

静的および動的ストレッチング後に生じる 足関節可動域と筋力の経時的変化

Changes in Range of Motion and Muscle Strength of the Ankle Joint after Static and Dynamic Stretching

土井真里亜¹⁾ 浦辺 幸夫²⁾ 山中 悠紀²⁾ 野村 真嗣²⁾ 神谷奈津美²⁾

MARIA DOI¹⁾, YUKIO URABE²⁾, YUKI YAMANAKA²⁾, SHINJI NOMURA²⁾, NATSUMI KAMIYA²⁾

¹⁾ Wako Orthopedic Sports Clinic: 2-28-8-7 Yahatahigashi, Saeki-ku, Hiroshima 731-5115, Japan.
TEL +81 82-929-4600 FAX +81 82-929-1005

²⁾ Graduate School of Health Sciences, Hiroshima University

Rigakuryoho Kagaku 25(5): 785-789, 2010. Submitted Apr. 2, 2010. Accepted Jun. 12, 2010.

ABSTRACT: [Purpose] The purpose of this study was to compare the effects of static stretching (SS) and dynamic stretching (DS) on temporal range of motion (ROM) and muscle strength and investigate better ways of stretching before some sporting activities. [Subjects] The Subjects were 18 healthy Japanese women. [Method] Subjects performed SS and DS of their triceps surae muscles. We measured ROM of ankle dorsiflexion and muscle strength of ankle plantar flexion of subjects before stretching, just after stretching, and 5 minutes and 10 minutes later. [Results] ROM of subjects who did SS increased just after stretching and this was maintained for 10 minutes. On the other hand, ROM of DS increased gradually and reached that of SS. Subjects who performed DS showed significantly greater ankle plantar flexion strength than subjects who did SS from just after the stretching to 10 minutes later. [Conclusion] These findings indicate that DS 10 minutes before performing some sporting activities in which peak muscle strength is necessary would enhance performance.

Key words: stretching, triceps surae muscle, muscle strength

要旨: [目的] 本研究の目的は、静的ストレッチング (static stretching ; SS) と動的ストレッチング (dynamic stretching ; DS) 後の関節可動域や筋出力に関して経時的変化を比較し、よりスポーツ活動前に適したストレッチング方法を明らかにすることとした。[対象] 健康な成人女性18名とした。[方法] 下腿三頭筋に対しSSおよびDSを行い、ストレッチング直前、直後、5分後、10分後に足関節背屈可動域と底屈筋力を測定した。[結果] 関節可動域については、SSでは直後に上昇し10分間維持したのに対し、DS後は徐々に上昇し10分後にSS後と同程度に達した。筋力については、直後から10分後までSSよりもDSのほうが有意に高い値を示した。[結語] 最大筋力を必要とするスポーツ活動の10分前にDSを行うことでより高いパフォーマンスを行うことができる可能性が示唆された。

キーワード: ストレッチング, 下腿三頭筋, 筋力

¹⁾ 和光整形外科スポーツクリニック : 広島県広島市佐伯区八幡東二丁目28-8-7 (〒731-5115)
TEL 082-929-4600 FAX 082-929-1005

²⁾ 広島大学大学院 保健学研究科

I. はじめに

スポーツ活動の前には外傷予防や競技能力向上のため関節可動域の増大を目的としてストレッチングが行われる。一般にスポーツの現場では、筋を持続的に伸張する「静的ストレッチング (static stretching ; SS)」を行うことが多いが、SS後には筋力低下が起こることが指摘されており^{1,2)}、十分な競技能力を発揮できない可能性がある。それに対して、伸張したい筋の拮抗筋を随意的に収縮し、相反性抑制による筋の弛緩を引き出す³⁾「動的ストレッチング (dynamic stretching ; DS)」は筋力の低下が少ないという報告があり^{4,5)}、より大きな筋力発揮を必要とするスポーツ活動前の実施に適していると考えられる。しかし、静的および動的ストレッチングを行い、関節可動域と筋力という点について両者を比較した先行研究では、ストレッチング直後のみでの比較を行っているもの^{1,2,4,5)}が多く、ストレッチング終了後に時間の経過で比較した研究はみあたらない。このことから、DSの利点や導入方法についてはこれまでで十分な見解は得られていないと考える。

