

# ストレッチングが足関節背屈可動域に与える一過性の効果と 長期的な効果の比較

Comparison between acute and chronic effects of static stretching of ankle joint on the range of ankle joint motion

加藤 えみか (日本学術振興会特別研究員(PD), ブリュッセル自由大学, 早稲田大学スポーツ科学学術院)  
金久 博昭 (東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻生命環境科学系)  
福永 哲夫 (鹿屋体育大学) 矢内 利政 (早稲田大学スポーツ科学学術院)  
川上 泰雄 (早稲田大学スポーツ科学学術院)

## 1. 緒言

ストレッチングの効果は関節可動域 (range of motion: ROM) の増加や組織の受動張力の低下を通して定量される (Magnusson, et al., 1996; Toft, et al., 1989; Youdas, et al., 2003)。ROMを用いた評価方法には、関節を自らの筋力で動かす能動的なROMと、関節が外力により動かされる受動的なROM (Grimston, et al., 1993; Kay, et al., 2009; Nigg, et al., 1992; Roberts, et al., 1999; Youdas, et al., 2003) があり、その評価値が日常的な動作のパフォーマンスやスポーツにおける傷害の危険性との関連を指摘する報告 (Gajdosik, et al., 2007; Rodacki, et al., 2009; Tainaka, et al., 2009; Wiesler, et al., 1996) も散見される。例えば Rodacki, et al. (2009) は、15名の高齢女性を対象として下肢のストレッチングの実施により最大歩行速度が有意に向上したこと、それに伴い歩行中の足関節のROMも増加傾向であったことを示している。また、足関節背屈ROMが大きい方が歩行や走行の効率が良いことも報告されている (Gajdosik, et al., 2007)。さらに Tainaka, et al. (2009) は、高齢女性60名を対象として体力測定を実施し、その6年後に再度体力測定を実施した。その結果、6年後に介護が必要となるか否かの予測因子の1つとして能動的な足関節の背屈ROMをあげている。一方、Wiesler, et al. (1996) がダンスを専攻する学生を対象に、下肢の既往歴と足関節の受動的なROMとについて検討した結果によると、捻挫などの既往歴のある者は足関節背屈ROMが有意に小さいことが示されている。これまでに、柔軟性が高すぎても傷害の発生リスクが高まることから (山本, 1996)、ダンサーのように一般人と比較してROMの大きな集団 (Hamilton, et al., 1992) では、足関節のROMが大きすぎると傷害の発生リスクが増加すると予想されていた。しかし、上記の結果からダンスのように足関節の大きなROM

を要求される動作では、ROMの大きさが傷害の発生を抑制すると考察されている (Wiesler, et al., 1996)。

ストレッチングがROMに与える影響については、足関節を対象にした研究が広く行われており (Gajdosik, et al., 2005, 2007; Guissard, et al., 2004; Kubo, et al., 2001; Toft, et al., 1989; Wilson, et al., 1992)、ストレッチング後にROMが増加するメカニズムについては、ROMに影響を及ぼす筋腱複合体の力学的特性の変化 (Kubo, et al., 2001) と、痛覚受容器の耐性の向上 (Gajdosik, et al., 2005, 2007) が指摘されている。そのなかで前者における変化については、関節を連結する軟組織 (筋腱複合体、靭帯など) を伸長させることで、それらの伸長性が高まると考えられている (Alter, 1996)。

Toft, et al. (1989) は、足関節を受動的に背屈した際に、ある足関節角度における受動トルクの値を用いて、足関節の柔軟性に対する一過性の効果、ならびにストレッチングをトレーニングとして継続した後の長期的な効果を検討している。その結果によると、ストレッチングの一過性および長期的な効果として、受動トルクの減少が観察され、有意な柔軟性の向上が認められている。しかし、受動トルクの変化量について一過性の効果と長期的な効果との関連について十分な議論はされていない。また、実際の行動体力としての柔軟性を捉えた場合に、受動トルクと同様にROMでの評価も重要であると考えられるが、ストレッチングの一過性の効果と長期的な効果の比較をROMで行った報告はみあたらない。ストレッチングの効果が時間経過に伴い消失するという報告もあることから (Kay, et al., 2009; Magnusson, et al., 1996; Ryan, et al., 2008)、トレーニングとしてストレッチングを実施した場合であっても、ストレッチングから運動までの経過時間によっては、その効果が十分に得られないことも考えられる。ストレッチングの目的がROMの増加である場合、ストレッチング

