

ストレッチング

—その科学的基礎—

小 林 義 雄
細 井 輝 男
竹 内 敏 子

はじめに

I ストレッチングと柔軟性

1 ストレッチングのタイプ

2 Static vs Ballistic

1) 結合組織

2) 筋紡錘と腱器官

3 Static vs PNF タイプ

4 その他の影響要因

1) 筋温

II スポーツ傷害の予防とストレッチング

1 筋痛 (Muscle Soreness)

1) 遅発性筋

・限局性の筋痙縮説

・結合組織外傷説

・筋局所の虚血説

2) DOMS の予防と軽減

2 スポーツ外傷のリスクファクター

1) 使い過ぎ (Overuse) 傷害とストレッチング

III ウォームアップ, クールダウン, トレーニング

1 ウォームアップ

1) Warm-up exercise とストレッチング

2 クールダウン

3 柔軟性のトレーニング

おわりに

はじめに

ストレッチング (Static Stretching) が科学的に理論化されたのはアメリカにおいて古く 1960 年代の初期であった。期せずしていくつかの研究が出され、ストレッチングの重要性が強調された背景には、わが国においても同じことであったように、従来から行われていたタイプの柔軟体操 (運動) が、柔軟性の増大とは別に筋組織の損傷を招くことがあって、もっと安全で効果的な技法をコーチもアスリートも求めていたという必然性があったのである。

今日、ほぼスポーツ界において定着したストレッチングは、安全でより効果的であるということで紹介されたのだが、1970 年代に入るまでそれほどポピュラーにならなかったのは、スポーツが伝統的に一部の選手に限られていたからであった。ところがジョギング、ランニング、テニスといった健康志向のスポーツ人口が増え、しかも高齢化社会での生涯スポーツの大切さの理解が深まって急速にスポーツが一般大衆に浸透してきたことで、ストレッチングの有する生理学的な効果がとくに健康を目的とするフィットネス運動に参加する一般成人に必要とされるようになったのである。タイミングよく、B. Anderson⁽²⁾ がたくみなイラストを使い、身体各部のストレッチングを 1 冊の書にまとめて刊行したことが、今日のストレッチングの確立に大きく貢献したことは異論の余地がない。

スポーツの領域から発展してきたストレッチングではあるが、その目的はスポーツに限定されず、運動不足の生活を余儀なくされている人たち、緊張の多い生活を送っている人たちの健康体操としての価値は大きく、その面で筆者もささやかではあるがその普及に力を注いできた。⁽⁴⁷⁾ そのような分野の関心がむしろストレッチングをより浸透させるのに影響したのではなかろうかと考える。

リハビリテーション⁽¹⁰⁶⁾の領域においては、スポーツ界よりもっと古くからストレッチングが活用されていたことはあまり知られていないが、そのようにストレッチングはスポーツからリハビリテーションに、そして日常の健康体操とさまざまに活用されているのである。本稿では改めてスト

ストレッチングの効用についてまとめてみることにした。

I ストレッチングと柔軟性

スポーツの成績はそのスポーツの技能の他に、筋力、パワー、持久力、柔軟性、平衡性、敏捷性などのいくつもの体力要因に影響される。今日では、ほとんどのアスリートはトレーニングや競技の前後にかなりの時間をストレッチングに当てているが、長い間柔軟性への配慮はスタミナや筋力のトレーニングに比較して軽視されがちであった。ストレッチ (stretch) とは筋および結合組織を伸展させることで、ストレッチングは伸展させる運動 (体操) のことである。つまり、ストレッチングは柔軟性を高めるための手段であって、高い柔軟性は筋の傷害の発生を減らし、^(70, 71, 77) 筋痛を最小限におさえ、^(18, 21) スポーツの成績を高めるのに大きく寄与する。^(15, 22, 102)

柔軟性とは1つの関節のまわり、あるいは一連の関節を介しての可動域の大きさである。十分な可動域を維持することはスポーツにおいても、フィットネスにおいても重要な基本要素であると考えられている。その柔軟性には2つのタイプがある。1つは static flexibility で、それはある関節の可動範囲であって、他のタイプは dynamic flexibility といって、その関節での働きに対する抵抗の大きさを示す。それら2つの柔軟性はかならずしも双方が関係しているものではない。

柔軟性は関節の構造によって大いに制約を受けるが、筋膜、腱、皮膚などの支持組織および結合組織や靭帯の伸展性にも強く影響を受ける。それらの組織は弾性を有するので、ストレッチングによって適切に伸展 (stretching) を繰り返すことで関節の可動域が改善される。

Surburg⁽⁹²⁾ は柔軟性を1本の線 (continuum) に例え、一端は関節硬直に代表されるような全く動かない状態で、他の一端は極端な柔軟性で、脱臼に見られるようにきわめて不安定な状態とした、この両端の間に、柔軟性の至適なレベルが存在するのである。その至適なレベルこそ、運動の成績を高め、傷害の予防に役立つもので、ストレッチングの正しい目標でもある。

ヨガの修業者、バレエダンサー、体操選手などは古くからストレッチングをとり入れて柔軟性の強化につとめている。なぜならば、それらの種目のすぐれたパフォーマンスにはかなりの大きな柔軟性が必要とされているからである、ところが、長期にわたる関節の過伸展トレーニングの結果、過度の柔軟性 (over-flexibility) が人生の後半においてしばしば傷害と結びつくことがあるということに注目すべきである。⁽⁷⁵⁾

1 ストレッチングのタイプ

ストレッチング技法を次のように類別することができる：

- 1) Ballistic stretching (BS)
- 2) Static Stretching (SS)
- 3) Contract-Relax Stretching (CR)
- 4) Combo Stretching (CS)
- 5) Contract-Relax Agonist Contract Stretching (CRAC)

3と4と5をまとめてリハビリテーションの分野でよばれる PNF (Proprioceptive Neuromuscular Facilitation) 法とすることができる。

BS は “spring”, “bouncing”, “rebound” ストレッチングともよばれるように、柔軟性を高めるために反動をつけて筋を伸展させようとするタイプで、学校体育やスポーツの領域で古くから “いち”, “にー”, “さん” と号令をかけて行われてきた、いわゆる柔軟体操というものに相当する。

SS は一方では “hold”, “slow” ストレッチングとよばれる。文字通り標的筋 (ストレッチさせたい筋) をゆるやかに最大位に伸ばし、その姿勢をしばらく保つ (hold) というタイプである。この技法はここ 10～15年の間に急速に普及したタイプ^(2,47)で、今日でいうストレッチングとはこの static stretching を指しているのである。

CR, は古くからリハビリテーションの領域で使われてきた PNF⁽⁵¹⁾ 技法の修正されたタイプで、まず標的筋 (群) を軽い伸展位に置き、パートナーの介助を得てその標的筋を等尺性に収縮させる (5～10秒間)。リラックスした後ただちに SS に入るという方法である。

CS は標的筋のストレッチング中、あるいは SS に入る前に、標的筋と対側になる筋を等尺性に収縮させるというやり方である。その意図は、最大

筋収縮によってそれと対側になる標的筋のクラクセーションを促進させて筋伸展の効率をよくさせようとする事で、相反性神経抑制 (reciprocal inhibition) の神経学的原理を活用した技法^(36, 79)で、Kabat⁽⁴⁵⁾によって古くから紹介されてきた。

PNF 類に属するもう一つの技法である CRAC は Moore と Hutton⁽⁷²⁾によって使用されたストレッチングで、CR と CS を組み合わせたようなタイプとみなされる。その技法では、CR 法においてまず標的筋の等尺性筋収縮を行った後、標的筋と対側になる筋を収縮させ、最後に SS に入るというやり方である。

BS を除いた他の3つのストレッチングにおいてはいずれも SS の局面がある。1回に筋を伸展させる長さ (stretch time) については明確な尺度が示されているわけではないが、20～60秒間、つまり長く伸展させることで多方の一致を見る。そのように長い時間をかけることは、筋や結合組織を適切な強度で長く伸展させることによって逆伸張反射が促進されるからである。⁽³¹⁾ このプロセスは筋緊張を減らし、伸展反射を抑制して筋の伸展を大きくさせるのである。

このことに関して、慢性関節拘縮患者に対して、BS よりも中等度の張力で長い時間をかける SS の方が最小の痛みで、しかも組織損傷を使わないで、有意に可動域の回復をもたらすことが報告されている。⁽⁴⁹⁾

