

筋伸張運動 (ストレッチング) の生理学的研究

佐藤 捷・佐藤 佑・中屋敷 真・鈴木省三

1. はじめに

関節自動運動を行うことによって、関節周囲の組織が再び滑りよくなり、コラーゲン線維の異常な結合が防止され、そして新しいコラーゲンが運動という刺激のくる方向に反応するので、関節可動性の回復を促進させるためには、自動的 (active) で漸増的・持続的な筋の伸張運動 (stretching) が必要であるといわれている。

一方、はずみをつける (ballistic) 伸張運動は、ストレッチ反射を強く誘発し、回復途上の組織には過負荷となり、組織破壊を生じさせることもあると、リハビリテーションの立場からはいえる¹⁾。

ヒトにおける筋伸張運動の医学的なねらいは、一般に、筋や靭帯をゆっくりと引き伸ばし、徐々に筋血流量を増やし、筋温を上げるところにある。そして、主働筋が収縮する時に、拮抗筋が伸張するという拮抗作用を円滑にすることにより、筋の弾力性を保ち、目的とする作業やスポーツ傷害への予防的準備とするものである。多方向の、異なった動作の組み合わせにより、ゆっくりしなやかに行われるストレッチングは、ウォーミングアップの一部になるものである。

筋伸張運動には、(1)他動的伸張法 (passive stretching)、(2)長時間伸張法 (prolonged stretching)、(3)自動的伸張法 (active stretching) などの種類があるが、最近ではこれをさらに、静的 (static) ストレッチングと動的 (dynamic) ストレッチングとに分けて、その役割を区別して考えるべきだともいわれている。動的ストレッチングはバリスティックであるといえる。

スポーツ場面における準備運動として、静的ストレッチングのみを考えることが不十分であ

ることは、後述のデータより明らかにされよう。本論で検討する内容はすべて active な static stretching についてである。

2. 目 的

われわれは1981年以来、スポーツマンにおける筋伸張関節運動の生理学的側面を、次のような角度から検討してきた。

- (1) 呼吸循環系の変動 (血圧, 呼吸数, 心拍数, 酸素消費量, R. M. R., 末梢循環など)
- (2) 筋放電の電気生理学的変動
- (3) 画像診断学的分析 (体表熱放射)
- (4) 柔軟性や筋力の分析

ここに、それぞれの局面で得られた結果の主な点を簡略に提示し、あわせて関連する問題につき2, 3の考察を行ってみた。

3. 呼吸循環からみた筋伸張運動²⁾

3-1. 方 法

27項目のストレッチングを約20分間実施し、この間の心拍数, 呼気量, 体温, 酸素消費量等を測定した。

心拍数については、日本光電製多用途監視装置 RM-150を使用し、胸部双極導出法により、安静時5分間、ストレッチング時20分間、回復時5分間をそれぞれペン書きオシログラフにて連続記録し、R波を数えて1分間値に換算した。

呼気をダグラスバック法により採り、湿式ガスメータにて測定し、これを呼気量とした。AICのアナライザ RAS-41 (CO₂), RAS-31 (O₂) により呼気ガスを分析した。採気時間は心拍数と同様。

3-2. 被 験 者

とくに疾患をもたない大学柔道部員男子6例 (18歳~21歳)。

3-3. 結 果

(1) 心拍数の変動 (図1)