Emika KATO (Japan Society for the Promotion of Science, Laboratory of Applied Biology, Institut des Sciences de la Motricité, Université Libre de Bruxelles, Faculty of Sport Sciences, Waseda University)  
Hiroaki KANEHISA (Department of Life Science (Sports Sciences), Graduate School of Arts and Sciences, The University of Tokyo)  
Tetsuo FUKUNAGA (National Institute of Fitness and Sports in Kanoya) Toshimasa YANAI (Faculty of Sport Sciences, Waseda University)  
Yasuo KAWAKAMI (Faculty of Sport Sciences, Waseda University)

の効果がその直後だけROMに反映されるものであるか否か、という点はスポーツの現場において重要である。そこで、本研究ではストレッチングを実施した際の一過性の効果と長期的な効果を足関節背屈ROMで評価し、各々の効果を比較することを目的とした。

## 2. 方法

### 1) 被検者

左右の脚部および足部に既往歴のない、健康な男性16名(25.6 ± 3.9歳, 1.72 ± 0.06 m, 65.8 ± 7.5 kg)を対象として実験を行った。そのうちの8名をトレーニング群に、残りの8名をコントロール群として無作為に割り当て、トレーニング群は足関節の受動背屈によるストレッチングを実施した。両群の身体的特徴(年齢, 身長, 体重)および、各測定パラメータに有意な差はなかった。被検者には実験の主旨や実験方法について十分な説明を行い、書面による同意を得た。また、実験に際して早稲田大学スポーツ科学学術院研究倫理委員会より承認を得た。

### 2) 実験デザイン

ストレッチングによる介入試行の一過性および長期的な効果を検証するために実験的研究を行った。本研究の開始前に、被検者が測定のプロトコルに慣れること、ならびにストレッチングの強度を決定することを目的として事前測定を実施した。また、事前測定から2日以上1週間未満の日数を空けて本研究を行った。

#### (1) セッティング

事前測定、ストレッチングによる介入試行および評価測定は以下のセッティングで実施した。被検者には股関節および膝関節を完全伸展させた仰臥位をとらせた。非伸縮性のストラップを用いて、被検者の膝関節を筋力計のシート部分に、また足関節を筋力計(VINE, Japan)のフットプレートにそれぞれ固定した。検者はフットプレートと足関節の回転中心が一致するように目視で確認した。また、足関節角度変化を計測するためにゴニオメータ(SG110/A, Biometrics, UK)を被検者の足関節外果をまたいで貼付した。ゴニオメータでの計測が足関節角度変化を正確に表しているかを確認するために予備実験を実施した。本研究の被検者を含む11名の成人男性を対象としてストレッチング前後の能動的および受動的な足関節背屈ROMをゴニオメータとビデオカメラ(30fps, NV-MX2000, Panasonic, Japan)にて取得した。デジタルビデオカメラを被検者の2m側方に設置し、マーカを膝関節の回転中心、足関節外果、第5中足骨頭に貼付した。得られた画像は画像処理ソフトウェア(Image J, National

Institute of Health, USA, downloaded <http://rsb.info.nih.gov/nih-image/>)を用いて3点のマーカのなす角度から足関節ROMを算出した。以上の手順で得られた値は、ゴニオメータでは能動的な足関節背屈ROMがストレッチング前19 ± 5度、ストレッチング後26 ± 5度であり、受動的な足関節背屈ROMがストレッチング前15 ± 4度、ストレッチング後23 ± 3度であった。また、画像分析で得られた値は、能動的な足関節背屈ROMがストレッチング前21 ± 6度、ストレッチング後27 ± 8度であり、受動的な足関節背屈ROMがストレッチング前17 ± 7度、ストレッチング後25 ± 8度であった。これらストレッチング前後の能動的および受動的足関節背屈ROMの平均値には、両方法間で有意な差は認められなかった。したがって、ゴニオメータと画像分析は同等に評価しうるものであると判断し、本研究では測定と分析がより容易であるゴニオメータを用いた。

腓腹筋内側頭(Gastrocnemius Medialis: MG)、外側頭(Gastrocnemius Lateralis: LG)、ヒラメ筋(Soleus: Sol)、および前脛骨筋(Tibialis Anterior: TA)の筋電図を表面電極法(ディスプレイ型電極: Blue Sensor, P-00-S, Ambu A/S, Denmark, Sensor: Ag/AgCl, Measuring Area: 154mm<sup>2</sup>)により記録した。電極は、各被検筋の筋腹中央に皮膚抵抗の軽減後、電極間距離20mmで貼付した。なお、各被検筋の電極間の入力インピーダンスは5kΩ未満であった。接地電極は足関節内果に記録電極と同一の電極を貼付した。筋力計、ゴニオメータ、筋電図法により得られた測定中のデータをA/Dコンバータ(Power Lab/16SP, ADInstruments, Australia)を介して1kHzでパーソナルコンピュータに経時的に記録した。

