

静的ストレッチングに関する研究

——動作抵抗および動作速度に着目して——

A Study on static stretching

—— Focusing on the passive torque and velocity in the abducent movement of leg ——

田中真紀

TANAKA, Maki

I. 緒言

ストレッチングは、各種スポーツのウォーミングアップの手段として実施され、柔軟性の向上や競技者のパフォーマンス向上に有効であるとして、スポーツ選手ばかりでなく、多くの人々に幅広く実施されている。そして、ストレッチングの多くの研究において、ストレッチング後、関節可動域が増大し、柔軟性が向上するという事が報告されている^{1), 9), 14)}。

柔軟性を評価する手段として、非侵襲的に生体の弛緩した関節を受動的に伸展させ、伸展に拮抗する軟部組織からの動作抵抗 (Passive Torque: PT) を評価する方法がある^{5), 13)}。Kubo⁵⁾は、下腿三頭筋を受動的に伸張させる際に発生するPTを測定し、静的ストレッチング後におけるPTの減少を報告している。

関節の動き易さは、基本的には主働筋の収縮力とその反対側にある拮抗筋の弛緩の程度によって決まるとされている¹²⁾。つまり、主働筋の働きに対し、拮抗筋が伸びにくい時は、動作の抵抗が大きくなり、結果として動作が緩慢で運動域も小さくなる。また、拮抗筋が伸びやすい時には、動作が素早く運動域も大きくなる。これらのことより、静的なストレッチングにより関節可動域が改善し、ストレッチングを施した筋を受動的に伸張させた際に生じるPTが低下すると考えると、動作速度の増大が推測できる。また、PTが低下すれば、同一筋出力を発揮する時に、主働筋の筋放電量は減少することが推測される。しかし、これまでストレッチングの効果を検討するために実施されたPTの測定は、足関節の背屈^{6), 13)}や膝関節の伸展運動^{1), 8)}についてのものであり、股関節の外転について取り扱ったものは筆者の知る限りなく、主働筋の動作速度と動作に拮抗する側から発生するPTとの関連性について言及したものもないようである。

そこで本研究では、股関節内転筋群への静的なストレッチングが脚水平外転における可動域、内転筋群のPT、外転動作速度および主働筋の筋放電積分量 (以下、IEMG) に与える影響を検討することとした。

II. 方法

対象者は健康な男性24名であり、平均年齢は21.0±2.7歳であった。対象者には、口頭および文書にて実験目的と測定方法について十分に説明を行い、実験参加への承諾を得た。対象者には、実験の2時間前から食事と運動を行うことを制限した。また、実験室に来院してから5分間以上の椅座位安静を指示し、実験前のウォーミングアップとして準備運動を行わせなかった。

自作のPT測定器を用いて脚水平外転可動域、外転角40、45、50度位のPT、最大外転速度、IEMGの4項目について測定を実施した。上記項目の測定は、ストレッチングテストとして、10分間の内転筋群へのストレッチングを行う前後ならびにコントロールテストとして、他日にストレッチングを実施しないで10分間の椅座位安静を行う前後に実施した。静的なストレッチングは内転筋群に2種類実施した。まず、Figure 1 (a)に示す姿勢で右脚に30秒間実施した。30秒間休息をとらせたのち、左脚に対して30秒間実施した。次に、Figure 1 (b)に示す姿勢で右脚に30秒間実施した。30秒間休息をとらせたのち、左脚に対して30秒間実施した。ここまですべてを1セットとして対象者に3セット行わせた。

PTの測定器をFigure 2に示した。この測定器は、長座姿勢により水平外転および水平内転できる仕組みとなっている。回転運動は、能動的な回転運動だけでなく、スピード制御モーター (RW8-8180: オリエンタルモーター社製) の設置により、