2 Static vs Ballistic

1) 結合組織

結合組織は蛋白-多糖類基質に取り囲まれている膠原線維でできている。膠原線維は非常に高張力を有する線維性蛋白で、腱、靭帯、関節のう、腱膜、筋膜鞘などの結合組織はこの膠原性組織でできている。そして関節の可動域は基本的にはそこに関与する結合組織構造に制約される。それぞれの関節によって差はあるものの、関節の動きに抵抗となる要因は靭帯、関節のう、腱、筋などである。⁽⁴⁴⁾

筋は動きを制約する1要因ではあるが、関節のうや腱と違って筋は結合組織の要素を多く含まないために、伸展にさいして大きな抵抗源とはならない。ストレッチングに対する抵抗のほとんどは広範囲にわたる結合組織

と筋の内部および筋を囲む鞘などに起因して、筋原線維性要素によるものではない。^(11, 81, 91) したがって、正常な条件下では、関節の運動を制約する主要構造は全て結合組織であるとしても支えない。つまり、ストレッチングにおいては、結合組織がもっとも重要な標的となるのである。

結合組織は粘性組織と弾性組織の両要素から成っていて、ストレッチングが行われると、当然両要素に伸張が生ずる。しかし、粘性特性の方は伸張によって改善された伸展性の残存効果はきわめて大きいのだが、弾性特性の方は伸張による組織の変形はストレッチングが解除されると元にすばやく回復するという違いがある。結合組織の粘性特性と弾性特性が伸張される相対比はどのようにストレッチングを行うかで変わってくる。主要な影響因子はストレッチングに加えられる力の大きさ（伸張の度合い）と長さ（ある部位に対する1回の伸張時間）およびストレッチングが行われている時の組織の温度である。

強く反動をつけて行う Ballistic タイプのストレッチングを“高張力—短時間”刺激とすれば、Static タイプは“低張力—長時間”刺激とすることができる。つまり static はゆるやかに長くストレッチさせるのに対して、Ballistic は伸張の度合いは大きいのが1回に伸張される長さを犠牲にするという特徴を有する。ストレッチングの後、その組織の伸張状態が残っている割合は“低張力—長時間”ストレッチングの技法の方が大きい。^(53, 98) SSの方がBSよりも残存効果が大きいというわけである。そのために、この技法によるストレッチングを繰り返すことで組織は恒久的な伸展力を獲得することができると思われる。

それでは、“高張力—長時間”という組み合わせはどうなのかという関心が生ずるであろうが、高張力で急峻なやり方の繰り返しは組織に対する外傷を起ししがちになり、筋痛およびときには組織破損のリスクをかかえることになる。Walker⁽⁹⁵⁾ は Ballistic による筋の張力は Static の2倍以上になるとしている。そのことは筋や腱の傷害につながることにもなりかねない。したがって、static タイプの標的が主として結合組織におかれているのであるから、結合組織が粘弾性様式に伸展性を高めるという事実を十分理解してストレッチングのタイプを決定するのが好ましい。Hartely-O'Brien⁽³⁰⁾ は標的筋群の時間をかけたストレッチングは結合組織

の粘性特性によって結合組織の伸展力を獲得するのに効果であるとしている。結局、結合組織の特性およびメカニカルな応答から考えて、リハビリテーションの手段として中等度の張力（伸張）で長く伸展させるタイプの Static ストレッチングは Ballistic より関節可動域を回復するのに大きな成果を収めている。^(27,49) フィットネスやスポーツの領域においても同様に Static タイプは Ballistic タイプより柔軟性の改善により効果的である。⁽⁹⁶⁾

しかし、これまでの研究において、Ballistic が Static よりも可動域改善の技法としてすぐれているという報告は皆無に近いが、両技法間に柔軟性の改善効果における有意差が認められなかったとする研究が無いわけではない。^(30,33,57,84)

2) 筋紡錘と腱器官

ストレッチングの標的筋（群）が伸展しやすい状況をつくり出す配慮はストレッチングの効果を高めるのに欠かせない。もっとも重要なポイントは標的筋群の張力をできるだけ小さくすることである。Static が Ballistic より関節可動域を高めるのに効果的であるとする主張は伸張反射 (stretch reflex) を含めた神経生理学的なメカニズムから説明される。

運動を起こす骨格筋線維（錐外筋線維）に平行して筋紡錘とよばれる知覚終末が位置する。筋が著しく伸張されると (over-stretch), 筋紡錘から脊髄へ伝達される神経インパルスの頻度が増大する。すると、そのインパルスが伸張された筋へ戻る運動神経のインパルスの頻度を増加させ、結果として筋収縮が起こる（伸張反射）。これは過伸張による筋損傷を防ごうとする生体の防禦反応でもある。いずれにせよ、筋収縮による筋の伸張に対する抵抗はストレッチングにとって不利な状況をつくり出すことになる。この伸張反射を起こす Ia 知覚神経は“ぐいぐい”タイプのダイナミックなストレッチより、slow, static タイプのストレッチングに対しての応答は著しく小さい。筋電図を通しての観察で、この slow, static ストレッチは EMG による筋放電が全く見られなかった。⁽³⁰⁾ Ballistic タイプは強い反動によってこの伸張反射が容易に生じて筋伸展（張）に不都合になることが容易に理解できる。

伸張反射は phasic (isotonic) と static の両タイプに敏感に反応する。す

なわち、筋線維の変化した長さと変化する速度を鋭敏に感知するのである。そして伸張反射から誘発される標的筋群の収縮の度合いはストレッチによる長さの変化及び変化の速度に比例する。筋が敏速に伸ばされると、筋が同じ長さに伸張されてもそれがゆるやかにジェントルに伸張される時よりも伸張反射による筋収縮は大きくなる。BS による筋の張力はスロー、ジェントルによる SS 中に発生する張力の2倍以上にもなる。⁽⁹⁵⁾ このことはストレッチングではクイック動作 (Ballistic に見られる) を回避すべきことを説明するものである。したがって、筋の over-stretch を避けて伸張反射を大きく起こさせない範囲にゆるやかにジェントルにストレッチさせることが長い時間伸張させることに次いで効果のポイントとなる。

伸張反射を抑制する機構にゴルジ腱器官 (Golgi Tendon Organ) がある。伸張反射が筋伸展に対してのみ反応するのに対して、筋伸展と筋収縮の両方に応答するのが逆伸張反射 (inverse stretch reflex) である。この知覚受容器はゴルジ腱器官 (G. T. O) に位置する。この逆伸張反射は、能動的な筋収縮または過伸張によって生じた筋組織の大きな張力を、GTO が筋組織への過度のストレスが加わらないように機能するというものである。ストレッチング中、腱器官の閾値に達するように力を腱に作用させることで、筋はこの受容器から発射される抑制インパルスの影響を受けて弛緩する (自原抑制)。⁽⁸²⁾ この神経支配によって標的筋はストレッチングに効都合な状況を得る。

SS の特徴は長く (20 ~ 60 秒間) 伸ばすことであった。その生理的効果は自原抑制から説明された。筋が伸張されると、その筋へ分布している運動神経は筋紡錘からの興奮 (収縮) 性インパルスと GTO からの抑制性インパルスの両方を受ける。ストレッチングによって伸張反射が起きても、そのストレッチングがある程度以上長く続くものであれば、筋紡錘よりもはるかに高い閾値を有する GTO はストレッチの標的筋群に生ずる収縮を抑制するように働いて筋に弛緩をもたらす。つまり、GTO からの抑制性インパルスが興奮性インパルスを凌ぐのである。このメカニズムは過度の伸張が行われて、反射性収縮 (phasic に応答する) によって筋が損傷するのを防ぐことからくるものであるが、軽い痛みを覚える程の筋伸張で起こる伸張反射によるインパルスを、GTO からの抑制性インパルスが最終的に

淘汰することで筋伸展のレベルはワンランク高くなるものと考えてよいであろう。

3 Static vs PNF タイプ

リハビリテーションの分野においては、過去 30～40 年の間、理学療法士たちは関節可動性欠如の患者に対する治療法として PNF (proprioceptive neuromuscular facilitation = 固有受容体神経筋促通) タイプのストレッチングを採用してきた。^(45, 62) 一方スポーツの領域でも、トレーナーやコーチはスポーツの成績を高めることやスポーツによる傷害予防の両面において、アスリートの柔軟性に強い関心を持ってきた。そして近年になって PNF の神経学的原理を応用した変法が紹介されている。Contract-Relax (CR), combo, contract-relax with agonist contraction (CRAC) といった変法が比較的好く使われている。