#### (2) 事前測定

介入試行におけるストレッチングの強度を決定するために、等尺性足関節最大底屈トルクを測定した。等尺性足関節最大底屈トルクを足関節角度0度(解剖学的正位)で、等尺性足関節最大背屈トルクを足関節角度底屈20度でそれぞれ測定した。測定に先立ち、被検者はウォームアップとして最大下の強度でトルク発揮を数回行った。等尺性足関節最大底屈トルク発揮を3秒間維持するように被検者に指示を与えた。測定は2回ずつ行い、2回目の測定値が1回目の測定値から10%以上隔たっていた場合には3回目の測定を行った。得られた測定値の中から最も高値を示し、安定したトルク発揮を行っている試行を各被検者の測定値として採用した。測定間および試行間には2分間以上の休憩を設けた。また、足関節を固定したことによる痺れや、底屈および背屈トルク発揮に伴う疲労がないことを適宜確認した。また、事前測定の際に足関節の受動背屈を実施し、被検者に本研究で用いるストレッ

チングのプロトコルを確認させた。ストレッチングは、検者が筋力計に付属するモータを操作して毎秒5度の角速度で、底屈30度からの受動背屈を60秒間行うものであった。この試行を10秒間の休憩を挟んで5回反復したものを1回の介入試行とした。強度は測定した等尺性足関節最大底屈トルクの値を元に決定し、ストレッチング中に生じる底屈方向の受動トルクが等尺性足関節最大底屈トルクの10-20%程度になるよう設定した(Kato, et al., 2010)。この強度で行ったストレッチングでは、全ての時間を通して被検者の筋放電は等尺性足関節最大底屈トルク発揮中の5%未満であることを確認した(Gajdosik, et al., 2005)。

### (3) ストレッチングによる介入試行

被検者の左右どちらかの脚を無作為に選択し、前述のストレッチングによる介入試行を6週間にわたり、毎日1回ずつ実施した。この介入期間の開始から2週目までの強度は、事前測定で決定したものであった。ストレッチングをトレーニングとして実施したこれまでの報告(Gajdosik, et al., 2005, 2007; Guissard, et al., 2004)にならぬ、介入期間開始3週目以降は、介入試行の強度を等尺性足関節最大底屈トルクに対する20-25%程度に増加し、被検者に口頭で不快感が無いかを適宜確認した。被検者が何らかの不快感を訴えた場合は、検者がモータを調節することで受動トルクを漸減させて、介入試行を継続した。コントロール群には通常の生活の維持を促し、介入期間中は新たに運動やストレッチングを実施させなかった。

### 3) 評価測定

本研究ではストレッチングによる一過性の効果の評価するために、介入期間開始前に1回の介入試行の前後で以下に述べる評価測定を実施した。また、ストレッチングによる介入試行の長期的な効果の評価するため、同一の項目を測定した。介入試行後の評価測定までは20時間を空けた。これは、Toft, et al.(1989)によって、介入試行から測定まで20時間空けることで一過性の効果が消失すると報告されているためであった。評価測定は、介入期間開始から1, 2, 4, 6週後に行った(図1)。なお、記録電極の位置は毎回の評価測定終了後、および毎日の介入試行終了後に油性ペンで皮膚上に印をつけて、評価測定ごとに電極の貼付位置が変わらないよう留意した。各評価測定の際にはデジタルカメラで撮影された写真と、スチール製のメジャーで測定した下腿長(Abe, et al., 1994)に対する脚部のランドマークに対する電極の位置の記録を参照した。室温が評価値に影響することも予想されたため、毎回の評価測定時には室温を確認し、摂氏 $24 \pm 2$ 度に保たれていることを確認した。

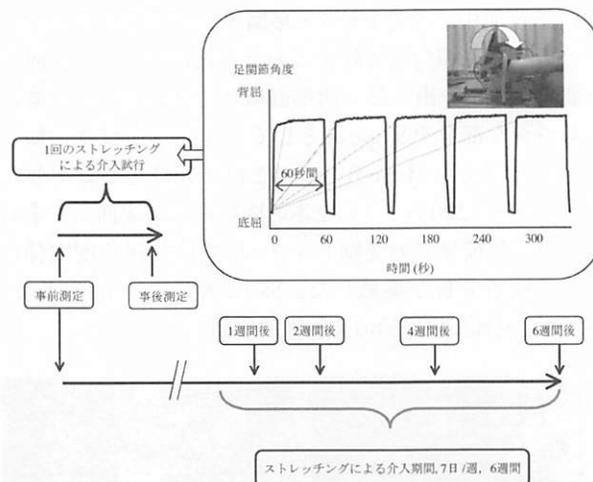


図1 ストレッチングによる介入試行と評価測定の概要

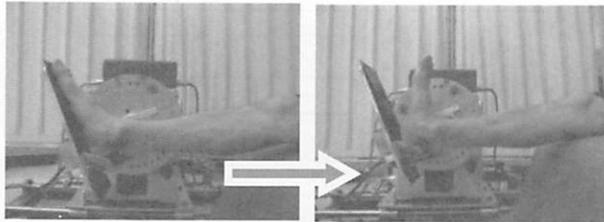
#### (1) 能動的な足関節背屈ROM

被検者の膝関節を固定し、足関節を固定せずに最大努力での足関節背屈を3回実施させた。能動的な足関節背屈ROMはゴニオメータで取得し、得られた値の中で最大値を採用した(図2A)。

