiffness of the human gastrocnemius muscle tendon unit. *J Physiol* 586:97-106, 2008.

Nordes A, McNair PJ, Casari P, Cornu C. Static and cyclic stretching: their different effects on the passive torque angle curve. *J Sci Med Sport* 13:156-160, 2010.

Power K, Behm D, Cahill F, Carroll M, Young W. An acute bout static stretching: effects on force and jumping performance. *Med Sci Sports Exerc* 36:1389-1396, 2004.

Depino GM, Webright WG, Arnold BL. Duration of maintained hamstring flexibility after cessation of an acute static stretching protocol. *J Athl Train* 35:56-59, 2000.

Mizuno T, Matsumoto M, Umemura Y. Viscoelasticity of the muscle tendon unit is returned more rapidly than range of motion after stretching. *Scand J Med Sci Sports* 23:23-30, 2013.

Bacurau RF, Monteiro GA, Ugrinowitsch C, Tricoli V, Cabral LF, Aoki M. Acute effect of a ballistic and static stretching exercise bout on flexibility and maximal strength. *J Strength Cond Res* 23:304-308, 2009.

Beedel BB, Mann CL. A comparison of two warm ups on joint range of motion. *J Strength Cond Res* 21:776-779, 2007.

Marek SM, Cramer JT, Fincher AL, Massey LL, Dangelmaier SM, Purkayastha S, Fitz KA, Culbertson JY. Acute Effects of static and Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Stretching on Muscle Strength and Power Output. *J Athl Train* 40:94-103, 2005.

O'Hara J, Cartwright A, Wade CD. Efficacy of static stretching and proprioceptive neuromuscular facilitation stretch on hamstrings length after a single session. *J Strength Cond Res* 25:1586-1591, 2011.

Perrier ET, Pavol MJ, Hoffman MA. The acute effects of a warm up including static or dynamic stretching on countermovement jump height, reaction time, and flexibility. *J Strength Cond Res* 25:1925-1931, 2011.

O'Sullivan K, Murray E, Sainsbury D. The effect of warm up, static stretching and dynamic stretching on hamstring flexibility in previously injured subjects. *BMC Musculoskelet Disord* 10: 37, 2009.

Reid DA, McNair PJ. Passive force, angle, and stiffness changes after stretching of hamstring muscles. *Med Sci Sports Exerc* 36:1944-1948, 2004.

Decoster LC, Scanlon RL, Horn KD, Cleland J. Standing and Supine Hamstring Stretching Are Equally Effective. *J Athl Train* 39:330-334, 2004.

Folpp H, Deall S, Harvey LA, Gwinn T. Can apparent increase in muscle extensibility with regular stretch be explained by changes in tolerance to stretch? *Aust J Physiother* 52:45-50, 2006.

Yuktasir B, Kaya F. Investigation into the long term effects of static and PNF stretching exercises on range of motion jump performance. *J Bodyw Mov Ther* 13:11-21, 2009.

Gajdosik RL, Allred JD, Gabbert HL, Sonsteng BA. A stretching program increases the dynamic passive length and passive resistive properties of the calf muscle tendon unit of unconditioned younger women. *Eur J Appl Physiol* 99:449-454, 2007.

Guissard N, Duchateau J. Effect of static stretch training on neural and mechanical properties of the human plantar flexor muscles. *Muscle Nerve* 29:248-255, 2004.

Kokkonen J, Nelson AG, Eldredge C, Winchester JB. Chronic static stretch improves exercise performance. *Med Sci Sports Exerc* 39:1825-1831, 2007.

Chaouachi A, Chamari K, Wong P, Castagna C, Chaouachi M, Moussa-Chamari I, Behm GD. Stretch and sprint training reduces stretch induced sprint performance deficits in 13-to-15year-old youth. *Eur J Appl Physiol* 104:515-522, 2008.

Mahieu NN, McNair P, De Muynck M. Effect of static and ballistic stretching on the muscle tendon tissue properties. *Med Sci Sports Exerc* 39:494-501, 2007.

Mahieu NN, Cools A, Wilde B, Boon M, Witvrouw E. Effect of proprioceptive neuromuscular facilitation stretching on the plantar flexor muscle tendon tissue properties. *Scand J Med Sci Sport* 19:553-560, 2009.

McHugh MP, Nesse M. Effect of stretching on strength loss and pain after eccentric exercise. *Med Sci Sports Exerc* 40:566-573, 2008.