C-R ストレッチングでは、標的筋の大きな伸張反射を起こすことなく比較的長い時間 (30～60 秒) 標的筋をストレッチさせるということで Static タイプと全く同じであるが、両技法の唯一の相異点は C-R が最大等尺性筋収縮 (6～10 秒間) を持つことである。まずストレッチさせる標的筋、たとえばハムストリングスを等尺性に筋収縮させることで、その筋の対側筋 (ここでは四頭筋) の興奮性を促進させ、その結果、四頭筋の収縮が起ってその筋収縮がストレッチ相の間、ハムストリングスへの相反性抑制と結びつくという、Sherrington⁽⁸⁹⁾ の “successive induction and reciprocal inhibition” の説にもとづく技法である。この反射抑制はストレッチする者のハムストリングス活動の意図した随意抑制に加算されて、SS より α 運動神経活動の一層大きなおさえ込みをもたらすことにつながる。標的筋 (ハムストリングス) は SS よりも一層伸展に好都合の状況下におかれ、結果としてストレッチング効果を大きくさせるというものである。

CR 法の持つそのような生理的利点を検討するために、これまでにいくつかの研究が SS もしくは BS との比較を行った。その結果、CR 法は BS および SS より効果的で効率的であるという報告^(16, 17, 24, 29, 33, 34, 62, 68, 84, 93, 96) が大多数を占めている。ストレッチングの目的が筋の柔軟性を高めることであ

れば、CR法はBSよりも生理的により適している。^(51, 52)

PNFのタイプに区分されるもう一つの技法であるCRACの効果を検討した研究報告で、1つ⁽¹⁶⁾を除いていくつかの研究^(23, 29, 33, 34, 72)が可動域を高めるのにCRACはCRよりもより効果的であるとしている。しかしその内の二つの研究^(29, 72)は統計的な処理がなされておらず、他の1つの研究⁽¹⁴⁾は両者間に有意差を認めなかった。CRおよびCRAC技法を用いたEtnyreとLeeの研究⁽²⁴⁾では、対象に男女が当てられ、肩関節および股関節の可動域を高めるのに男性においては、CRACはCRより効果が大きく、女性においては両技法に有意差は認められなかった。

SS技法では筋が十分に引き伸ばされた状態を長く保つことにより起こる自原抑制という現象を利用することであった。その自原抑制に加えて、ストレッチの標的筋の対側にある筋をコンセントリックに収縮することによる相反性抑制をうみ出すことがCRAC技法の効果を一層高めることになる主要な論理的根拠である。すなわち、CRACによってもたらされた余分の伸展はGTO(張力感覚器)を刺激し、筋紡錘(伸張感覚器)を抑制することで獲得されたわけである。この過程は標的筋の伸展に対する抵抗を減らすことになろう。効果的なCRASの過程は反射抑制をつくり出すことにある。この感覚現象は、標的筋の等尺性収縮の後の自原抑制による筋伸展に対する抵抗が減少することにつながる。ホフマン反射応答によって示された、SS中のヒラメ筋の運動神経の興奮水準は安静時レベルより低く、⁽²³⁾ CR中のそれはSS法よりもさらに低い。そしてCRAC法ではもっとも低くなる。このような知見は標的筋の相反性抑制を起こすことの有利さを明確に示すものである。

CRASが関節可動域を高めることにおいて、他のタイプと比較してもっとも効果的であるというメカニズムは、相反性抑制がさらに加わることである。つまりCR法の最後のSS相に入る前に、標的筋と対側にある筋を等尺性に収縮させることによって、その筋からの求心性神経インパルスは標的筋を支配する運動神経を抑制する。つまり、ストレッチ相に入る前の対側筋の収縮が標的筋の弛緩を一層誘発させるのである。だから、自原抑制に加えて相反性抑制が起ることでストレッチされる筋は一層効果的に弛緩され、伸展が大きくなるものと考えてよい。

4 その他の影響要因

1) 筋温

身体が冷えびえするような環境下では柔軟性 (筋の伸展性) が低下することはよく経験されることである。温度は、引張り内力の下で結合組織のメカニカルな特性に有意に影響を及ぼす。組織の温度が高まるにつれて組織の硬さは減り、伸展性は高まる。^(30, 59, 60) ここでは腱の温度を 39.5°C 以上に上げてストレッチングを行うと伸展性の改善と残存効果は著しいことが示された。約 40°C で膠原線維組織の微細構造に熱移行が起きて、組織の粘着性の弛緩が著しくすすむ。その状態でストレッチングを行うと、膠原線維組織は元に短縮しないタイプの変形 (plastic deformation) を起こす。^(63, 82)

リハビリテーションで用いられる治療温度 (38 ~ 43°C) 内での、ストレッチングによる一定の組織伸張の結果生ずる組織の構造的な弱化の程度はその時の温度と負の関係にある。⁽⁹⁸⁾ このことはあきらかに熱が加わると、膠原線維組織の粘着性のフロー特性の漸増的な増加と関係するものと考えられる。分子間結合の熱性非安定性が、構造的な損傷を小さくして組織の大きな伸張を可能にさせるのではないかと思われる。

Sapega ら⁽⁸⁶⁾は、可動域を回復させる手段として、軽い力で標的筋を伸張させている間その部位を温め、伸張を解く前にその筋を冷するという方法を用いた。

スポーツやフィットネス運動においてもストレッチングプログラムもしくはルーチンを考えるとき、温度は考慮すべき、重要な要素である。外温がかなり低い時には、ストレッチングに先がけて軽い運動を行うことで体温を温めておくことが大切である。標的筋が十分に温まらない状態で熱心にストレッチングをするとしばしば組織の損傷を招くことになる。Sapega ら⁽⁸⁶⁾もストレッチングに入る前に、5分ほどの速歩、ジョギング、サイクリングなどの軽~中度運動をすすめている。

II スポーツ傷害の予防とストレッチング

柔軟性を高めるためのストレッチングは、スポーツ医学の立場から次のような 3 つの役割を持つ。

- (1) ウォーミングアップとしての役割
- (2) スポーツの傷害防止としての役割
- (3) 受傷後の機能回復を早める役割

である。

1 筋痛 (Muscle Soreness)

運動に伴う筋の痛みは多くの人を経験することである。一般に筋痛は次の二つのタイプに区分される。1) 運動中もしくは運動直後の痛みで数時間続くタイプ、2) 運動後 24 ~ 48 時間に現われる限局性な痛みのタイプ。

最初のタイプの筋痛はおそらく運動による代謝産物が痛みの受容器を刺激することによるものと思われる。この痛みは長く続かないで、休息を入れることで解放される。

二番目のタイプの痛みは慢性的になることがあり (over-use), 運動をしばしば中断せざるを得なくなることすらある。また限局性で遅れて現われる筋痛 (delayed-onset muscle soreness) はそれほど重大な問題ではないが、運動が著しくオーバーワークであったり、硬い筋膜構造に限定されている筋のオーバーワークであると、治療を必要とするほどの重症になることがある。⁽⁶⁸⁾

1) 遅発性筋痛

激しい運動をした後とか慣れない運動をした後 24 ~ 48 時間に現われる筋痛 (DOMS) のメカニズムについてはいくつかの異なる説が発表されている。もっとも古くから主張されている筋組織の裂傷によるとする説,^(26, 35) 結合組織の外傷説,^(4, 48) 局限性の筋痙縮説^(18, 20)などが代表的な考えである。