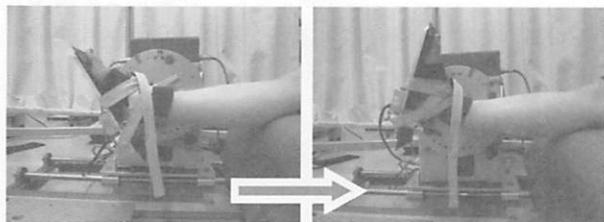
#### (2) 受動的な足関節背屈ROM

足関節を底屈30度から受動的に毎秒5度で背屈し、受動トルク、足関節角度変化を取得した。被検者には、Visual analogue scale法(Worrell, et al., 1992)により「適度なストレッチング感」から「やや突っ張る」を覚える程度の受動トルク(等尺性足関節最大底屈トルクに対する15-20%に相当)を加えた(川上ほか, 2003; 小田ほか, 2002)。足関節の受動背屈中には被検者に受動背屈に抗する動作を行わないよう適宜注意を促した。事前測定で得られた受動トルクの最大値は、各被検者の等尺性足関節最大底屈トルクの値を参考にしていたため個人差がみられた。また、Gajdosik, et al. (2005, 2007)は、ストレッチングの前後で足関節背屈ROMが増加したものの、それに伴い受動トルクも増加していたことについて、伸長される組織の痛覚受容器に対する耐性が向上したためであると報告している。本研究では、受動的な足関節背屈ROMの増加が受動トルクの増加に伴うものではないことを確認するために、受動的な足関節背屈ROMの評価では、全ての被検者について受動トルクが30 Nmに達するまでを分析区間とした。この分析区間を通じて、下腿三頭筋と前脛骨筋に筋放電がみられなかった。この受動トルクは、筋放電が生じ始める点が上記のVisual analogue scale法において「やや突っ張る」を覚え始める時点と一致するものであった。介入期間中に実施した測定においても、受動的な足関節背屈ROMを同一強度で測定できるように配慮した(図2B)。

受動背屈中の受動トルク-足関節角度関係を受動トルクの値を足関節角度で除すことで各被検者について回帰直線の傾きを算出した。回帰直線は受動背屈前半の傾きが緩やかな部分を Slope A として、受動背屈後半の傾きが急峻な部分を Slope B として 2 相に分けて算出した (Kato, et al., 2005)。この 2 本の回帰直線の変曲点を求めるために各被検者の受動トルク-足関節背屈角度関係について残差分析を実施した。Slope A および Slope B で、ROM と同様に足関節の柔軟性を評価した。



A. 能動的な足関節背屈ROM  
被検者の最大努力で背屈した際の解剖学的正位からのROM



B. 受動的な足関節背屈ROM  
筋力計のモータで被検者の足関節を背屈した際の解剖学的正位からのROM

図2 足関節背屈ROMの測定方法 (A) 能動, (B) 受動

### (3)再現性の確認

本研究参加者を含む成人男性 11 名を対象として、本研究開始前に能動的および受動的な足関節背屈ROMの再現性を確認した。被検者は5日間から1週間以内に実験に2回参加した。そのうち1回は上述のストレッチングを含む画像分析とゴニオメータの評価を確認するためのものであり、別の1回は能動的および受動的な足関節背屈のみを行うものであった。どちらを先に行うかは被検者ごとにランダムに決定した。2回の能動的および受動的な足関節背屈ROMをゴニオメータで取得した結果、級内相関係数は能動的な足関節背屈ROMが0.81、受動的な足関節背屈ROMが0.83であった。

### 4) 統計処理

すべての測定結果は平均値 ± 標準偏差で表した。統計処理には統計解析ソフトウェア (SPSS 12.0J, SPSS Japan, Japan) を用い、危険率5%未満をもって統計的に有意であると判断した。能動的な足関節背屈ROM、受動的な足関節背屈ROM、受動背屈中の受動トルク-足関節背屈

角度関係の Slope A、Slope B における一過性の効果については、対応のある t 検定を用いた。また、同変数の長期的な効果については、期間 (事前測定, 事後測定, 1, 2, 4, 6 週間測定) について反復測定の一元配置の分散分析を行った。F 値が有意であった項目については Bonferroni の多重比較検定を行った。