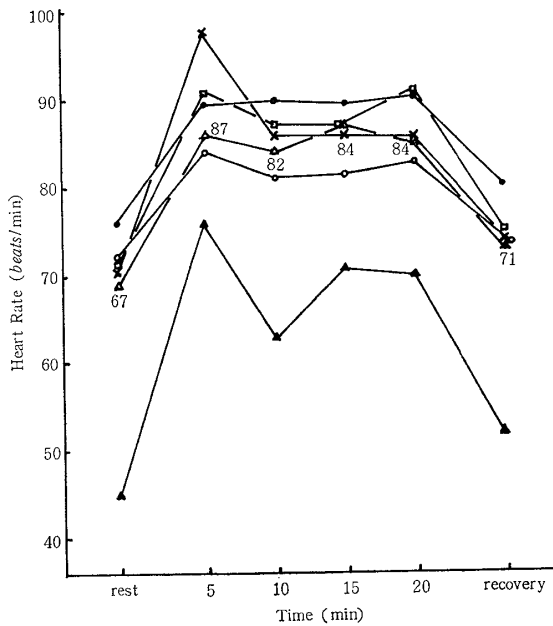


Figure 1. Variance of heart rate during stretching (6 Cases)
 ※ Numbers indicate the mean.

安静時平均67拍/分，ストレッチ開始後5分87拍/分，82~84拍/分が定常状態，終了後5分での平均71拍/分となった。

(2) 呼気量 (図2)

安静時 (5.28l/分) より漸増し，ストレッチ15分で最大 (12.47l/分) となり，以後急減した。

(3) 酸素消費量 (図3)

非運動時は平均236.7~254.6ml/分ほど (SD 15.8~19.2) であるが，ストレッチ時には当然増加した。しかし56.1~75.2ml/分の個人差の拡大となった。

4. 筋力からみたストレッチ²⁾

4-1. 方 法

6例の筋伸張運動負荷群，4例の休息群 (各々体育大生) を設けた。上腕二頭筋筋電位を記録後，上腕最大屈筋力を3回測定した (最大値を用いた)。その後，両群にバーベルカール (30kg) エクササイズを行わせ，筋力が負荷前最大屈筋力に対し60~65%に低下した時点で中