この DOMS の原因については確固たる説が確立しているわけではないが、次にその概略を記述しておく。

・限局性の筋痙縮 (Muscle Spasm) 説

これは de Vries によって最初に主張された説^(18, 20, 21)である。その生理学的根拠は、(1)あるレベル以上の運動は、運動筋に何らかの虚血をもたらす；(2)虚血はおそらく、P物質が筋の細胞膜を通過して遊離神経終末に通じている組織液へ移動することによって筋痛をもたらす；(3)その痛みは反射的に強直性筋収縮をもたらして虚血を長びかせ、痛み—虚血—収縮という悪循環を起こす。

de Vries はこの種のシリーズの最初の研究⁽²¹⁾で、被検者に両手に 4.3 kg のウェイトを持たせ筋痛が起こるようにリストの過伸展運動を繰返させた。運動後、非利腕のリストの屈筋および伸筋を SS の技法でストレッチさせた。利腕のそれらの筋にはストレッチングをさせなかった。その結果、運動後 24～48 時間において利腕に著しく筋痛が発症した。しかし、ストレッチングを行った腕の筋痛の程度は弱く、両腕間に有意差が得られた。この研究では同時に高感度の EMG 電極を用いて運動筋の筋放電が記録され、筋痛の程度と筋放電の振幅との間に高い相関が見られ、ストレッチングによって痛みが減退したことと筋放電の振幅の減小が一致して観察された。このことが筋痙縮説を主張する手がかりとなったのである。

de Vries のこの研究の以前、すでにヒトの大筋群からの筋放電の大きな振幅がストレッチングによって顕著に減ることが報告されており、⁽³⁹⁾ 臓器官の抑制機能に関係していることが示唆された。⁽⁵⁵⁾

アウトドアのプールの水温が低い場合、ときに泳者はふくらはぎの痙攣 (スイマーズクランプ) に苦しむことはしばしば体験するところである。この場合、痙攣が起きた脚を最大伸展位にしたゆるやかなストレッチングをしばらくすることで痛みが解除される。ストレッチングによるこの痙攣の除去はすでに Norris ら⁽⁷⁶⁾によって実験的に示されている。G. T. O から誘発される逆伸張反射が機能していることは容易に理解できる。また、Norris らは痛みの刺激によって起こる痙攣の考え方も同様だとしている。今日、臓器疾患や不安からくる痛みの多くは筋痙攣による。このことと DOMS の筋痙攣はほぼ同じメカニズムと考えられよう。

しかし、いくつかの研究^(1, 66, 74)が、de Vries が観察したような SS による EMG の筋放電活動の減退を見い出すことができなかった。このことにつ

いて de Vries は、両者の違いは研究に用いられた EMG の電極およびその感度の差によるものとした。

・結合組織外傷説 (Connective Tissue Trauma Theory)

DOMS に関する別の研究^①では、ウェイト・リフティングのアームカーンによって筋痛を起こさせた筋からの 48 時間内での筋痛と表面電極を用いての EMG 活動との間に有意な関係を見出すことができなかった。しかし、尿からは筋線維への外傷の正確な示標であるミオグロビンが検出された (postexercise myoglobinuria)。ただしミオグロビン濃度と筋痛には相関が得られなかった。さらに踏台昇降運動で被検者は大腿四頭筋群 (コンセントリックな筋収縮) および腓腹筋 (エクセントリックな筋収縮) の両方に筋痛を覚え、同時に結合組織のダメージを表わすヒドロキシプロリンが尿中に観察されて、筋痛との間に有意な相関関係が得られた。

運動後の hydroxyproline 値は 48 時間に有意に増加し、運動後の 4 日間は運動前値にくらべて有意に高い値を示した。この結果から結合組織の機械的外傷が DOMS を起こす原因であろうと考えられる。

すでに述べたように、柔軟性に富む結合組織では、一定運動によるメカニカルなストレスの負担度は小さいので、この種の筋痛の予防においても当然ストレッチングの重要性が強調されよう。

・筋局所の虚血説

DOMS の原因と考えられる三番目の考え方が局所性虚血説 (Local Ischemia Theory) である。

まずこの考え方の出発は、実験的 2 ~ 3 時間の虚血状態に置かれた筋線維の退行性変化は過度の運動による虚血がもたらす変化と全く類似している^(61, 85)ということからである。そして、DOMS はたとえ中等度の強度であっても長時間運動の後に現われる。慢性的な DOMS は通常のウォーキング⁽⁸⁰⁾やロウイング⁽³⁸⁾のような非外傷性活動でも起こる。それはそのような運動でも筋の血流量を有意に減少させるに十分な組織圧をもたらすからである。この高まった組織圧がもし長びくと永久的な筋のダメージを招くことになろう。使い過ぎ症候群はこの一種と考えられる。

クロスカントリーのような起伏に富むコースを走る時の脚部の DOMS はよく体験されることである。下り坂のランニングは上り坂に比べて当然

エネルギー消費量が小さく、乳酸上昇レベルも低いのだが、DOMS の度合は上り坂のそれを比較すると著しく大きい。⁽⁸⁸⁾ このことは DOMS を虚血説から説明するのにいささか矛盾しているかのように思われるが、痛みはある局部に限られ、筋 (群) 全体ではない、虚血はごく限られた部位に起こるのであろう。というのはダウンヒルのランニングのようなエクセントリックな筋収縮では動員される運動単位ははるかに少ないのである。⁽⁹⁾

2) DOMS の予防と軽減

運動後、ストレッチングを行うことが DOMS の予防に効果を発揮したと報告された、de Vries の研究⁽²¹⁾に用いられた SS のやり方は、2分間の伸展の後1分間の休息をおいて再び2分間のストレッチをするというきわめて入念で長いやり方であった。そのような方法が用いられたのは筋の痙攣を軽減させることが中心的な狙いであったために、前述の Golgi 腱器官を刺激して逆伸張反射を起こすことで痙攣を起こした筋を効果的に弛緩させようとしたからである。SS が伸張反射を抑えることに加えて、GTO は相対的に高い閾値を有するが、その神経支配は筋全体に及ぶために筋のリラクセーションが早まる。⁽⁶⁵⁾

運動に先立って行うストレッチング (ウォームアップとして) の DOMS に及ぼす効果について全てが一致した知見を得たわけではない。^(31, 32) Armstrong⁽³⁾ の報告では、ウォームアップとして行うストレッチングは筋損傷や結合組織へのダメージおよび筋痙縮などに対する予防効果が得られなかった。

2 スポーツ外傷のリスクファクター

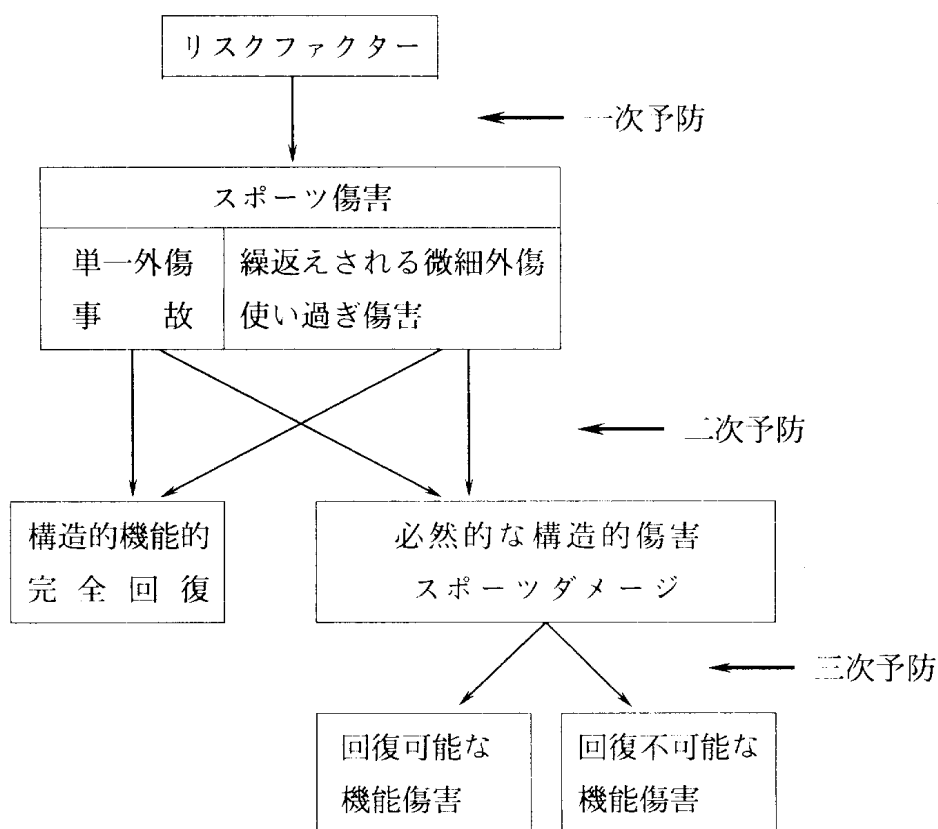
健康問題と高齢化社会という生活を取りまく要因は、“生涯スポーツ”の推進に拍車をかけ、レクリエーション、健康増進活動の参加者は年々著しく増えていることは事実である。そのことによって運動不足の解消、ストレスの軽減、その他近代生活がもたらす健康阻害要因の緩和などいくつかのポジティブな効果がまちがいになく出ているが、同時にスポーツ傷害の増加というネガティブな側面も現われている。