Cramer JT, Housh TJ, Johnson GO, Miller JM, Coburn JW, Beck TW. The acute effects of static stretching on peak torque, mean power output, electromyography, and mechanomyography. *Eur J Appl Physiol* 93:530-539, 2005.

Cramer JT, Beck TW, Housh TJ, Massey LL, Marek SM, Danglemeier S, Purkayastha S, Culbertson JY, Fitz KA, Egan AD. Acute effects of static stretching on characteristics of the isokinetic angle torque relationship, surface electromyography, and mechanomyography. *J Sports Sci* 25:687-698, 2007.

Cramer JT, Housh TJ, Johnson GO, Weir JP, Beck TW, Coburn JW. An acute bout of static stretching does not affect maximal eccentric isokinetic peak torque, the joint angle at peak torque, mean power, electromyography, or mechanomyography. *J Orthop Sports Phys Ther* 37:130-139, 2007.

Behm DG, Bambury A, Cahill F, Poweret K. Effect of acute static stretching on force, balance, reaction time and movement time. *Med Sci Sports Exerc* 36:1397-1402, 2004.

Babault N, Kouassi BY, Debrosses K. Acute effects of 15 min static or contract relax stretching modalities on plantar flexors neuromuscular properties. *J Orthop Sports Phys Ther* 13:247-252, 2010.

Weir DE, Tingley J, Elder GCB. Acute passive stretching alters the mechanical properties of human plantar flexors and the optimal angle for maximal voluntary contraction. *Eur J Appl Physiol* 93:614-623, 2005.

Fowles JR, Sale DG, MacDougall, JD. Reduced strength after passive stretch of the human planter flexors. *J Appl Physiol* 89:1179-1188, 2000.

Sekir U, Arabachi R, Akova B, Kadagan SM. Acute effects of static and dynamic stretching on leg flexor and extensor isokinetic strength in elite women athletes. *Scand J Med Sci Sport* 20:268-281, 2010.

Manoel ME, Harris MO, Danoff J.V., Miller T. Acute effects of static, dynamic, and proprioceptive neuromuscular facilitation stretching on muscle power in women. *J Strength Cond Res* 22:1528-1534, 2008.

Yamaguchi T, Ishii K. Effects of static stretching for 30 seconds and dynamic stretching on leg extension power. *J Strength Cond Res* 19:677-683, 2005.

Herda TJ, Costa PB, Walter AA, Ryan ED, Hoge KM, Kerksick CM, Stout JR, Cramer JT. Effects of two modes of static stretching on muscle strength and stiffness. *Med Sci Sports Exerc* 43:1777-1784, 2011.

Ryan ED, Beck TW, Herda TJ, Hull HR, Hartman MJ, Costa PB, Defreitas JM, Stout JR, Cramer JT. The time course of musculotendinous stiffness responses following different durations of passive stretching. *J Orthop Sports Phys Ther* 14:632-639, 2008.

Burgess KE, Graham SP, Pearson SJ. Effect of acute tensile loading on gender specific tendon structural and mechanical properties. *J Orthop Res* 27:510-516, 2009.

Kay AD, Blazevich AJ. Moderate-duration static stretch reduces active and passive plantar flexor moment but not Achilles tendon stiffness or active muscle length. *J Appl Physiol* 106:1249-1256, 2009.

Ryan ED, Herda TJ, Costa PB, Defreitas JM, Beck TW, Stout J, Cramer JT. Determining the minimum number of passive stretches necessary to alter musculotendinous stiffness. *J Sports Sci* 27:957-961, 2009.

McNair PJ, Dombroski EW, Hewson DJ, Stanley SN. Stretching at the ankle joint : viscoelastic responses to holds and continuous passive motion. *Med Sci Sports Exerc* 33:354-358, 2001.

Kubo K, Kanehisa H, Fukunaga T. Effect of stretching training on the viscoelastic properties of human tendon structures in vivo. *J Appl Physiol* 92:595-601, 2002.

Marshall PW, Cashman A, Cheema BS. A randomized controlled trail for the effect of passive stretching on measures of hamstring extensibility, passive stiffness, strength, and stretch tolerance. *J Sci Med Sport* 14:535-540, 2011.

Herda TJ, Cramer JT, Ryan ED, McHugh MP, Stout JR. 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.