## 3. 結果

能動的な足関節背屈ROM、受動的な足関節背屈ROMにおけるストレッチングによる介入試行前後の値を図3に示す (A, C: 能動的な足関節背屈ROM, B, D: 受動的な足関節背屈ROM)。能動的な足関節背屈ROMおよび受動的な足関節背屈ROMは一過性の効果では有意に増加した (図3A, B)。一方、長期的な効果では、能動的な足関節背屈ROMは、事前測定と比較して有意な増加はみられなかったが (図3A)、受動的な足関節背屈ROMは有意に増加した (図3B)。コントロール群では、いずれの変数においても有意な変化はみられなかった (図3C, D)。能動的な足関節背屈ROMは介入期間を通して変化しなかったが、受動的な足関節背屈ROMは、介入期間開始4週間後と6週間後で事前測定と比較して有意に増加した (図4)。足関節背屈ROMについてストレッチングの一過性の効果と長期的な効果を比較したが、能動的な足関節背屈ROMおよび受動的な足関節背屈ROMのいずれにおいても有意な差はみられなかった。

また、能動的な足関節背屈ROMを測定する際に、底屈筋群である下腿三頭筋が共収縮することで評価値に影響を及ぼすことが考えられたが、下腿三頭筋の放電は、トレーニング群、コントロール群ともに介入期間を通じて有意な変化はみられなかった (MG および LG: 等尺性足関節最大底屈トルク発揮時の約 5-10%, Sol: 等尺性足関節最大底屈トルク発揮時の約 10-15%)。

Slope A は、0.35, 0.23, 0.28, 0.26, 0.23, 0.24 Nm/deg (事前測定, 事後測定, 介入試行開始 1, 2, 4, 6 週間後測定) であった。事後測定は事前測定と比較して有意に低値であり ( $P < 0.05$ )、介入試行開始 4, 6 週間後測定では、事前測定と比較して有意に低値であった ( $P < 0.05$ )。Slope B は、1.31, 0.88, 1.22, 1.26, 1.16, 1.12 Nm/deg (事前測定, 事後測定, 介入試行開始 1, 2, 4, 6 週間後測定) であった。事後測定は事前測定と比較して有意に低値であったが ( $P < 0.05$ )、介入試行開始後は事前測定と比較して有意な変化はみられなかった。また、一過性の効果と長期的な効果を比較するために、事後測定で得られた値と介入試行開始 6 週間後測定で得られた値について検討したところ、事後測定で得られた値の方が有意に低値であった ( $P < 0.05$ )。

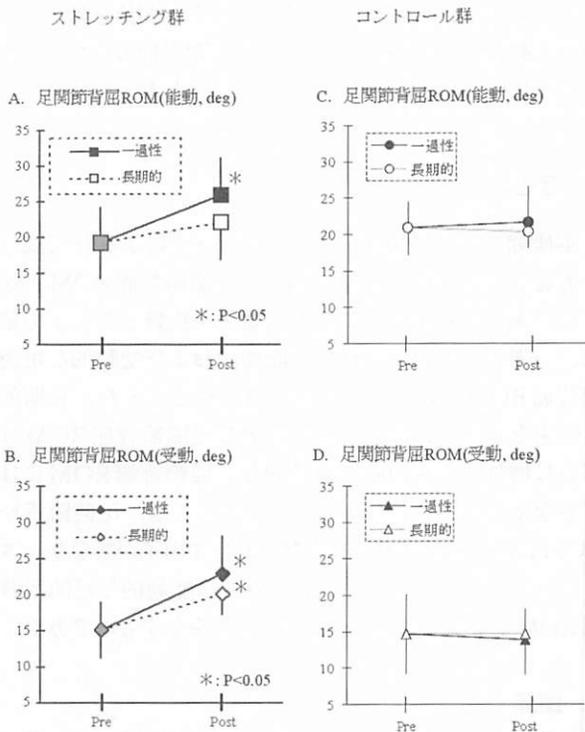


図3 介入期間前後のストレッチング群(左:A, B)とコントロール群(右:C, D)における能動的な足関節背屈ROM(A, C), および受動的な足関節背屈ROM(B, D)