本研究では、スポーツ外傷の多い下腿三頭筋に対しSSおよびDSを実施し、その前後の足関節背屈可動域と足関節底屈筋力の経時的変化を比較することで、それぞれのストレッチングの特徴を明確にし、よりスポーツ活動前に適したストレッチング方法を明らかにすることを目的とした。

II. 対象と方法

1. 対象

対象は、本研究の趣旨に賛同の得られた成人女性18名の右下肢とした。対象はいずれも下肢に整形外科疾患がない者とした。年齢 (平均±SD) は20.3±1.5歳、身長は159.2±5.1 cm、体重は53.2±4.4 kgであった。なお、本研究は広島大学大学院保健学研究科心身機能生活制御科学講座倫理委員会の承認を得て行った (承認番号0848)。

2. 方法

対象者全員に、2種類のストレッチング (SS, DS) とストレッチング非実施 (non stretching ; NS) の3つの条件を課し、ストレッチングの直前、直後、5分後、10分後に足関節背屈可動域および足関節底屈筋力を測定した。3つの測定条件は対象毎にランダムに行い、それぞれの測定は、他のストレッチングの影響を排除するた



図1 自作のストレッチングボード

め、先行研究⁶⁾を参考に7日間以上あけて行った。

足関節背屈可動域の測定には、巻き上げねじによって傾斜角度の調節可能な自作のストレッチングボードを使用した (図1)。スポーツ活動は立位で行うことが多く、立位での可動域がより重要であると考え、立位で可動域測定を行っている先行研究⁶⁾を参考に本装置を作製した。なお、足関節背屈に伴う踵部への圧迫による疼痛を考慮し、足部後方に2 cm幅のクッションを設置した。対象にはストレッチングボード上で膝伸展位、荷重が両下肢均等となるような立位をとらせた。踵部がストレッチングボードから離れるか、股関節または膝関節が屈曲するか、あるいは足関節周辺に疼痛を生じる直前の角度を側方よりデジタルカメラで撮影した。床面とストレッチングボードに反射マーカを貼付し、それぞれのなす角を足関節背屈角度とし、画像解析ソフトScion Image (Scion社)により足関節背屈角度を算出した。

足関節底屈筋力の測定肢位は背中を壁につけた長座位とした。足関節底背屈0°にて、中足骨遠位部にベニヤ板、ハンドヘルドダイナモメータ (μ Tas F1, ANIMA社)を装着し、骨盤帯と足部をベルトで固定し、最大努力で2秒間下腿三頭筋の等尺性収縮を行わせた (図2)。2回の練習後、3回測定を行い、最大値を採用した。

SSは、ストレッチングボードに両下肢で乗り、静的ストレッチングによって腓腹筋が有意に伸張されるという報告をもとに2分間静止立位をとらせた⁷⁾。このときの傾斜角度は、ストレッチング前に測定した足関節最大背屈角度とした。DSは、長座位にて実施した。ベッドの足に固定されたチューブ (Thera-Band ブラック, Hygenic社)を中足骨背側部につけ、足関節最大底屈位から最大背屈位までの前脛骨筋による自動運動を、1 Hzのリズムで20回繰り返させた。立位では膝関節を伸