McBride JM, Deane R, Nimphius N. Effect of stretching on agonist-antagonist muscle activity and muscle force output during single and multiple joint isometric contractions. *Scand J Med Sci Sport* 17:54-60, 2007.

Hough PA, Ross EZ, Howatson G. Effects of dynamic and static stretching on vertical jump performance and electromyographic activity. *J Strength Cond Res* 23:507-512, 2009.

Funase K, Higashi T, Sakakibara A, Tanaka K, Takemochi K, Ogahara K, Iwanaga R. Neural mechanism underlying the H-reflex inhibition during static muscle stretching. *Adv Exerc Sport Physiol* 9:119-127, 2003.

Avela J, Kyrolainen H, Komi PV. Altered reflex sensitivity after repeated and prolonged passive muscle stretching. *J Appl Physiol* 86:1283-1291, 1999.

Stewart M, Adams R, Alonso A, Koesveld BV, Campbell S. Warm-up or stretch as preparation for sprint performance? *J Med Sci Sport* 10:403-410, 2007.

Nelson AG, Driscoll NM, Landin DK, Young MA, Schexnayder IC. Acute effects of passive muscle stretching on sprint performance. *J Sports Sci* 23:449-454, 2005.

Beckett JRJ, Schneiker KT, Wallman KE, Dawson BT, Guelfi KJ. Effects of static stretching on repeated sprint and change of direction performance. *Med Sci Sports Exerc* 41:444-450, 2009.

Little T, Williams AG. Effects of differential stretching protocols during warm-ups on high-speed motor capacities in professional soccer players. *J Strength Cond Res* 20:203-207, 2006.

Behm DG, Kibele A. Effect of differing intensities of static stretching on jump performance. *Eur J Appl Physiol* 101:587-594, 2007.

Cronin J, Nash M, Whatman C. The acute effects of hamstring stretching and vibration on dynamic knee joint range of motion and jump performance. *Phys Ther Sport* 9:89-96, 2008.

Pearce AJ, Kidgell DJ, Zois J, Carlson JS. Effects of secondary warm up following stretching. *Eur J Appl Physiol* 105:175-183, 2009.

Jaggers JR, Swank AM, Frost KL, Lee CD. The acute effects of dynamic and ballistic stretching on vertical jump height, force, and power. *J Strength Cond Res* 22:1422-1428, 2008.

Bradely PS, Olsen PD, Portas MD. The effect of static, ballistic, and proprioceptive neuromuscular facilitation stretching on vertical jump performance. *J Strength Cond Res* 21:223-226, 2007.

Lewis NL, Brismee JM, James CR, Sizer PS, Sawyer SF. The effect of stretching on muscle responses and postural sway responses during computerized dynamic posturography in women and men. *Arch Phys Med Sci* 90:454-462, 2009.

Nagano A, Yoshioka S, Hay DC, Himeno R, Fukashiro S. Influence of vision and static stretch of the calf muscles on postural sway during quiet standing. *Hum Mov Sci* 25: 422-434, 2006.

井上悟, 小柳磨毅, 中江徳彦, 上野隆司. アスリートケアマニュアル. 文光堂, 東京, 2-14, 2007.

鈴木重行, 平野幸伸, 鈴木敏和. ID ストレッチング 第2版. 三輪書店, 東京, 2-46, 2006.

Kokkonen J, Nelson AG, Cornwel A. Acute muscle stretching inhibits maximal strength performance. *Res Q Exerc Sport* 69: 411-415, 1998.

Nakamura K, Kodama T, Mukaino Y. Effects of active individual muscle stretching on muscle function. *J Phys Sci* 26: 341-344, 2014.

鈴木重行. 筋・筋膜性疼痛に対する理学療法の画像による効果検証の試み. *理学療法学* 32: 32-33, 2005.

影山滋久. Warming up(Cool down)における Stretch および Jogging の効果について(カラーサーモグラフィーを用いて). デサントスポーツ科学 3: 306-308, 1996.

森谷敏夫, 石田浩司, 田口貞尚治. ストレッチングによる筋痛の生理学的効果に対する電気生理学的解明. デサントスポーツ科学 8: 212-219, 1987.

山下敏彦, 関根将利, 竹林庸雄, 川口 哲, 石井 清一, 片平 弦一郎, 太田 勲. ストレッチングの生理学 - 筋伸張が神経筋伝達機能に及ぼす影響 -. 運動・物理療法 12: 20-26, 2001.