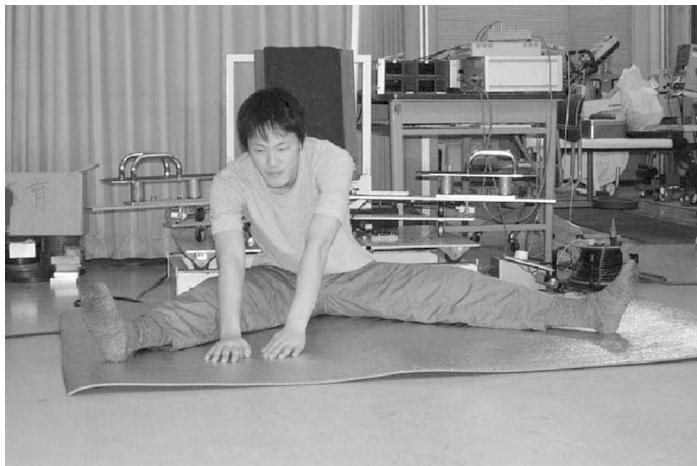
他動的に一定角速度（3度/秒）で水平外転および水平内転できる仕組みとなっている。回転軸から47cm離れたプレートの真下に、張力計（TV-BR-50K: TEAC社製）を固定した。また、開脚角度を測定するために、回転軸の真上にゴニオメーター（45313型：日本電気三栄社製）を取りつけた。

筋電図については、左脚の大腿筋膜張筋を被検筋として、双極誘導法による表面筋電図（以下、EMG）を記録した。EMGの記録には、ヘッドアンプ1272型と増幅アンプ1253A型を使用するポリグラフ360システム（日本電気三栄社製）を用いた。また、筋電位導出電極には銀盤製の表面電極を使用した。増幅器の時定数は0.03、増幅度は $500\mu\text{V}/\text{DIV}$ であった。

脚水平外転可動域について、能動的な場合と受動的な場合を調べるために2つの外転可動域の測定を行った。能動的な脚水平外転可動域は、対象者に両脚を平行に揃えた位置（0度）から下肢をゆっくりと水平外転させて測定した。一方、受動的な脚水平外転可動域は、一定角速度（3度/秒）で弛緩させた下肢を受動的に牽引することによって測定した。

PTは、一定角速度（3度/秒）で下肢を受動的に水平外転させ、外転運動中に発揮される内転方向への張力に回転半径を乗じて算出した。

最大外転速度は、外転角0度の位置から最大努力で下肢を外転させて測定した。時間の経過に伴う関節角度の変化から時間-角度曲線を求め、これを微分することによって最大外転速度を算出した。



(a)



(b)

Figure 1. Technical posture of stretching in adductor muscles

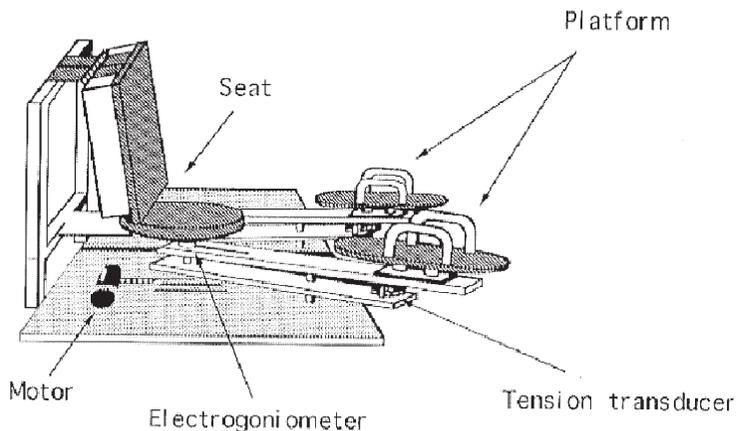


Figure 2. Passive torque meter used in this study

IEMGについては、外転角35度位にて等尺性の脚水平外転動作を15秒間で最大筋力に達するように漸進的に行なわせた。筋力の測定と同時に、左脚の大腿筋膜張筋を被検筋としてEMGを記録した。張力発揮から最大等尺性発揮トルクまで1.5秒間毎に、トルク平均値およびIEMGを求めた。3回測定した全てのトルク平均値とIEMGをプロットし、回帰直線を求めた。さらに、直線回帰式から30Nm時におけるIEMGを算出した。

全ての結果は、平均値および標準偏差で示した。ストレッチングテスト、コントロールテストにおける平均値の差の検定については、一元配置の反復測定分散分析を行った。この時、F値に有意な水準があれば最小有意差法によって多重比較を行った。また、有意水準は危険率が全て5%未満とした。なお、本研究における、解析は全て左脚とした。