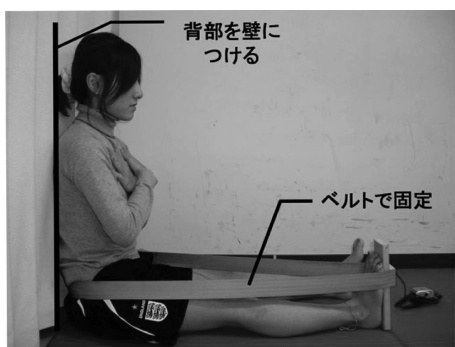


図2 足関節底屈筋力測定方法

展位で下腿三頭筋を伸張し、角度測定を行っているの
で、DSも長座位とした。

測定値は平均±標準偏差で示した。統計処理につい
ては、エクセルアドインソフト Statcel2 (オーエムエス
出版) を用いた。足関節背屈可動域と足関節底屈筋力
の経時的変化については、ストレッチング直前の値か
らの差 (直後、5分後、10分後) と3条件 (NS, SS, DS)
を2要因とした反復測定二元配置分散分析を用いて検
討し、有意な効果が得られた場合には、FisherのPLSD
法による多重比較を行った。いずれも危険率5%未満を
有意とした。また、可動域および筋力の測定結果の再
現性は級内相関係数 (ICC) を用いて検討した。

III. 結果

測定結果の再現性については可動域、筋力ともにICC
0.93という高い再現性が示された。

表1に足関節背屈可動域の推移とストレッチング直
前との差を示した。ストレッチング直前では、NS, SS,
DSの可動域に有意な差は認めなかったが、SSおよび
DS後はどちらも直後から10分後にかけて背屈可動域が
有意に増大した ($p<0.05$)。ストレッチング直前の角度
からの変化量と比較すると、ストレッチング直後は、
DSの $1.8 \pm 1.3^\circ$ に対し、SSで $3.5 \pm 3.3^\circ$ とSSが約 1.7° 大き
い値を示した ($p<0.05$)。しかし、SSはその後の背屈可
動域に変化がなかったのに対し、DSでは10分後まで
徐々に増大し、10分後にはSSが $3.8 \pm 3.6^\circ$ 、DSが $3.4 \pm$
 1.5° の背屈可動域増大となり、両者における有意差はみ
られなくなった。

表1に足関節底屈筋力の推移とストレッチング直前
との差を示した。ストレッチング直前では、NSが 586.4N
とSS (666.7N)、DS (643.1N) より小さいが、筋力に
有意な差は認めなかった ($p>0.05$)。ストレッチング直
前との差をみると、SSでは直後に $-22.0 \pm 61.3\text{N}$ 、10分
後に $-30.4 \pm 87.1\text{N}$ と低下した。一方、DSでは $20.5 \pm$
 66.7N 、10分後に $19.3 \pm 56.9\text{N}$ と増加したが、NSを含む
全てでストレッチング直前から10分後の全てにおいて
有意な差は認められなかった。しかし、SSとDSを比較
すると、ストレッチング直後から10分後にかけて、SS
はDSよりも有意に低い値を示した ($p<0.05$)。

表1 足関節背屈可動域および底屈筋力の推移 (() 内は直前からの変化量を示す)

		直前	直後	5分後	10分後
足関節背屈可動域 (°)	NS	27.8 ± 4.7	27.3 ± 5.1 (-0.5 ± 2.2)	27.9 ± 5.0 (0.1 ± 2.4)	28.4 ± 5.1 (0.6 ± 2.9)
	SS	29.3 ± 4.9	32.9 ± 5.5 (3.5 ± 3.3)	33.1 ± 5.4 (3.7 ± 3.6)	33.1 ± 5.7 (3.8 ± 3.6)
	DS	29.4 ± 4.0	31.1 ± 3.9 (1.8 ± 1.3)	31.6 ± 4.3 (2.2 ± 1.4)	32.8 ± 4.1 (3.4 ± 1.5)
足関節底屈筋力 (N)	NS	586.4 ± 151.4	589.1 ± 151.2 (2.7 ± 42.6)	596.4 ± 150.4 (10.0 ± 49.0)	599.9 ± 144.4 (13.6 ± 50.4)
	SS	666.7 ± 117.8	644.7 ± 115.2 (-22.0 ± 61.3)	633.8 ± 97.3 (-32.9 ± 72.5)	636.3 ± 101.4 (-30.4 ± 87.1)
	DS	643.1 ± 135.1	663.6 ± 123.7 (20.5 ± 66.7)	659.0 ± 126.4 (15.9 ± 51.7)	662.4 ± 126.5 (19.3 ± 56.9)