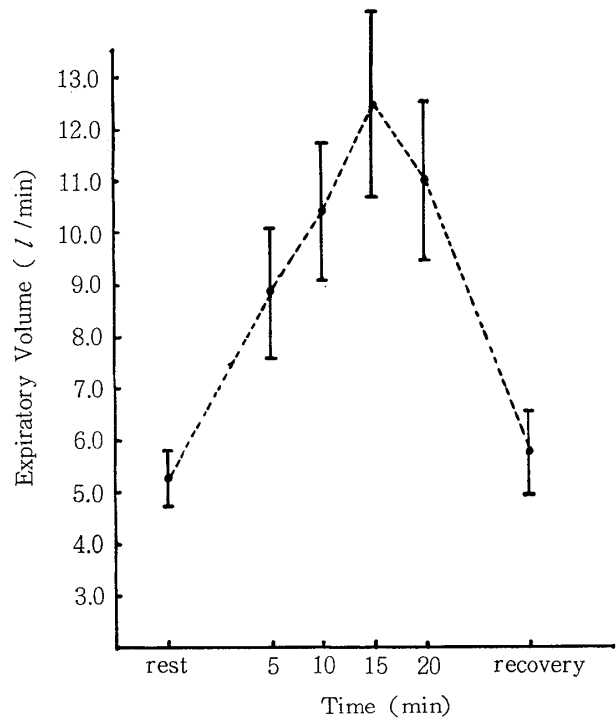


Figure 2. Changes in expiratory volume during stretching exercise

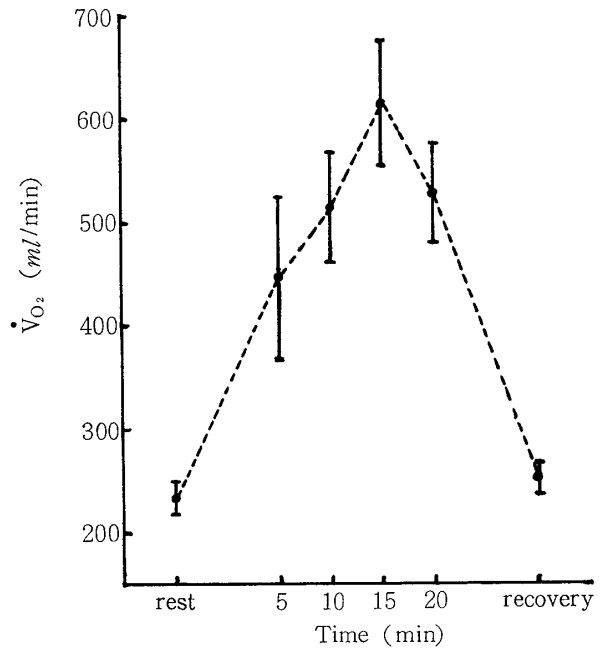


Figure 3. Changes in oxygen consumption during stretching exercise

止させ，同様に屈筋力を測定し，その最大値をエクササイズ後最大屈筋力とした。

ストレッチ群にはエクササイズ後，single shoulder press stretch, wrist stretch, towel stretch の3項目を各30秒ずつで1セットとし，

これを2セット行わせた。休息群にはエクササイズ後、起坐位にて4分間安静とさせた。筋力を、トランスジューサ（新興通信製 LS 1200 KA）、動歪測定器（DS 61 RY）を用いて計測し、日本光電製多用途監視装置（RM-150）にて筋電図を記録した。

4-2. 結果

両群の各局面における上腕最大屈筋力は図4のとおりである。これをみると、筋力の保持については、エクササイズ後にクーリングダウン（ストレッチング）を行った群の方が休息群よりも良好であることがわかる。

5. 電気刺激による身体の柔軟性の変動³⁾

低周波通電が身体の柔軟性の変化に及ぼす影響を基礎的に検討した。

5-1. 方法

各被験者の主体的条件をできるだけ統一するために、昭和60年8月末よりの青森県五戸町での合宿時を利用した。被験者は大学サッカー部員、20~22歳男子8例で、表1のように実験計画を配置した。

低周波通電については、英電舎製55 B-208型を用い、同社の治療例にならい、導子（パッド）をそれぞれ両足足底アーチ部にあて固定し、

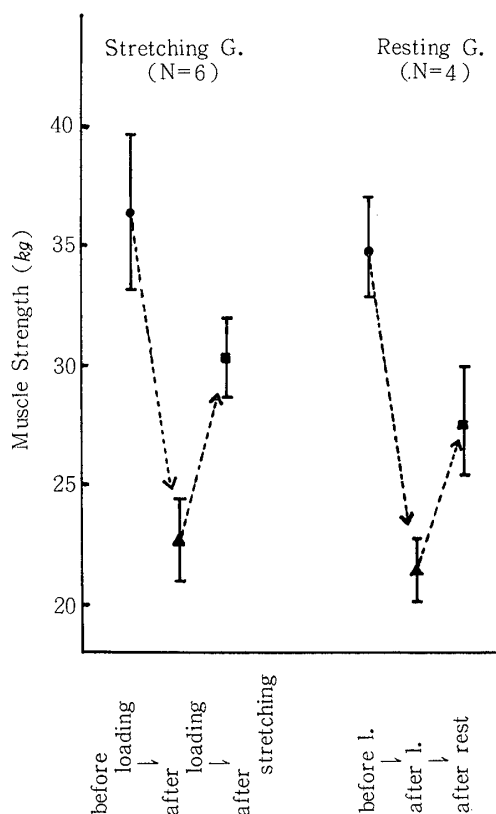


Figure 4. The maximal muscle strength during flexion in the elbow joint under two conditions

40 Hz の強さで、持続性間欠波を、時間10分 reverse（電極切り換え）の計20分で行った。また通電中は被験者を背臥位にて安静にさせた。

Table 1. Range* of Anterior Flexion of the Trunk (at the Erect Position) before and after the Low-frequency Electric Therapy