傷害はいくつかの因子が積み重なった結果として生ずる。それぞれのア

スリートに及ぼす傷害因子はさまざまであるために、因果関係を明確にすることは容易ではない。参加するスポーツの種類、競技レベル、使用する用具、経験、プレー時の状態などの要因とアスリートの身体的特性、性格特性などが相互に影響し合うのである。

一般的には次のように二つのカテゴリーに区分される。

1. 外的リスクファクター：スポーツの種類、練習・トレーニング様式、環境因子、用具
2. 内的リスクファクター：身体的、心理的特性



明確な資料は出ていないが、柔軟性がある種の傷害と関連するのではないかという推測がなされている。Lysens ら⁽⁵⁸⁾のスポーツ傷害のリスクファクターとしての柔軟性の研究では、関節の可動性、筋の硬さ、そして靭帯の過柔軟性の三つが指摘された。この内、靭帯の過柔軟性はねんざや脱臼につながりやすく、本稿の焦点からかけ離れているが、残りの二つの要因はストレッチングと大いに関係する。

伸展性に欠ける筋もしくは筋群とスポーツ傷害の関連例の一つとして、Lysens⁽⁵⁹⁾らは、ふくらはぎ筋の硬さと足首のねんざを挙げてふくらはぎ

のストレッチングを予防手段として勧めた。

筋の柔軟組織に対する傷害はスポーツにおいてもっとも広く起こり、しかも再発生のタイプの傷害である。^(60,104) 傷害を起こしやすいアスリートは筋の伸展性に欠ける、関節可動域の小さな者である。つまり柔軟性の低いアスリートというわけである。肉ばなれ、ねんざはその代表的なスポーツ傷害である。

筋のコンディショニングの一つとしてストレッチングを実践することで、そのような傷害が著しく減ったという報告がいくつかなされている。^(42,46) それはストレッチングによる可動域の改善によるところが大きい。肉ばなれとしてもっとも多発するハムストリングの場合、柔軟性の欠如と筋力のインバランスが傷害の2大要素とされている。^(46,77,104) したがって、ストレッチングは傷害防止の必要なステップとみなされるべきである。

1) 使い過ぎ (Overuse) 傷害とストレッチング

競技スポーツとして、生涯スポーツとして運動の価値が強調されるようになって、スポーツへの参加者は著しく増えている。成人では健康・体力づくりのための運動やスポーツはとくに盛んとなり、アメリカではジョギング人口は3,000万人⁽¹²⁾とも言われ、わが国でも600～700万人とも言われている。ランニング中、一步の着地ごとに体重の3～4倍の重量が脚にかかる。1kmあたり平均して940回のステップとして、フルマラソン(42km)を考えれば、脚への負担はきわめて大きいことがわかる。その結果としてシンスプリントやアキレス腱炎それに膝の痛み(ランナーズニー)などのランナー特有の使い過ぎ傷害も多発している。

さらに、近年その人気が急速に高まってきたエアロビックダンスの参加者においても同様にステップ毎の脚への負担は大きく、ランナーと似かよった傷害に悩まされる者が増えてきている。トレーニング量が多過ぎる、コンクリートのような固い表面で運動する、急げきにトレーニング強度と高める、不適切なるシューズを着用するなどが使い過ぎ傷害をもたらす要因となっている。

スポーツブームは子供のスポーツにおいても同様である。スポーツ人口

が増えていることだけではなく、早期専門指導を受ける熱の入れ方はときに発育発達の原則を無視することすら起っている。6歳の少年が週に100km以上もトレーニングを積んでフルマラソンを完走したとか、8歳児が1日に20,000m泳ぐとか、テニスプレーヤーが1日に数百球ものサーブ、ボレーの練習をすとか、体操選手が日に数時間も練習するといったハードなトレーニングの例が報告されている。^(41, 56, 94) 子供にも使い過ぎ傷害はめずらしくないのである。

子供のスポーツにおける使い過ぎ傷害を Boland⁽¹⁰⁾ は「トレーニングの繰返しによる繰返される微小外傷によって起こる慢性炎症状態」と定義している。当然のことながら不適切なトレーニング技術や解剖上の異常も関係するであろう。

使い過ぎ傷害を起こしやすい身体的特性として、筋力不足と硬い筋、それに特殊な不完なアライメント障害が指摘されている。また、1,650名の使い過ぎランニング傷害の調査の中で、Clementら⁽¹³⁾ は、多くの使い過ぎ傷害はそれらの傷害部位に関係する諸筋の低い柔軟性が他のいくつかの要因とともに傷害の原因であることを明らかにしている。

症 状	柔軟性に欠ける諸筋
膝の痛み	大腿四頭筋, ハムストリングス
脛骨ストレス症候群	腓腹筋/ひらめ筋の柔軟性不足
アキレス腱炎	“ “
足底筋炎	“ “
膝蓋腱炎	大腿四頭筋
一般的な腰痛	ハムストリングス, 腰背筋
脛骨疲労骨折	腓腹筋 (ひらめ筋)
後脛骨筋腱炎	“
ふくらはぎねんざ	“
半膜様筋腱炎	ハムストリングス

ストレッチングはスポーツや運動のやり過ぎ、使い過ぎ症候群の防止に効果的で、筋・腱・靭帯などの痛み、炎症、肉離れ、関節痛などの傷害が

現われるのを防ぐとしている。⁽⁷³⁾ とくに発育期にある青少年のスポーツ・運動の障害は大きく、未発達な筋を補助する効果を有する。

肩の使い過ぎ傷害 (swimmer's sholder, pitcher's shoulder など) をもたらす要因の一つに肩の周囲の筋や結合組織の柔軟性の不足が挙げられる。Greipp⁽²⁸⁾ は 168 名の男女スイマーを対象にした研究で、柔軟性不足と肩傷害発生との間に高い相関を報告している。

プロ野球から少年野球に至るピッチャーのほとんどが長いシーズンを投げるピッチャーの投球腕の使い過ぎ傷害 (pitcher's shoulder) も多い、休息を持つことや正しい投球技能の他にウォームアップ時に十二分にストレッチングを実践することが予防上重要となる。⁽⁴³⁾

ランナーやジョガーたちの使い過ぎ傷害は、当然のことながら脚部に多く発生する。ランナーの使い過ぎ傷害も同様、一回のマラソンの結果よりも筋組織への繰り返されるストレスが原因となっている。代表的な傷害は前脛骨筋シンスプリント、内脛骨筋ストレス症候群、アキレス腱炎、足底筋炎、および膝 (runner's knee) などで、ふくらはぎからアキレス腱にかけてのストレッチングと大腿四頭筋のストレッチングは筋力トレーニングと同等の予防効果を持つ。休息 (rest) が大切ではあるが、痛みの中でトレーニングをしなければならない場合、コントラバス (1 分の冷水浴と 4 分の温水浴を 20 分ほど繰り返す) と加熱 (ヒーティングパッドなど) をした後にストレッチングをするのがよい。コラーゲン線維の弾性が高まるからである。

膝の伸展、屈曲時の腸脛帯と外側大腿上顆による摩擦の繰り返しによる腸脛帯摩擦症候群も多く見られるランナーの使い過ぎ症候群である。当然のことながら腸脛帯に柔軟性を欠くランナーに多い。この腸脛帯の硬さ (tightness) を調べるのに Oebr's test⁽⁷⁸⁾ が広く用いられている。このテストの結果が陽性となれば、腸脛靭帯のストレッチングが処方される。

発育期にある子どもたちの使い過ぎ傷害を予防するいくつかの要の中に、何人かのスポーツ医^(50, 90) は柔軟性を重視するコンディショニングのプログラムを強調している。この時期の子どもの発育は加速化されるために柔軟性は著しく低下する。このことが子どもの発育加速に伴う傷害をもたらすことになり、とくに、ハードなトレーニングによる繰り返される微小外