いずれも黒が一過性の効果を示し、白が長期的な効果を示す  
P<0.05: 事前測定に対して

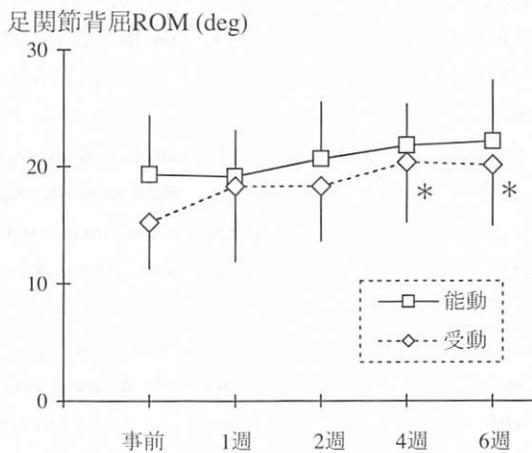


図4 足関節背屈ROMに対するストレッチングによる介入試行的な長期的な効果(事前測定, 1, 2, 4, 6週間後測定)  
□: 能動, ◇: 受動, P<0.05(事前測定に対して)

#### 4. 論議

足関節へのストレッチングによる介入試行的の一過性の効果として、能動的および受動的な足関節背屈ROMは有意に増加し(図3A, B)、Slope AおよびSlope Bが有意に減少した。Kubo, et al. (2001)は足関節に対する10分間の静的ストレッチングでアキレス腱のスティフネスが有意

に低下したことを示している。本研究で得られた結果は、ストレッチングによる一過性の効果として、足関節を構成する筋腱複合体などの組織が同一の足関節背屈方向の外力に対して伸長されやすくなったことを示唆し、Kubo, et al. (2001)、およびToft, et al. (1989)の結果を支持するものである。

15秒間から2分間程度の静的なストレッチングでは、外力により足関節を受動的に背屈させたROMの向上に貢献するのは筋腱複合体を含む足関節を連結する軟組織の力学的特性の変化ではなく、伸長刺激に対する痛覚受容体の耐性の向上であると報告されている(Gajdosik, et al., 2005, 2007; Magnusson, et al., 1996; Ryan, et al., 2008)。実際にこれらの先行研究では、ストレッチング後に受動的に関節を動かした際に、ROMの向上にともない受動トルクの増加も観察されている。本研究では、このような伸長刺激に対する痛覚受容体の耐性の向上が影響しないように、介入試行的の前後で最終的に与える受動トルクを一定にした。その結果、一定の受動トルクに対する受動的な足関節背屈ROMは1回の介入試行的の直後に増加し、Slope AおよびSlope Bも低下した。このことは、1分間のストレッチングを5回継続する試行的であっても、伸長刺激に対する痛覚受容体の耐性の向上ではなく、筋腱複合体を含む足関節のROMに影響を及ぼす因子の力学的特性に変化が生じたことを示す。

6週間の介入期間中に、Gajdosik, et al. (2005, 2007) およびGuissard, et al. (2004) にならぬ、介入期間の第3週以降はストレッチングの強度を増加させた。このことにより、介入期間の経過に伴い、受動的な足関節背屈中に発生する受動トルクも増加した(1-2週: 等尺性足関節最大底屈トルクの10-20%, 3-6週: 等尺性足関節最大底屈トルクの20-25%: 図5, 受動背屈中の受動トルク-足関節角度関係の典型例, 図中の円はストレッチングトレーニング)

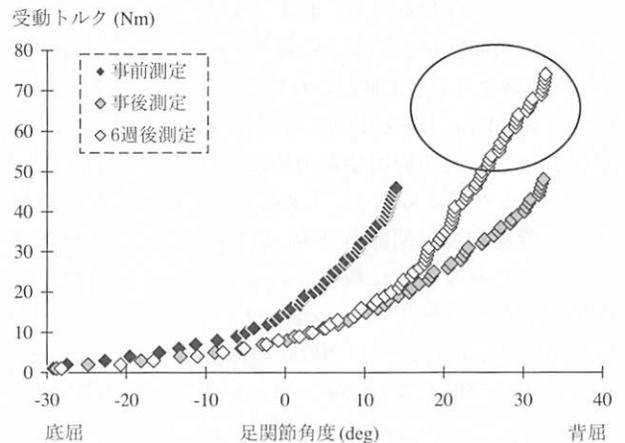


図5 事前測定, 事後測定, 1週間後測定での受動トルク-足関節角度関係(典型例, n=1)

ングにより増加した分の受動トルクを示す)。本研究の結果と同様に、Gajdosik, et al. (2005, 2007) はストレッチングをトレーニングとして行い、ストレッチングを長期間行うことで受動トルクが増加したことを報告している。本研究では、モータで受動背屈を行った際に得られた足関節背屈ROMは30 Nmの受動トルクが生じるところで評価を行ったため、この介入期間の経過に伴う受動トルクの増加は、受動的な足関節背屈ROMの結果には反映されないものと考えられる。しかし、ストレッチングによる受動トルクの増加について、Gajdosik, et al. (2005, 2007) は被検者が耐えうる受動トルクの閾値の向上を意味し、日常生活に行う動作に影響を及ぼすものと考えしている。