III. 結 果

1. 脚水平外転可動域について

脚水平外転可動域の結果をTable 1に示した。能動的な脚水平外転可動域は、ストレッチング実施前と比較して、ストレッチング実施後に有意に大きくなるのが認められた。実施前の値を100%とした時の実施後の変化率は、104.4%であった。

一方、コントロールテストでは、実施前と実施後で有意な差は認められなかった。受動的な脚水平外転可動域においても上記と同様の所見が認められ、ストレッチング実施前と比較してストレッチング実施後に有意に大きくなり、変化率は、106.2%であった。

2. PTについて

脚水平外転角40、45および50度位におけるPTの結果をTable 2に示した。外転角40、45度位のPTは、ストレッチング実施前と比較して実施後に有意に低い値となった。50度位のPTについては、ストレッチング実施後に低下したものの、実施前と実施後の間で有意な差が認められなかった。低下率は、40度位で89.9%、45度位で88.9%であった。

一方、コントロールテストでは、いずれの角度においても実施前と実施後で有意差が認められなかった。

3. 最大外転速度

脚水平外転動作における最大外転速度の結果をTable 1に示した。最大外転速度は、ストレッチングテストでは、実施前と比較して、実施後に有意に増大し、変化率は、107.3%であった。

一方、コントロールテストでは、実施前と実施後で有意な差は認められなかった。

4. IEMGについて

30Nm発揮時の大腿筋膜張筋のIEMGの結果をTable 3に示した。大腿筋膜張筋のIEMGは、ストレッチング実施前と比較して実施後に有意に低下し、低下率は83.1%であった。

一方、コントロールテストでは、実施前と実施後で有意な差は認められなかった。

IV. 考 察

1. ストレッチング後における脚水平外転可動域の増大について

ストレッチング後、関節可動域が増大し柔軟性が

Table 1 . ROM and maximum velocity in horizontal abduction of leg (n=24)

	Active ROM	Passive ROM	Maximum angular velocity
	degree	degree	°/sec
Stretching test			
Before	52.5±6.4	63.1±6.8	188.4±22.8
After	54.8±4.8 ¹	67.0±7.7 ¹	202.2±22.1 ¹
No-stretching test			
Before	52.2±5.1	63.1±6.8	186.5±23.3
After	52.4±5.0	63.2±6.4	183.2±23.4

Values are mean±SD

¹Significant when compared with the “Before” in the stretching-test

Table 2 . Passive torque during horizontal abduction of leg (n=24)

	Joint angle		
	40°	45°	50°
	Nm	Nm	Nm
Stretching test			
Before	8.9±2.9	12.6±4.9	18.9±9.4
After	8.0±2.8 ¹	11.2±4.1 ¹	16.8±7.0
No-stretching test			
Before	8.6±3.2	11.7±4.8	17.5±7.8
After	9.1±3.0	12.2±4.3	17.9±7.0

Values are mean±SD

¹Significant when compared with the “Before” in the stretching test

Table 3 . Horizontal sbduction-induced IEMG at the level of 30Nm (n=24)

	IEMG
	M.tensor fasciae
	mv-sec
Stretching test	
Before	496.3±333.9 ¹
After	412.4±295.2 ²
No-stretching test	
Before	401.4±226.6
After	410.0±246.7

Values are mean±SD

IEMG: integrated electro myograph

¹Significant when compared with the “Before” in the no-stretching test

²Significant when compared with the “Before” in the stretching test

向上するという事が、さまざまな研究者によって報告されている^{1), 9), 14)}。

本研究においても、Table 1 に示すように静的なストレッチング実施後に能動のおよび受動的な脚水平外転可動域が有意に増大することが認められ、先行研究と同様の所見が得られた。関節可動域を制限する要因としては、筋および筋肉内の結合組織、腱、靭帯、関節包などによるとされている⁷⁾。その中でも靭帯、筋および筋肉内の結合組織の伸展性が柔軟性を決定づけるのに重要であるとされている¹²⁾。これらのことから推測すると、本研究における脚水平外転可動域の増大は、ストレッチングにより靭帯、筋および筋組織中の結合組織などの軟部組織の伸展性が高まったことによるものと考えられる。