傷 (Microtrauma) の起こった組織へのオーバーストレスが加わるときに問題は深くなる。

フィギアスケートや体操の選手に腰痛はよく見られる問題である。それは、腰部の過伸展および3回転ジャンプと着地の繰返しによる微小外傷やその動作の繰返しによる硬い腰背筋膜およびハムストリングに關係する。Smith と Micheili⁽⁹⁰⁾ は、そのような子どもたちの使い過ぎ傷害及び発育加速によるスポーツ少年の外傷を予防するためにウオームアップ時はもとより、リング以外の時に十分なストレッチングが求められると述べている。

Ⅲ ウォームアップ、クールダウン、トレーニング

1 ウォームアップ

1) Warm-up exercise とストレッチング

運動やスポーツはまずウォームアップから始まる。つまり準備運動とよばれるプロセスを経て主運動に入るのであるが、その生理学的目的は文字通り体温、特に筋温をあげることに、神経系の回路の通りをよくすることにある。これによって運動の効率があがり、また動きがスムーズになって、激しい運動をすることに身体が適応するのである。結果的には主運動のパフォーマンスの向上につながる。^(5, 62)

ウォームアップの目的として心理的な準備というのがあるが、これは本題からはずれるので省略することにして、ウォームアップの内容構成について触れておきたい。

先に述べたように、体温を上げることはウォームアップの重要な目的である。Astrand と Rodahl⁽⁵⁾ によると、体温が 1℃ 上昇することで細胞代謝過程は約 13% 増加する。体温が上がれば血液から組織への酸素交換はより速やかになるし、神経刺激もより速く伝達される。また筋の弾性はその酸素飽和度に依存していて、冷えた筋の酸素飽和度は低く、高い体温下に比らべて断裂や損傷をきたしやすい。⁽⁶⁹⁾ 体温の上昇を期待するとき、静的な動作で行うストレッチングではけっして十分なウォームアップにならない。筋収縮による化学的エネルギーの分解にともなって発生する熱エ

エネルギーが得られるのにふさわしい動的な運動が求められる。その運動を Warm-up exercise としてストレッチングと区別するのがよい。

Warm-up exercise をしないで温水浴などのように外部刺激で体温もしくは筋温を高める (39°C) と通常体温 (36 ~ 37°C) に比べてパフォーマンスは高まる。⁽⁸⁷⁾ このことはウオームアップ (または準備体操) は Warm-up exercise とストレッチングの二相で構成されるべきであることを明示なものである。ストレッチングがウオームアップとしてなされるべきであるという理由は運動成績の改善の他に筋腱組織の傷害もしくは筋痛の予防からである。

Fox⁽²⁵⁾ はウオームアップ時のストレッチングの重要性に触れているが、ストレッチングは Warm-up exercise に先立って最初に行われるのがよいとしている。しかし、腱や靭帯といった結合組織の柔軟性は温度が高まった後の方が効率よく高められるということと、⁽⁸⁶⁾ 筋組織温の温度が比較的低いときに、オーバーストレッチによって起きる筋や関節の障害の危険性を抑えるために、ストレッチングは Warm-up exercise の後に行われることが望ましい。⁽⁸⁶⁾ ヒトや動物の研究を通して、組織の温度が結合組織の伸展性に有意に影響を及ぼし、その結果、関節柔軟性を増すことになることが示されている。^(53, 86, 97, 98, 105)

ストレッチングだけと、一般的な Warm-up exercise もしくは5分程度の軽い jogging を行ってからストレッチングを行うことの柔軟性に及ぼす効果を比較した時、全般的に後者の方が効果的であるが、⁽¹⁰⁰⁾ ゆるやかな (slow) SS は Warm-up exercise を持たないでも柔軟性を高めるために、標的筋の十分なウオームアップとなり得るかもしれない。⁽¹⁰¹⁾ どれほどの強度の Warm-up Exercise がよいのかということが今後の研究課題となることであろう。

まとめとして、ウオームアップは体温の上昇を期待するための Warm-up exercise と結合組織の伸展性を高めるためのストレッチングの二つの要素から成り立つ。ストレッチングは関節可動域を増すことに貢献するが、一般的なウオームアップはそのような効果を発揮しないことを忘れてはならない。^(100, 105) ストレッチングはウオームアップの重要な構成要因である。

ウォーム・アップ		主 運 動	クールダウン
Warm-up Exercise	ストレッチング		

2 クールダウン

スポーツやトレーニングの後にストレッチングを行うことは翌日への筋痛を予防する上できわめて大切である。すでに述べたように、運動後に60～120秒という長い時間をかけたストレッチングを行うことで遅現性筋痛(DOMS)は大いに予防できる。^(1,21) 長目にストレッチングを行うのは、激しい運動によって硬くなった(短縮した)筋肉組織をストレッチすることで柔軟性を回復させることが狙いであるからである。そのことがクールダウンとしてのストレッチングのポイントである。

3 柔軟性のトレーニング

ストレッチングの第一の狙いは柔軟性を高めることである。柔軟性の大きな改善を期待するためには、ウォームアップ及びクールダウン時だけストレッチングを行うのでは不十分である。柔軟性のトレーニングを目的とした時間を設けるのがよい。

筋力トレーニングの原則と同様、ストレッチングにおいても伸展の強度、伸展の時間、そしてストレッチングの頻度を考慮すべきである。先に触れたように、ストレッチしている時間の長さが明確に設定されているわけではないが、Bates⁽⁶⁾によれば60秒間伸展することが柔軟性を増すことと、効果を長く維持するのに適した長さであるとしている。

ストレッチングの頻度に関しては、少なくとも1日に1回行うのがよい。柔軟性を高め、それを維持しようとする個人の関心と動機づけさえしっかりしていれば、このディリーワークアウトはけっしてむずかしくない。経験的な資料は1日に最少2回ストレッチングをすることが好ましいことを示している。ストレッチングのためのベストな時間はきまっているわけではない。気分の向く時が最良の時間である。

伸張の強度は個人差があってもきつた尺度はない。痛みを起こすほど強く伸張すべきではない。けれど一般的なルールとしてストレッチの標的筋がふるえ出したらオーバーストレッチと見なしてよい。

おわりに

ストレッチングは元来スポーツの領域で誕生し発展してきたのであるが、今日ではスポーツ以外の日常健康体操という面で広く活用されている。それは、柔軟性を高めるプログラムの重要な効用の一つとして、筋のリラクセーションの獲得があるからである。リラクセーションとは緊張の中止である。不要な過度の緊張は血圧を高めたり、血行を悪化させて疲労度を高めたり、重度の場合は筋肉痛さえも起こすという具合に緊張からいくつかの副作用が発症する。そのために筋緊張を軽減するための体操はとくにストレス社会の現代にはきわめて重要といえる。de Vries は筋の緊張を柔らげるのに運動は投薬よりうんと効果的であると述べている。ストレッチングはそんな場面において十分に効果を発揮するのである。

現代社会において腰痛はもっとも多くの人を経験する筋肉障害でもある。その予防対策として腰部周囲の諸筋の柔軟性と筋力が強調されるのである。

このようなストレッチングを通しての柔軟性プログラムの実践は健康管理の面で欠かせないルーチンとなってきた。

〔参考文献〕

- 1 A. Abraham, W. M., Factors in delayed muscle soreness. *Phys. Sports Med.* 1977; 7 (10): 57-60
- 2 Anderson, B.; *Stretching*: Bolinas, CA: Shelter Publication, 1980
- 3 Armstrong, R.B., Mechanisms of exercise induced delayed onset muscle soreness: A brief review. *Med. Sci in Sports and Ex.* 1984; 16 (5): 529-538
- 4 Asmussen, E., Observations on experimental muscular soreness. *Acta Rheumatological Scandinavia* 1956; 2: 109-116.
- 5 Astrand, P.-O. and K. Rodahl, *Textbook of Work Physiology*. 2nd. ed. New York: McGraw-Hill 1977.
- 6 Bates, R.A. Flexibility development: Mind over matter. In J.H. Salmela (Ed.) *The advanced study of gymnastics*. Springfield, IL: Charles C. Thoma