また、ストレッチングによる介入試行の長期的な効果として、6週間の介入期間を通して一定の受動トルクに対する足関節背屈ROMは、介入試行開始4週間後、および6週間後に有意に増加し(図4)、同期間におけるSlope Aも有意に低下した。この結果は、介入試行開始3週間後にストレッチングの強度を増加させたため、より背屈位の足関節角度でストレッチングが行われて、介入試行開始4、6週間後測定では有意な増加をもたらしたものと考えられる。

一過性の効果と長期的な効果の比較では、能動のおよび受動的な足関節背屈ROMに有意な差はみられなかったものの、Slope AおよびSlope Bは一過性の効果の方が長期的な効果よりも有意に低値であった。Magnusson, et al. (1996)によると、1回のストレッチングによるROMおよびトルク-角度関係の変化は、90分後には消失すると報告されている。したがって、ROMに有意な変化がみられなかった介入試行開始後1、2週間では、1回の介入試行でROMが増加したとしても、次に測定を実施するまでの20時間以内に、ROMが減少してしまい、統計的に有意な増加がみられなかった可能性があげられる。介入期間開始3週間以降はストレッチングをより背屈位で行ったことに伴って筋腱複合体、および筋腱複合体の中でも収縮要素と並列に存在する並列弾性要素などの組織が一定の受動トルクに対して伸長されやすくなり(Hutton, 1992; Magid and Law, 1985; Taylor, et al., 1990)、1回ごとの介入試行後に介入期間開始前の値にまで完全には戻らなくなったことが考えられる。しかし、一過性の効果とは異なり、能動的な足関節背屈ROMでは、6週間の介入試行による有意な変化は観察されなかった。この結果は、足関節に対する静的ストレッチングによる介入試行を6週間実施したYoudas, et al. (2003)の報告と一致する。Alter (1996)および川上ほか(2003)は、足関節背屈の能動的なROMには関節を動かすための筋力も影響を及ぼすことを示している。このような報告と本研究の結果を考え合わせると、能動的な足関節背屈ROMを有意に増加させる

ためには、ストレッチングのみではなく、関節を動かすための主働筋に対する筋力トレーニングなど他のトレーニングも合わせて実施することが必要であると考えられる。

## 5. まとめ

本研究では、足関節のストレッチングによる介入試行を実施し、能動のおよび受動的な足関節背屈ROMに対する一過性の効果と、長期的な効果を比較した。その結果、一過性の効果の評価では能動のおよび受動的な足関節背屈ROMはいずれも有意に増加した。また、長期的な効果を評価した場合では受動的な足関節背屈ROMは有意に増加したものの、能動的な足関節背屈ROMには有意な変化がみられなかった。このことは、足関節背屈ROMには能動と受動とで影響を及ぼす因子が異なり、ストレッチングによる介入試行のみでは能動的な足関節背屈ROMを有意には増加させないことを示すものである。

## 6. 謝辞

本研究は日本学術振興会の特別研究員、研究遂行費によってなされた研究である(課題番号:08J05740)。

## 文献

- Abe, T., Kondo, M., Kawakami, Y. and Fukunaga, T. (1994) Prediction equations for body composition of Japanese adults by B-mode ultrasound. *Am. J. Hum. Biol.*, 6: 161-170.
- Alter, M. J. (1996) *Science of flexibility. Human Kinetics: Champaign.*
- Gajdosik, R. L., Vander Linden, D. W., McNair, P. J., Williams, A. K. and Riggan, T. J. (2005) Effects of an eight-week stretching program on the passive-elastic properties and function of the calf muscles of older women. *Clin. Biomech. (Bristol, Avon)*, 20: 973-983.
- Gajdosik, R. L., Allred, J. D., Gabbert, H. L. and Sonsteng, B. A. (2007) 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.
- Grimston, S. K., Nigg, B. M., Hanley, D. A. and Engsborg, J. R. (1993) Differences in ankle joint complex range of motion as a function of age. *Foot. Ankle.*, 14: 215-222.
- Guissard, N. and Duchateau, J. (2004) Effect of static stretch training on neural and mechanical properties of the human plantar-flexor muscles. *Muscle Nerve.*, 29: 248-255.
- Hamilton, W. G., Hamilton, L. H., Marshall, P. and Molnar, M. (1992) A profile of the musculoskeletal characteristics of elite professional ballet dancers. *Am J Sports Med.*, 20: 267-273.