2. ストレッチング後のPT低下について

PTの測定は、これまでストレッチングの効果を検討するために、生体において足関節の背屈^{6), 13)}や膝関節の伸展運動^{1), 8)}について行われていたが、股関節の水平外転について取り扱ったものは筆者の知る限りない。そこで、本研究では脚水平外転動作中に発揮される内転筋群のPTについて検討した。その結果、Table 2 に示すように脚水平外転角40、45度位のPTはストレッチング後、有意に低下することが認められた。

受動的に伸張させると筋腱複合体は、粘弾性応答を示す^{3), 6), 11)}。Taylor¹¹⁾は、兎の前脛骨筋を受動的に繰り返し伸張させ、これら組織の粘弾性応答を明らかにしている。そして、時間経過とともにPTの減少および繰り返しのストレッチングによるPeak PTの減少を観察している。Magnusson⁸⁾らは、男性を対象にハムストリングスに90秒間のストレッチングを繰り返し5回実施し、膝伸展動作中にハムストリングスから発生するPTを測定している。そして、90秒間のストレッチング中に観察されるPTの減少は、筋腱複合体が粘弾性体であることを意味し、繰り返しのストレッチングによる一定角度に対するPeak PTの減少は、筋線維と並列している結合組織の弾性要素すなわち並列弾性要素の急速な適応によるものであると推測している。本研究では、内転筋群に対して6回の静的ストレッチングを施し、ストレッチング後におけるPTの低下を観察した。これらのことから、脚水平外転角40度および45度位のPTの低下は、静的なストレッチングを繰り返し実施することによって、内転筋群の応力が緩和していくというメカニズムが働いたことによるものと考えられる。

一方、PTは温度によって影響をうける^{3), 10)}。

Noonan¹⁰⁾らは、兎の前脛骨筋を用いて温度の違いによる軟部組織の伸張性について調査し、生体の軟部組織は温度が上昇すると引き伸ばしに対する抵抗性が低下することを明らかにしている。さらに、ストレッチングの効果として血流循環の促進があげられ²⁾、血流循環の促進は筋温の上昇につながる⁴⁾。影山⁴⁾は陸上選手を対象に、ハムストリングスと下腿三頭筋に10分間の静的ストレッチングを実施し、ストレッチング後の皮膚温上昇を認めている。これらのことから推察すると、ストレッチングによる血流量の増大が筋温の上昇をもたらし、結果としてPTを低下させた可能性も示唆される。

3. ストレッチング後における最大外転速度の増大について

関節の動き易さは基本的には主働筋、すなわちその動作を起こす主な筋の収縮力とその反対側にある拮抗筋の弛緩の程度によって決まるとされている¹²⁾。本研究の場合、脚水平外転動作には外転筋力に加えて内転筋群の柔軟性が重要となってくる。筆者は、主働筋の動作速度に影響する要因の一つとして、動作に拮抗する軟部組織からのPTが関連していると推測し、静的ストレッチングによってPTの低下が報告されていることから動作速度の増大を予測した。その結果、Table 1 に見られるように、ストレッチング実施後に有意な最大外転速度の増大が認められた。また、40、45度位のPTについてもストレッチング後に有意な低下が観察された。

これらの結果から推測すると、脚水平外転動作における最大外転速度の増大は、静的なストレッチングによるPTの低下が影響しているものと考えられる。したがって、拮抗筋への静的なストレッチングは、主働筋の動作速度の改善に効果があるものと思われる。

4. ストレッチング後におけるIEMGの減少について

筋出力を大きくするためには、主働筋と共同筋の出力合計が大きくなければいけないが、同時に拮抗筋の筋スティフネスが小さく、伸びやすくなければいけない¹²⁾。主働筋の力が同じであるとすれば、拮抗する側の抵抗が小さい方が大きな筋出力を発揮することができる。このことより、筆者はストレッチングによりPTが低下するとすれば、同一筋出力を発揮する際に動作に求められる主働筋のIEMGは、減少するのではないかと推測した。その結果、30 Nm 発揮時の大腿筋膜張筋のIEMGは、ストレッチング実施後に有意に減少することが認められた。また、40、45度位のPTについても、ストレッチン