date	8/29			8/30			8/30			8/31			8/31			9/1		
	15:00 p. m. ~			7:10 a. m. ~			13:30 p. m. ~			7:10 a. m. ~			13:30 p. m. ~			7:10 a. m. ~		
	before	after	a-b	b	a	a-b	b	a	a-b	b	a	a-b	b	a	a-b	b	a	a-b
Ki	3.0	4.5	1.5							0.5	2.5	2.0	5.0	7.0	2.0			
Is	16.0	18.5	2.5							16.0	18.0	2.0	18.5	20.6	2.1			
Hi	7.0	8.0	1.0							1.5	7.0	5.5	8.5	10.0	1.5			
Ni	6.0	7.5	1.5							2.5	5.0	2.5	5.5	10.0	4.5			
Sa				-10.0	0.5	10.5	5.0	6.0	1.0							-17.0	-4.0	13.0
Ta				20.5	22.0	1.5	22.5	23.0	0.5							18.0	19.0	1.0
Ha				7.5	9.5	2.0	10.5	13.5	3.0							0.0	3.5	3.5
Ka				3.0	9.0	6.0	14.0	17.5	2.5							4.0	8.0	4.0
Median			1.50			4.00			1.75			2.25			2.05			3.75

* Standing hamstring stretch. Distance between the finger tip and the floor. (cm)

柔軟性の指標については、簡便にするために、立位体前屈をもって表わすことにした。

5-2. 結 果

測定結果を表1に示す。

全被験者の測定値が通電後に大きくなっており、柔軟性の向上を認めた。また、測定時間帯別にみると、起床時には通電前後差が平均3～5.38(cm)、午後には同じく1.63～2.53(cm)となっており、起床時の方に通電後の立位体前屈のパフォーマンスが向上していた。

6. 考 察

6-1. 諸家の報告

われわれ¹⁾は、体育大生15例をランダムに3群に分け、ストレッチ運動群、柔軟体操群、対照群とし、それぞれ運動負荷前後の呼吸数、血圧、末梢循環（指尖容積脈波）、EMG等を測定した。

この結果についてはすでに公表したのでここでは省略する。ただし、1つ追加するならば、2例の脈波にみる静脈圧の変動は表2のとおりであった。このストレッチ運動は微小循環へけっこう影響を及ぼしていることがわかる。

Table 2. Variance of the Venous Pressure in Plethysmogram (2 Cases)

	stretching ex.	ballistic ex.
① before work load	0.99	1.92
② after work load	1.96	2.36
Δ (②-①)	0.97	0.44

(V)

以上、呼吸循環系に関しては、スタティックストレッチングが生体に及ぼす負担の軽微であることを示していよう。データを省くが、3節で述べた実験における被験者群の運動時のエネルギー代謝率(R. M. R.)を算出してみると、ストレッチング15分経過時に2.11を示したのが最高であり、これは散歩程度の運動強度である

といえることから、この推定は支持されよう。

3群計30例の被験者に、①43°Cのパッドによる大腿部の電氣的温熱20分間、②ハムストリングス・ストレッチング7秒間欠法、③①+②を実施し、その前後に股関節運動を行わせることによって、これらの効果をROMとして測定したHenricson, A. S.ら(1984)⁴⁾によれば、③がもっとも(30分後になっても)股関節屈曲と外転のROM拡大に効果があり、①のみではROMの改善に効果的でなかったという。そして、温熱下での筋伸張は、筋のスパズムを軽減し、活動由来の筋緊張をやわらげるものだと報告している。

影山ら(1986)⁵⁾は、①ストレッチ運動群と②ジョギング群と③①+②群について、運動実施前後にサーモグラフィを行い、③群に平均4°Cの皮膚温上昇を認め、①群に平均1.5°Cの上昇を認めたという。そしてこれをもとに、筋ポンプ作用(効果)によるものと思われる現象からみて、③の方法はウォーミングアップやクーリングダウンに有効だと述べている。

われわれ^{6,7)}は先に、室温18.0～20.0±0.5°C、湿度58～70%の環境下で、下肢にスポーツ障害のない男子体育大生7例、スポーツ障害未完治学生7例、計14例に、底屈・背屈ストレッチング負荷前後のサーモグラフィックな測定を行った。