- 1976.
- 7 Beaulieu, J.E. Developing a stretching program. *Phys. Sports Med.* 1981
9 (7): 59-69
 - 8 Becker, A.H., Traction for knee-flexion contractures. *Phys. Ther.* 1979;
59: 1114.
 - 9 Bigland-Ritchie, B. and J.J. Woods, Integrated electromyogram and
oxygen uptake during positive and negative work. *J. Physiol.* 1976; 260:
267-277
 - 10 Boland, AL.; Upper-extremity injuries: Over use syndromes of the shoul-
ders, in Cantu RC (ed): *The Exercising Adult*. Lexington, MA., Collemore
Press 1982.
 - 11 Casella, C. Tensile force in total striated muscle, isolated fiber and
sarcolemma. *Acta Physiol Scand.* 1950, 21: 380-401.
 - 12 Cavanagh, P.R.; *The Running Shoe Book*: Mountain View, CA: Anderson
World Inc. 1980.
 - 13 Clement, DB, JE Taunton, GW. Smart, and K.L. McNicol, A survey of
overuse running injuries. *Phys Sports Med.* 1981; 9 (5): 47-58
 - 14 Condon, S.M. and R.S. Hutton, Soleus muscle electromyographic activity
and ankle dorsiflexion range of motion during four stretching programs.
Physical Therapy 1987; 6: 24-30
 - 15 Cureton, T.K., Observation and tests of swimmers at the 1932 Olympic
Games. *J. Phys. Educ.* 1933; 30: 125 ~ 130
 - 16 Cornelius, WL. and M.M. Hinson, The relationship between isometric
contraction of hip extensors and subsequent flexibility in males. *J. Sports
Med. and Phys, Fitness* 1980; 20: 75 ~ 80
 - 17 Cornelius, W.L. and K. Craft-Hamm, Proprioceptive Neuromuscular
Facilitation flexibility techniques: Acute effects on arterial blood pressure.
Phys. Sports Med. 1988; 16 (4) 152-161.
 - 18 de Vriss, H.A. Prevention of muscular distress after exercise. *Res Quart.*
1961; 32: 177-185
 - 19 de Uries, H.A., Evaluation of static stretching procedures for improve-
ment of flexibility. *Res. Quart.* 1962; 33: 222-228
 - 20 de Vries, H.A., Quantitative electromyographic investigation of the
spasm theory of muscle pain. *Am. J. Physical Med.* 1966; 45: 119-134.
 - 21 de Vries, H.A., *Physiology of Exercise for Physical Education and Athlet-
ics*, 2nd ed. Dubuque, IA.: William C. Brown 1974
 - 22 Dintiman, G.B., The effects of various training programs on running
speed. *Res. Quart.* 1964; 35: 456-463

- 23 Etnyre, B.R. and L.D. Abrakam. Changes in range of ankle dorsiflexion using three popular stretching techniques. *Am. J. Physical Med.* 1986 65: 189-196
- 24 Etnyre, B. and E. Lee, Chronic and acute flexibility of men and women using three differen stretching techniques. *Res. Quart.* 1988; 59: 222-228
- 24 Fox, EL.: *Sports Physiology: 2nd. ed.*: New York: CBS College, 1984
- 26 Friden, J., U. Kjorell, L. E. Thornell, Delayed muscle soreness and cytoskeletal alteration: An immcytological study in man. *International J. Sports Med.* 1984; 5: 15-18.
- 27 Glazer, RM., Rehabilitation in Happenstall, R. B. (ed): *Fracture Treatment and Healing: Philadelphia, W. B. Saunders Co, 1980.*
- 28 Greipp, J.F. Swimmer's shoulder: The influence of flexibility and weight training. *Phys. Sports Med.* 1985; 13 (8): 92-105
- 29 Hardy, L., Imporving active range of hip flexion *Res. Quart. Ex. Sports* 1985; 56: 111-114
- 30 Hartley-O'Brien, S. J., Six mobilization ex for active range of hip flexion. *Res. Quart. Ex. Sports* 1980; 51: 625-635
- 31 Hatfield, F.C., There are not sore muscles: If yours are after working out, here's what you can do. *Sports Fitness* 1985; 1 (8): 38-43
- 32 High, D.M. and E.T. Howley, The effects of static stretching and warm-up on prevention of delayed-onset muscle soreness. *Res. Quart. Ex. Sports* 1989; 60: 357-361.
- 33 Holt, L. E., TM. Travis, and T. Okita, Comparative study of three stretching techniques. *Perceptual and Motor Skills.* 1970; 31: 611-616
- 34 Holt, L. E. and R. Smith, The effect of selected stretching programs on active and passive flexibility: Del Mar, CA.: *Res. Center for Sport* 1983
- 35 Hough, T., Ergographic studies in musclar soreness. *Am. J. Physiol.* 1902; 7: 76-92.
- 36 Hultorn, H., Transmission in the pathway of the reciprocal Ia inhibition to motor neurons and its control during the tonic stretch reflex. *Prog. Brain. Res.* 1976; 44: 235-255
- 37 Hunt, C. C., The effect of stretch receptors from muscle on the discharge of motoneurons. *J. Physiol.* 1952; 117: 359-379
- 38 Hansen, K. J. Bierre-Knudsen, U. Brodthagen, R. Jordal, and P-E. Pauley, Muscle cell leakage due to long distance training. *Europ. J. Appl. Physiol.* 1982²; 48: 177-188
- 39 Inman, B. T., H. J. Ralston, T. B. Saunders, B. Feinstein, and E. W. Wright, Relation of human electromyogram to muscular tension *Elec-*

- troencephalogr. Clin. Neurophysiol. 1952; 4: 187-194
- 40 Jackman, R. V., Device to stretch the achilles tendon, J. Am. Phys. Ther. Assoc. 1963; 43: 729.
- 41 Jackson, D. W., I. L. Wiltse, and R. D. Dingemen, Stress reactions involving the pars interarticularis in young athletes. Am. J. Sports Med. 1982; 9 (9-10): 304-312.
- 42 Jenkins, F., Stretching to shorten the injuries list. Athletic Journal 1976; 56 (11) 58-59.
- 43 Jobe, F. W. Shoulder problems in over head-overuse sports: Thrower problems. Am. J. Sports Med. 1979; 7 (3-4): 139-140
- 44 Johus, R. J. and V. Wright, Relative importance of various tissues in joint stiffness. J. Appl. Physiol. 1962; 17: 824-828
- 45 Kabat, H.: Studies on neuromuscular dysfunction: XIII: New concepts and techniques of neuromuscular re-education for paralysis. Permanente Foundation Medical Bulletin, 1950; 8: 21-143
- 46 Klein, K. K., Flexibility strength and balance in athletics. J. NATA 1971; 6: 62-65
- 47 小林義雄, 竹内伸也 ストレッチング 講談社 1981
- 48 Komi, P. U. and E. R. Buskirk, Effect of eccentric and concentric muscle conditioning on tension and electrical activity of human muscle. Ergonomics 1972; 15: 417-437
- 49 Kottke, F. J., D. L. Pauley, and K. A. Ptak, The rationale for prolonged stretching for correction of shortening of connective tissue. Arch. Phys Med. Rehabil. 1966; 47: 345-352.
- 50 Kozar, B. and R. H. Lord, Overuse injuries in the young athlete: Reasons for concern. Phys Sports Med. 1983; 11 (7): 116-122
- 51 Knott, M. and D. Voss; Proprioceptive Neuromuscular Facilitation: Harper and Row, New York 1965
- 53 LaBan, M. M. Collagen tissue: Implications of its response to stress in vitro. Arch Phys. Med. Rehabil. 1962; 43: 461-466
- 54 Lehmann, J. F., A. J. Masock, and C. G. Warren Effect of therapeutic temperatures on tendon extensibility. Arch. Phys Med. Rehabil 1970; 51: 481-487
- 52 Knutsson, E., Proprioceptive neuromuscular facilitation. Scan. J. Rehabil Med. Suppl. 197: 106-112.
- 55 Libet, B., B Feinstein and En Wright, Tendon Afferents in autogenic inhibition. Fed. Proc. 1955; 14: 92
- 56 Lopez, R. D. J. Pruett, The child runner. JOPERD 1982; 53 (4) 78-81