グ後に有意な低下が観察された

これらの結果から推測すると、30Nm 発揮時の大腿筋膜張筋からの IEMG の減少は、ストレッチング実施による PT の低下が影響しているものと思われる。したがって、拮抗筋への静的なストレッチングは、同一筋力を発揮する際の主動筋の IEMG を減少させる効果があるものと考えられる。

V. 要 約

本研究は男性24名を対象に、股関節内転筋群への静的なストレッチングが脚水平外転における可動域、内転筋群の PT、外転動作速度および主動筋の筋放電積分量に与える影響について検討した。結果は、以下の通りである。

1. 能動および受動的な脚水平外転可動域は、ストレッチング実施後に有意に大きくなる事が認められた。
2. 外転角40、45度位の PT は、ストレッチング実施後に有意に低い値を示した。
3. 脚水平外転動作における最大外転速度は、ストレッチング実施後に有意に増大することが認められた。
4. 30Nm 発揮時の大腿筋膜張筋の IEMG は、ストレッチング実施後に有意に低下することが認められた。

以上の結果より、10分間の静的なストレッチングは動作速度を増大させ、動作中の筋放電量を減少させる可能性が示唆された。これらは、ストレッチングによる PT の低下が影響しているものと考えられる。

謝辞

本研究を行うにあたり、ご指導、ご協力いただきました京都教育大学の寺田光世先生ならびにご協力いただきました対象者の皆様に深謝いたします。

文 献

- 1) Chan, S. P., Hong, Y., Robinson, P. D. Flexibility and passive resistance of the hamstrings of young adults using two different static stretching protocols. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* (2001), 11, 81-6.
- 2) 福永哲夫、矢田秀昭、ストレッチ運動における血流量変化、*デサントスポーツ科学*、(1983), 4, 192-195.
- 3) 平澤泰介、高井信郎、整形外科領域におけるバイオメカニクス—靱帯の力学的特性—、*JJ Sports Sci.* (1993), 12, 19-24.
- 4) 影山滋久ほか、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)、*臨床スポーツ医学*、(1986), 3, 306-308.
- 5) Kubo, K., Kanehisa, H. and Fukunaga, T. Effect of stretching training on the viscoelastic properties of human tendon structures in vivo. *J. Appl. Physiol.*, (2002), 92, 595-601.
- 6) Kubo, K., Kanehisa, H., Kawakami, Y. and Fukunaga, T. Influence of static stretching on viscoelastic properties of human tendon structures in vivo. *J. Appl. Physiol.*, (2001), 90, 520-527.
- 7) 栗山節郎、新ストレッチングの実際、*南江堂*、東京、(1999), 2-3.
- 8) Magnusson, S. P., Simonsen, E. B., Aagaard, P. and Kjaer, M. Biomechanical responses to repeated stretches in human hamstring muscle in vivo. *Am. J. Sports Med.*, (1996), 24, 622-628.
- 9) McNair, P. J. and Stanley, S. N. Effect of passive stretching and jogging on the series elastic muscle stiffness and range of motion of the ankle joint. *Br. J. Sports Med.*, (1996), 30, 313-318.
- 10) Noonan, T. J., Best, T. M., Seaber, A. V. and Garrett, W. E. Thermal effects on skeletal muscle tensile behavior. *Am. J. Sports Med.*, (1993), 21, 517-522.
- 11) Taylor, D. C., Dalton, J. D., Seaber, A. V. and Garrett, W. E. Viscoelastic properties of muscle-tendon unit, The biomechanical effects of stretching. *Am. J. Sports Med.*, (1990), 18, 300-309.
- 12) 寺田光世、フィットネスの生理学—ケース&ディスカッション、*文理閣*、東京、(1999), 15-17.
- 13) Toft, E., Espersen, G. T., Kalund, S., Sinkjaer, T. and Hornemann, B. C. Passive tension of the ankle before and after stretching. *Am. J. Sports Med.*, (1989), 17, 489-494.
- 14) Worrell, T. W., Smith, T.L. and Winegardner, J. Effect of hamstring stretching on hamstring muscle performance. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.*, (1994), 20, 154-159.