- Hutton R.S. (1992) Neuromuscular basis of stretching exercise. In: Komi P.V. (Eds.) Strength and power in sports. Oxford: Blackwell, pp. 29-38.
- Kato, E., Oda, T., Chino, K., Kurihara, T., Nagayoshi, T., Fukunaga, T. and Kawakami, Y. (2005) Musculotendinous factors influencing difference in ankle joint flexibility between women and men. *Int J Sport Health Sci.* s: 218-225.
- Kato, E., Kanehisa, H., Fukunaga, T. and Kawakami, Y. (2010) Changes in ankle joint stiffness due to stretching: The role of tendon elongation of gastrocnemius muscle. *Eur J Sports Sci*, 10: 111-119
- 川上泰雄・永吉俊彦・福永哲夫・小田俊明・栗原俊之・千野謙太郎・金久博昭・久野譜也 (2003) 中・高齢者における足関節可動域の規定因子. *体力科学*, 52(Suppl): 149-156.
- Kay, A. D. and Blazevich, A. J. (2009) Moderate-duration static stretch reduces active and passive plantarflexor moment but not Achilles tendon stiffness or active muscle length. *J. Appl. Physiol.*, 1249-1256.
- Kubo, K., Kanehisa, H., Kawakami, Y. and Fukunaga, T. (2001) Influence of static stretching on viscoelastic properties of human tendon structure in vivo. *J. Appl. Physiol.*, 90: 520-527.
- Magid, A. and Law, D.G. (1985) Myofibrils bear most of resting tension in frog skeletal muscle. *Science*, 230: 1280-1282.
- Magnusson, S. P., Simonsen, E. B., Aagaard, P., Sorensen, H. and Kjaer, M. (1996) A mechanism for altered flexibility in human skeletal muscle. *J. Physiol.*, 497: 291-298.
- Nigg, B. M., Fisher, V., Allinger, T. L., Ronsky, J. R. and Engsborg, J. R. (1992) Range of motion of the foot as a function of age. *Foot. Ankle.*, 13: 336-343.
- 小田俊明・千野謙太郎・栗原俊之・川上泰雄・金久博昭・福永哲夫 (2002) 足関節における柔軟性と下腿三頭筋の機能的・形態的特性との関係. *トレーニング科学*, 13: 157-166.
- Roberts, J. M. and Wilson, K. (1999) Effect of stretching duration on active and passive range of motion in the lower extremity. *Br. J. Sports. Med.*, 33: 259-263.
- Rodacki, A. L., Souza, R. M., Ugrinowitsch, C., Cristopoliski, F. and Fowler, N. E. (2009) Transient effects of stretching exercises on gait parameters of elderly women. *Man. Ther.*, 14: 167-172.
- Ryan, E. D., Beck, T. W., Herda, T. J., Hull, H. R., Hartman, M. J., Stout, J. R. and Cramer, J. T. (2008) Do practical durations of stretching alter muscle strength? A dose-response study. *Med. Sci. Sports. Exerc.*, 40: 1529-1537.
- Tainaka, K., Takizawa, T., Katamoto, S. and Aoki, J. (2009) Six-year prospective study of physical fitness and incidence of disability among community-dwelling Japanese elderly women. *Geriatr Gerontol Int*, 9: 21-28.
- Taylor, D. C., Dalton, J., Seaber, A. V. and Garrett, W. E. (1990) The viscoelastic properties of muscle-tendon units. *Am. J. Sports Med.*, 18: 300-309.
- Toft, E., Espersen, G. T., Kalund, S., Sinkjaer, T. and Hornemann, B. C. (1989) Passive tension of the ankle before and after stretching. *Am. J. Sports. Med.*, 17: 489-494.
- Wiesler, E. R., Hunter, D. M., Martin, D. F., Curl, W. W. and Hoen, H. (1996) Ankle flexibility and injury patterns in dancers. *Am. J. Sports. Med.*, 24: 754-757.
- Wilson, G. J., Elliott, B. C. and Wood, G. A. (1992) Stretch shorten cycle performance enhancement through flexibility training. *Med. Sci. Sports. Exerc.*, 24: 116-123.
- Worrell, T. W. and Perrin, D. H. (1992) Hamstring muscle injury: the influence of strength, flexibility, warm up and fatigue. *J. Orthop. Sports. Phys. Ther.*, 16: 12-18.
- 山本利春 (1996) 傷害予防と競技力向上における柔軟性評価の意義. *Train J*, 96: 84-87.
- Youdas, J. W., Krause, D. A., Egan, K. S., Therneau, T. M. and Laskowski, E. R. (2003) The effect of static stretching of the calf muscle-tendon unit on active ankle dorsiflexion range of motion. *J. Orthop. Sports. Phys. Ther.*, 33: 408-417.

---

連絡責任者

加藤 えみか

〒359-1161 埼玉県所沢市狭山ヶ丘 1-2987-7 ガーデンいずみ 203

TEL: 04-2947-6109 (090-6650-1012 : 携帯電話)

Email: e-kato@suou.waseda.jp