- 57 Lucas, R. C. and R. Koslow, Comparative study of static, dynamic, and proprioceptive neuromuscular facilitation stretching techniques on flexibility. *Perceptual and Motor Skill*. 1984; 31: 615-618.
- 58 Lysens, R.J. J. Lefevre, N.S. Ostyn., and L. Renson, Study of the evaluation of joint inflexibility as a risk factor in sports injuries. University Press, 1984
- 59 Lysens, R. J., MS Ostyn, Y. Vanden Auweele, J. Lefevre, and M. Vuylsteke., The accident-prone and over use-prone profiles of the young athletes. *Am. J. Sports Med.* 1989; 17: 612-619.
- 60 MacIntosh, D. L., J. Skrien and R.J. Shepard, Physical activity and injuries; a study of sports injuries at the University of Toronto, 1958-1968. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 1972; 12 (12) 224-236
- 61 Makitie, J. and H. Teravainen, Histochemical studies of striated muscle after temporary ischemia in the rat. *Acta Neuropath* 1977; 37: 101-109
- 62 Markos, P. D., Ipsilateral and contralateral effects of proprioceptive neuromuscular facilitation techniques on hip motion and electromyographic activity. *Phys TTher* 1979; 59: 1366-1373
- 63 Mason, T. and B. J. Rigby, Thermal transitions in collagen. *Biochem, Biophys Acta* 1963; 66: 448-450
- 64 McArdle, W. D., FI Katch and V. C. Katch: *Exercise Physiology*. Philadelphia: Lea & Febiger, 1981
- 65 McCouch, G. P., I. D. Deering and W. B. Stewart, Inhibition of knee jerk from tendon spindles of Crureus. *J. Neurophysiol* 1950; 13: 343-350.
- 66 McGlynn, G. H., N. T. Laughlin and S. P. Fileos, The effect of electromyographic feed back on EMG activity and pain in the quadriceps muscle group. *Sports Med* 1979; 19: 237-244
- 67 McGlynn, G. H., N. T. Laughlin, and V. Rowe, Effect of electromyographic feedback and static stretching on artificially induced muscle soreness. *Am. J. Phys. Med.* 1979; 58: 139-148
- 68 Mediros, J. M., G. L. Smith, L. F. Burmeister, and G. L. Soderberg, The influence of isometric exercise and passive stretch on hip joint motion. *Phys Ther* 1977; 57: 518-523
- 69 Mellerowicd, H. and G. Hansen: *Conditioning In Encyclopedia of Sports Science and Medicine* L. A. Larsen (Ed) New York, Macmillan, 1971
- 70 Millar, A. P., An early stretching for calf muscle strains. *Med. Sci. Sports* 1976; 8: 39-42
- 71 Millar, A. P, Strains of the posterior calf musculature (tennis leg). *Am. J. Sports Med.* 1979; 7: 172-174

- 72 Moore, M. A. and R. S. Hutton, Electromyographic investigation of muscle stretching techniques. *Med. Sci. in Sports Ex*, 1980; 12: 322-329
- 73 永田 晟 バイオキネティックス 杏林書院 1991
- 74 Newham, D. J., K. R. Mills, B. M. Quigley, and R. H. T. Edwards, Pain and fatigue after concentric and eccentric muscle contractions. *Clin Sci* 1983; 64: 55-62
- 75 Nicholas, J. A. Injuries to knee ligaments. Relationship to looseness and tightness in football playes. *JAMA* 1970; 212: 2236-2239
- 76 Norris, F. H., E. L. Gasteiger, and P. O. Chatfield, An electromyographic study of induced and spontaneous muscle cramps. *Electro encephalogr. Clin. Neurophysid.* 1957; 9: 139-147
- 77 O'Neil, R. Prevention of hamstring and groin strain. *Athletic Training* 1976; 11 (march): 27-31
- 78 Ober, F. R., The role of the iliotibial band and fascia lata a factor in the causation of low back disabilities and sciatica. *J. Bone Joint Surg.* 1936; 18A.
- 79 Patton, N. J. and O. A. Mortensen, An electromyographic study of reciprocal activity of muscles. *Anat. Reord* 1971; 170: 255-268
- 80 Reneman, R. S. The anterior and the lateral compartmental syndrome of the leg due to intensive use of the muscles. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 1975; 113: 69-80.
- 81 Ramsey, R., and S. Street, The isometric length-tension diagram of isolated skeletal muscle fibers of the frog. *J. Cell. Comp. Physiol.* 1940; 15: 11-34
- 82 Rigby, B, The effect of mechanical extension under the thermal stability of collagen. *Biochim. Biophys Acta.* 1964; 79: 634-636.
- 83 Ruth, T.: *Neurophysiology*: W. B. Sanders, Co. Philadelphia, 1965
- 84 Sady, S. P., M. Wortman, and D. Blenke, Flexibility training: Ballistic, static, or proprioceptive neuromuscular facilitation? *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 1982; 63: 261-263.
- 85 Sanderson, R. A., R. K. Foley, W. D. McIvor, and W. H. Kirkaldy-Willis, Histological response on skeletal muscle ischemia. *Clin Orthop. Relat. Res.* 1975; 113: 27-35.
- 86 Sapega, A. A., T. C. Quedenfeld, R. A. Moyer, R. A. Butler, Biophysical Factors in range-of-motion exercise. *Phys. Sports. Med.* 1981; 9: (12) 57-65
- 87 Sargent, A. J., Effect of muscle temperature on leg extension force and short-term power output in humans. *Eur J. Appl. Physiol.* 1987; 56: 693

- 698.
- 88 Schwane, J. A., S. R. Johuson, C. B. Vandenakker and R. B. Armstrong, Delayed-onset muscular soreness and plasma CPK and LDH activities after dounhill running. *Med. Sci Sport Eer.* 1983; 15: 51-56
 - 89 Sherrington, C. S. *The Integrative Action of the Nervous. System.* London: Constable, 1906
 - 90 Smith, A. D. and L. T. Micheli, Injuries in Competitive figure skaters. *Phys. Sports Med.* 1982; 10 (1): 36-47
 - 91 Stolov, W., T. G. Weilepp, W. M. Riddell, Passive lenght-tension relation ship and hydroxy proline Content of chronically denervated skeletal muscle. *Arch Phys Med. Rehabil.* 1970; 51: 517-527
 - 92 Surburg, P. R. Flexibility exercise re-examined. *Athletic Training* 1983; 18: 37-40
 - 93 Tanigawa, M. C., Comparison of the hold relax procedure and passive mobilization on increasing muscle length. *Phys. Therapy.* 1972; 52: 725-735
 - 94 Todays rigorous training of young athletes. *Medical World News.* 1973; 14 (April): 51-57
 - 95 Walker, S. M., Delay of twitch relaxation induced by stress and relaxa-tion. *J. Appl. Physiol.* 1961; 16: 801-806
 - 96 Wallin, D., B. Ekblom, R. Grahn, and T. Nordenborg, Improvement of muscle flexibility. *Am. J. Sports Med.* 1985; 13: 263-268
 - 97 Warren, C. G., J. F. Lahmann, J. N. Koblanski, Elongation of rat tail tendon: Effect of load and temperature. *Arch. Phys, Med. Rehabil,* 1971; 52: 465-474
 - 98 Warren, C. G., J. F. Lehmann, J. N. Koblanski, Heat and stretch proce-dures; an evaluation using rat tail tendon. *Arch. Phys, Med. Rehabil.* 1976; 57: 122-126
 - 99 Jackson, A. and J. Smith, *Health Related Fitness; Theory and Practice.* Topeka, KS: Jostens Publication, 1982
 - 100 Wiktorsson-Möller, M., B. Öberg, J. Ekstrand, and J. Gillouist, Effects of warming up, massage, and Stretching on range and muscle strength in the extremity. *Am. J. Sports Med.* 1983; 11 (4): 249-252
 - 101 Williford, H. N., B. E. Jennifer, F. H. Smith, and L. A. Burry, Evaluation of warm-up for improvement in flexibility. *Am. J. Sports Med.* 1986; 14 (4) 316-319
 - 102 Wilson, G. J., B. C. Elliott, and G. W. Wood, Performance benefits through flexibility training. *Sports Coach.* 1991; 7-10

- 103 Wilson, J., Specific injuries of sports. *Phys. Therapy*, 1972; 58 (6): 194-199
- 104 Worthington, A. J., Causes and prevention of hamstring injuries. *Track. Technique* 1975; 61 (9): 1950-1951
- 105 Wright, U. and R. J. Johns, Physical factors concerned with the stiffness of normal and diseased joints *Bull. Johns Hopkins Hosp.* 1960; 106 (4): 215-231
- 106 Young, D., Stretching for relaxation. *Phys. Therapy Rev.* 1950; 30: 134-136.