NS : ストレッチング非実施, SS : 静的ストレッチング, DS : 動的ストレッチング

* : $p<0.05$

IV. 考 察

本研究ではストレッチなし(NS)、静的ストレッチ(SS)および動的ストレッチ(DS)の直前からストレッチ終了10分後までの足関節背屈可動域と底屈筋力を測定した。SSとDSという異なる様式のストレッチで、同等とみなされるストレッチを実施することは困難であったが、先行研究や実際のスポーツ現場の様子を参考に、ストレッチを行う時間や運動量など関節可動域の拡大には十分であると思われる条件で実施した。

足関節背屈可動域が増大しなかったNSに対し、SSおよびDSではストレッチ直前と比較してストレッチ終了直後から終了10分後まで可動域の増大を認めた。さらに、SSとDSを比較すると可動域の推移に差を認めた。ストレッチ終了直後、SSはDSに対してより大きな可動域の増大を認めた。この結果について、それぞれのストレッチ方法の特徴から考察する。

SSは、立位で筋に他動的かつ持続的な伸張を加えた。これに対しDSは、座位で筋に自動的かつ中等度の速度でのリズムカルな伸張を繰り返し加えた。本研究と同様の方法でSSを行い、筋および腱に対する効果を超音波画像で分析している先行研究によると⁷⁾、SSでは腓腹筋の腱よりも筋の方がより伸張されることが明らかになっている。一方DSでは下腿三頭筋に対する伸張はSSよりも小さく、腱の伸張性や隣接組織に対する筋腱の滑走性が向上するとされている^{8,9)}。競技中の外傷予防のためには、腱の伸張性や隣接組織の滑走性も必要であるが、筋の伸張性を十分に高め、可動域を増大させるという点においてDS直後は不十分な状態なのではないかと考える。

しかし、本研究によってDSではストレッチ直後から10分後にかけて可動域が増大することが明らかになった。筋の収縮および弛緩を繰り返すと、筋のポンプ作用や交感神経の働きによって筋の血液循環が高まる。血流量が増加して筋温が上昇することによって、筋硬度が低下し伸張性が向上する^{10,11)}。DS終了後に可動域がDSの特徴である自動運動を繰り返すことが、筋を直接伸張するのみでなく血液循環を促進し筋の伸張性を向上させるのであれば、DSの利点であると思われる。DS終了直後には不十分である背屈可動域の増大効果が、ストレッチ終了10分後でSSと同程度まで向上するという本研究の結果により、DSを行う際には競技開始の10分前に行うことで、競技遂行により適した状態となる可能性が示された。もちろんSSでもス

トレッチング終了後に筋の血液循環が高まる可能性が考えられるが、このような視点から今後の調査を試みる意義はあると考える。

足関節底屈筋力は、ストレッチ終了直後から10分後までSSに対してDSが有意に高い値を示した。SS直後に筋力発揮が低下するという結果は先行研究^{1,2)}通りであり、その理由としてIb抑制の影響が示されている。下腿三頭筋が持続的に伸張されたことにより同筋の腱紡錘が興奮し、筋収縮が抑制される¹⁰⁾。また、本研究ではSS後の筋力低下がストレッチ終了10分後でも持続するということが明らかになった。このような結果となった要因として、筋の長さや張力の関係が考えられる。筋は静止長を超えて伸張されると、一旦張力が低下する¹²⁾。SSはDSと比較して筋伸張の要素が大きいと、下腿三頭筋の一時的な筋出力低下が生じやすかったと推察される。一方、DSでは筋力が増加傾向を示した。この理由として、筋温の上昇の可能性を考える¹³⁾。筋温が上昇すると、筋の粘性の低下により収縮が滑らかになることや、神経刺激の伝達速度が上昇することなどがいわれている¹⁴⁾。前項の筋血流量の増加の可能性と同様にSSでも筋温の上昇が起こるか、調査する必要があると考える。

上述した結果より、下腿三頭筋に対するDSはスポーツ活動の10分前に行うことで筋力発揮の低下を起すことなく、かつSSと同程度の関節可動域の増大が得られることが示された。DSが直接競技能力向上につながるとはいきれないが、特に高い筋力が必要とされる競技の前にDSを行うことでSS後よりも高い筋力を発揮し、競技能力が向上する可能性が考えられる。