背臥位での足関節背屈ストレッチング以外は、熱画像に大きな変動があらわれなかった、また、スポーツ障害経験者群の下肢の方が最多温度分布が高く、底屈・背屈後の回復過程も異なっていた、という結果であった。

筋ストレッチ運動を電気生理学的に検討したものには次のような報告がある。

永田ら(1985)⁸⁾は、下腿三頭筋に急性疲労をおこさせた後、40秒間の静的ストレッチングを行わせ、この間の誘発筋電、トルク、皮膚温、足底屈力などを調べた。その結果、

- (1) 筋痛の鎮静化が促進し、高皮膚温の保持、
- (2) M波振幅は下降し、トルク値は無変動、
- (3) T/M比上昇(収縮効率改善)、

(4) electro-mechanical-delay や contraction time の短縮,

等が認められたという。そして以上のことから、ストレッチングが、筋疲労の回復上、有効な処方方の1つだと述べた。

一方、片平ら (1985)⁹⁾は、ラットの下肢に、腱延長術による筋伸張を行わせ、70日間観察した。脛骨神経—ヒラメ筋標本をとり出し、微小電極法により終板電位と微小終板電位 (m. e. p. p.) を記録し、神経筋接合部を組織化学的にも検索したところ、m. e. p. p. の頻度が増加し、長期持続したという。また、神経筋伝達機能が亢進し、神経筋接合部に sprouting が生じることを確認したという。

彼らは筋ストレッチが神経・筋の伝達効率増加によって、次に来る刺激への応答準備状態を作り出すのではないかと推察している。

われわれ¹⁾も、筋電図からみた静的筋伸張運動の特徴をみようと、右側大腿四頭筋の表面筋電位を記録し、データプロセッサに入れ、ヒストグラムを算出して、高頻度分布電位の変動をみた。

この結果と考察についても既報告のとおりであるが、要するに、ストレッチング時には高振幅放電が少なかった。

6-2. 静的筋伸張運動

諸家の報告ならびにわれわれのいくつかのデータからみて、この身体運動は、生体負担度が軽微 (散歩程度) で、末梢循環を促進し、筋温を保持し、関節の柔軟性を向上させる役割をもっているものといえる。これらの点において、バリスティックな従来の柔軟体操と異なっているといえよう。

ストレッチングが米国内で Anderson によりスポーツ界に広められたのは1975年¹⁰⁾、それが同じくスポーツの領域において本邦に紹介されたのは1980年¹¹⁾である。

そこで強調されていた点の1つは、フィーリングを重視すること——リラックスして、持続的に筋を伸張させ、その伸ばしている部分に自

己の意識を集中させること——であった¹¹⁾。しかし、わが国に入り、広まった時にはこの点が欠落し、技法のみになってしまった。この心理的意義と効果に関する検討はまず行われなかった。(この点については今回の考察の範囲外である。)

最近、スタティック・ストレッチングに対する批判と見なおし論が出てきた¹²⁾。

これには出るべくして出たという感がある。何故ならば、1つには、前述のような軽度の運動である static stretching は、競技的スポーツトレーニングの主運動へ直結させるには、その運動強度においてかなりギャップのあるものだからである。ウォーミングアップやクーリングダウンの「一部」なのであり、中間に動的なトレーニングがさらに必要なわけである¹³⁾。2つには、フィーリング (concentration が重要) 無視からくる性急な結論づけの結果ともいえよう。

7. おわりに

われわれが過去6年間、スポーツ場面・スポーツマンにおける静的筋伸張運動の意義と効果について、臨床生理学的に検討してきた主な点をここに述べた。

daily stretching は誰にでも望ましいものである。competitive なスポーツマンには、さらに動的な筋力・柔軟性等のトレーニングへの土台やまとめとして位置づけられるものであろう。

おわりに、本概要報告のもとになった一連の研究は、1983年から87年まで、本学新規事業研究費「ストレッチングの生理学的研究」の補助を受けて行われたものである。関係各位の協力に感謝する。また、本学、森 富教授の御校閲に感謝の意を表す。