Reisman S, Allen TJ. Changes in passive tension after stretch of unexercised and eccentrically exercised human plantarflexor muscle. Exp Brain Res 193: 545-554, 2009.

中村浩一, 向野義人, 兒玉隆之. ID ストレッチングが心身に及ぼす影響. 理学療法科学, 26: 13-17, 2011.

鈴木重行, 平野幸伸, 鈴木敏和: アクティブ ID ストレッチング. 三輪書店, 東京, 2-8, 2007.

奈良勲, 内山靖, 小川克己. 理学療法検査・測定ガイド 第2版. 文光堂, 東京, 179-180, 2009.

吉野直美, 三和真人, 鈴木克彦, 宮崎純弥, 小野武也, 百瀬公人, 伊橋光二. 等速性筋力測定装置 Cybex の運動角速度の検証, 山形保健医療研究 5: 51-56, 2002.

稲見崇考, 清水卓也, 宮川博文, 井上雅之, 高柳富士丸, 丹羽滋郎. 二関節筋に対するストレッチングが等速性筋出力に及ぼす影響, 日本臨床スポーツ医学会, 16: 395-401, 2008.

Marsh D, Sleivert G. Effect of precooling on high intensity cycling performance. *Br J Sports Med* 33: 393-397, 1999.

Hoffren M, Isikawa M, Komi PV: Age-related neuromuscular function during drop jumps. *J Appl Physiol* 103: 1276-1283, 2007.

濱田佳祐, 佐々木真. 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*, 23: 463-467, 2008.

Teramoto A, Luo ZP. Temporary tendon stretching by preconditioning. *Clin Biomech* 23: 619-681, 2008.

本剛利憲, 廣重力, 豊田順一, 小澤 澁司, 福田 康一郎, 本間 研一, 大森 治紀, 大橋 俊夫. 標準生理学 第6版, 医学書院, 東京, 107-127, 2005.

木元裕介, 遠藤伸一. ハムストリングスに対するスタティック・ストレッチングが筋力と関節可動域に与える影響の時間的变化. *秋田大学保健学専攻紀要*, 19: 27-33, 2011.

Nelson AG, Allen JD, Cornwell A, Kokkonen J. Inhibition of maximal voluntary isokinetic torque production following stretching. *J Strength Cond. Res* 26: 241-246, 2001.

Costa PB, Ryan ED, Herda TJ, Defreitas JM, Beck TW, Cramer JT. Effects of static stretching on the hamstrings to quadriceps ratio and electromyographic amplitude in men. *J Sports Med Phys Fitness* 49(12): 401-409, 2009.

Marques AP, Vasconcelos AP, Cabral CM, Sacco ICM. Effect of frequency of static stretching on flexibility, hamstring tightness and electromyographic activity. *Braz J Med Bio Res* 42(8): 949-953, 2009.

Takahashi Y, Kimura M. Muscle spindles in immobilized muscle: electron microscopic study of recovery. *Med Electron Microsc* 30: 102-109, 1997.

松原貴子. 運動器疼痛の理学療法. *理学療法学*, 37: 323-325, 2010.

松原貴子, 新井健一, 牛田享宏. 筋・筋膜性腰痛症の理学療法プログラム. *理学療法*, 25: 71-75, 2008.

柳沢健, 新井光男. 反射運動の筋電図学的効果 -H波・M波-. *理学療法*, 10: 1287-1292, 2004.

田中勲作. H 反射 — ヒトにおける神経生理学研究の一技法 —. 日本生理誌, 48: 713-734, 1986.

千野直一. 臨床筋電図・電気診断学入門 第 6 版, 医学書院, 東京, 56-81, 2005.

中林紘二, 兒玉隆之, 松本典久, 山本裕宣, 福良剛志, 甲斐悟. 振動刺激の違いが下腿三頭筋の筋緊張抑制効果に及ぼす影響 — 下腿三頭筋の腱部と筋腹部の比較 —. 理学療法科学, 27: 151-154, 2012.

Bakheit AM, Maynard V, Shaw S. The effects of isotonic muscle stretch on the excitability of the spinal alpha motor neurons in patients with muscle spasticity. *Eur J Neurol* 12: 719-724, 2005.

Magnusson SP, Simonsen EB, Dyhre-Poulsen P, Aagaard P, Mohr T, Kjaer M. Viscoelastic stress relaxation during static stretch in human skeletal muscle in the absence of EMG activity. *Scand J Med J Sci Sports* 6: 323-328, 1996.