本研究では、下腿三頭筋に対し2つの異なるストレッチを実施し、その後の可動域と筋力についての比較を経時的に行うことで、今まで明らかになっていないSSとDS後における差を発見するに至った。しかし、本研究では今回明らかとなったSSとDSの差が生じた理由に関しては明確にはなっておらず、この理由の解明には筋血流量や筋温といったより詳細な情報が必要となるため、今後の課題としていきたい。また、本研究では10分後以降の可動域や筋力は測定していない。DSはストレッチ10分後まで可動域が増大し続けており、さらに増大する可能性も考えられる。より効果的にDSを取り入れる方法を知るためには、DS後に可動域が最大になるまでに要する時間や、SS後に生じる一時的な筋力低下が消失する時間を明らかにするためにさらなる研究を進める必要がある。さらに、今回の実験ではそれぞれのストレッチが可動域や筋力発

揮に及ぼす影響のみを測定するため、ストレッチング前後の対象は測定中以外安静座位を維持することとした。しかし、実際のスポーツ現場ではさまざまなストレッチングを組み合わせたり、ストレッチング前後にそのほかのウォーミングアップを実施することが多い。よって、今後はよりスポーツ現場の実態に即した条件下で測定を行っていくことで、実際のスポーツ現場に推奨できるようなストレッチングの取り入れ方を明らかにしていきたい。

引用文献

- 1) Cramer JT, Housh TJ, Weir JP, et al.: The acute effect of static stretching on peak torque, mean power output, electromyograph, and mechanomyography. *Eur J Appl Physio*, 2005, **93**(5-6): 530-539.
- 2) Fowles JR, Sale DG, Macdougall JD: Reduced strength after passive stretch of the human plantarflexors. *J Appl Physio*, 2000, **89**(3): 1179-1188.
- 3) 魚住廣信: ストレッチングと競技パフォーマンス. *からだの科学*, 2005, **245**: 41-44.
- 4) Woolstenhulme MT, Griffithsb CM, Woolstenhulme EM, et al.: Ballistic stretching increases flexibility and acute vertical jump height when combined with basketball activity. *J Strength Cond Res*, 2006, **20**(4): 799-803.
- 5) Jaqqers JR, Swank AM, Frost KL, et al.: The acute effects of dynamic and ballistic stretching on vertical jump height, force and power. *J Strength Cond Res*, 2008, **22**(6): 1844-1849.
- 6) 岩本久生, 浦辺幸夫, 金澤 浩・他: 足関節自動運動装置の考案と効果の検証. *日本臨床スポーツ医学会誌*, 2008, **16**(1): 30-36.
- 7) 金澤 浩, 浦辺幸夫, 岩本久生・他: ストレッチングに対する腓腹筋腱の反応. *日本臨床スポーツ医学会誌*, 2007, **15**(3): 401-406.
- 8) Fukashiro S, Hay DC, Nagano A: Biomechanical behavior of muscle-tendon complex during dynamic human movements. *J Appl Biomech*, 2006, **22**(2): 131-147.
- 9) 大工谷新一: ストレッチング. *関西理学療法*, 2003, **3**(1): 1-7.
- 10) 二宮石雄, 安藤啓司, 彼末一之・他: 生理学. 第1版, 文光堂, 東京, 2004, pp162-170, 310-316.
- 11) 坂井寿江, 畠山 優, 小杉憲久・他: 筋疲労に対する超音波の効果—筋硬度と筋血流量, 組織血液酸素飽和度による検討—. *秋田理学療法*, 2002, **10**(1): 21-25.
- 12) Donald AN: *Kinesiology of the musculoskeletal system*. 1st ed., Mosby, U.S., 2002, pp41-55.
- 13) 覚張秀樹, 広瀬統一: 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*, 2004, **21**(12): 1482-1491.
- 14) Yamashita T, Ishii S, Oota I: Effect of muscle stretching on the activity of neuromuscular transmission. *Med Sci Sports Exerc*, 1992, **24**(1): 80-84.