文 献

- 1) 佐藤 捷：スポーツとリハビリテーション医学。廣川書店，1986。
- 2) 田中幸治：ストレッチングの生理学的効果。仙台大学体育学部昭和59年度卒業論文，1984。
- 3) 中屋敷 真：低周波通電による身体の柔軟性の変化について—基礎実験報告。1985。(未発表)
- 4) Henricson, A. S., et al.: The effect of heat and stretching on the range of hip motion. J. of Orthopaedic and Sports Physical Therapy, 6 (2); 110-115, 1984.
- 5) 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を用いて)。臨床スポーツ医学, 3 (別冊); 306-308, 1986。
- 6) 佐藤 捷：コンタクトサーモグラフによる末梢循環の測定。臨床スポーツ医学, 4 (3); 281-289, 1987。
- 7) 千田まゆみ, 関弘子：負荷サーモグラフィによるスポーツマンの下肢の熱画像。仙台大学体育学部昭和60年度卒業論文, 1985。
- 8) 永田 晟ほか：誘発筋電図からみたストレッチングと神経・筋機能の関係。体力科学, 34 (6); 480, 1985。
- 9) 片平弦一郎ほか：筋の伸張に伴う電気生理学的変化からみた、ストレッチング体操の有効性についての一考察。臨床スポーツ医学, 2 (増刊号); 21-23, 1985。
- 10) Anderson, R. A.: Stretching. Shelter Publication, 1980.
- 11) 編集部：特集・ストレッチング 1; ボブ・アンダーソンのストレッチング。月刊トレーニングジャーナル, 2 (10); 4-7, 1980。
- 12) 編集部：特集・スポーツ選手に必要な柔軟性とは。月刊トレーニングジャーナル, 9 (10); 16-25, 1987。
- 13) 堀居 昭：ストレッチング (Q. A/臨スポ診察室)。臨床スポーツ医学, 1 (4); 444-451, 1984。

Physiological Studies on the Stretching in Athletes

Ken SATO, Tasuku SATO, Makoto NAKAYASHIKI
and Shozo SUZUKI

Our laboratory has been pursuing studies involving the physiological action of static stretching on sportsman.

The following results have been obtained.

(1) Stretching exercises of 27 items were recorded in 6 volunteers (members of the university Judo club). The mean heart rate at rest was 67 beats/min; 82 to 84 in steady-state and 71 at five minutes after treatment. Amount of oxygen consumption ($\dot{V}O_2$) at rest and after exercise were 237 ml/min and 255 respectively, while in stretching it amounted to 610 ml/min (at 15 minutes).

These results show the intensity of the exercise is similar to that of walking.

(2) In the ankle dorsiflex stretching in the prone position (7 healthy athletes and 7 sportsinjured), dynamic variance was shown in the contact thermogram (skin temperature) of the calf; but not shown in the other.

(3) From another work-load experiments (15 subjects) consisted of stretching, ballistic exercise, and control, it appeared obvious that stretching exercises involve the muscle

action with slight high amplitude voltage (7.7mV in the EMG histogram), and the action with less loaded motion than ballistic exercises (9.2mV).

(4) The maximal muscle strength due to flexion in the elbow joint was measured on two occasions: one measurement (6 cases) was taken after barbell curl exercise and strengthening, and the others (4 cases) after b-c exercise and resting.

Muscle strength of the group with stretch cooling-down was wellpreserved than that of with rest cooling-down.

(5) Eight volunteers (members of the university soccer club) were undergone the low frequency electric therapy for twenty minutes under different conditions.

After the treatment was over, the distance between the finger tip and the floor in standing hamstring stretch was magnified by 1.6-5.3 cm.

From these observations, it would appear that static stretching has the nature of being a slight work-loading, enlarging the peripheral circulation, preserving the muscle temperature, and promoting flexibility of the joint.

The two works (static stretching and ballistic exercise) are quite different in character. Active static stretching forms a "part" of warming-up and/or cooling-down menu but is not inclusive for athletes.