

第1章: 緒論

柔軟性は“身体関節の可動範囲内で身体運動を円滑に、しかも広範囲に動かすことのできる性能のこと”と定義されている。関節ごとに柔軟性を定量するものとして、関節可動域 (range of motion: ROM) による評価が広く用いられている。しかし、これまでにROMを通じて柔軟性を定量する際に、ROMに影響を及ぼす因子については明らかにされていない。

一般的に女性は男性より柔軟性が高いことが知られている。また、柔軟性の向上を目的としてストレッチングが広く用いられている。ストレッチングはその直後に急性効果がみられること、長期間実施することで柔軟性が向上することが報告されている。このように、柔軟性の性差や可塑性に関する多くの報告が存在し、筋腱複合体 (muscle-tendon unit: MTU) のように関節を構成する組織の伸長性が大きな影響を及ぼすと考察されている。しかし、柔軟性に対する組織の伸長性はその重要性にも関わらず、測定方法の限界からこれまでにほとんど定量されてこなかった。そのため、組織の伸長性が柔軟性に及ぼす影響については不明な点が多い。本研究では下腿および足関節を対象として、柔軟性を足関節背屈ROMにより評価した。柔軟性に影響を及ぼす因子として、組織の伸長性を中心に柔軟性の性差と、ストレッチングによる急性効果および、長期的な可塑性を明らかにすることを目的とした。

第2章: 柔軟性に影響を及ぼす因子と性差

柔軟性に影響を及ぼす因子と性差について明らかにすることを目的として、筋力により関節を動かす能動的な柔軟性と、外力により関節が動かされる受動的な柔軟性の両方を評価した。超音波法で、これまでに明らかにされてこなかった組織の伸長性について、筋伸長と腱伸長を定量した。能動的および受動的な柔軟性を従属変数とした重回帰分析の結果、能動的な柔軟性の説明変数として等尺性足関節最大背屈トルクと腱伸長が選択され、受動的な柔軟性の説明変数として腱伸長が選択された。この結果から、能動的、受動的に関わらず柔軟性には腱伸長が影響するものの、能動的な柔軟性には、足関節背屈筋群の筋力も貢献することが示された。男女別での結果では、受動的な柔軟性には、男女ともに腱伸長が説明変数として選択された。一方、能動的な柔軟性には、男性では等尺性足関節最大背屈トルクと腱伸長が説明変数として選択され、女性では腱伸長が能動的な柔軟性の説明変数として選択された。これは柔軟性の性差に筋力の性差が影響することを示すものである。また、能動的な柔軟性と受動的な柔軟性との間に有意な相関関係はみられなかった。このことは、能動的な柔軟性と受動的な柔軟性とで影響を及ぼす因子が異なることを示すものである。

各測定項目において、受動的な柔軟性、等尺性足関節最大底屈トルク、等尺性足関節最大背屈トルク、腱伸長には有意な性差がみられた。受動的な柔軟性は男性と比較して女性の方が有意に大きいにもかかわらず、能動的な柔軟性では性別による有意な差はみられなかった。この結果は、男性は組織の伸長性の低さを筋力で補うことで、女性と同じだけの能動的な柔軟性を達成できることを示すものである。

第3章: 柔軟性に影響を及ぼす因子に対するストレッチングの急性効果

ストレッチングが柔軟性とMTUの伸長性、足関節最大底屈トルクに及ぼす急性効果と、ストレッチングの時間による影響を明らかにすることを目的とした。第1節でストレッチングが受動的な柔軟性と筋伸長、腱伸長、等尺性足関節最大底屈トルクに及ぼす急性効果を検討した。また、第2節では同じ測定項目にストレッチングの時間が及ぼす影響について検討した。第1節の結果から、腱のスティフネスが減少することで、下腿のMTUの伸長性が向上し、能動的、受動的な柔軟性が増加したことが示された。また、ストレッチングの前後で筋伸長に変化がみられなかったことから、柔軟性の向上には筋伸長と比較して腱伸長による影響が大きかったことが示唆された。

ストレッチング後に腱のスティフネスは有意に低下したものの、等尺性足関節最大底屈トルクは変化しなかった。これまでにストレッチングによる発揮筋力の低下には関節のスティフネスの低下と筋のactivationの低下が報告されている。本研究で用いたストレッチングでは、ストレッチング後にvoluntary activationの低下はみられなかった。これらの結果から、ストレッチングによる腱のスティフネスの低下は柔軟性を向上させるものの、発揮筋力は低下させないという利点を持つ可能性が示された。

第2節の結果からストレッチングの時間が長いほど、等尺性足関節最大底屈トルクの低下は大きかった。第1節、第2節の結果から、受動的な柔軟性はストレッチングを継続する時間に関わらず有意に増加するものの、腓伸長と等尺性足関節最大底屈トルクは、ストレッチングを継続する時間に影響される可能性が示された。また、筋伸長はストレッチングの時間に関わらず変化しなかった。また、受動的な柔軟性が増加するほど、等尺性足関節最大底屈トルクは低下した。この結果には、時間を含めたストレッチングの方法のみならず、被検者に固有に備わる柔軟性も影響を及ぼすものと考えられる。

また、60秒間のストレッチングを5回行った試行と、10秒間のストレッチングを30回行った試行とでは腓伸長に対する結果が異なった。前者では腓伸長は有意に増加していたものの、後者では腓伸長に有意な変化はみられなかった。しかし、いずれも受動的な柔軟性は増加していたため、後者では筋伸長の増加も考えられた。後者では、前者と比較すると筋伸長は増加する傾向にあったことから、筋は持続的なストレッチングよりも、反復的なストレッチングを行うことで、伸長されやすくなることが示唆される。

第4章：柔軟性に影響を及ぼす因子に対する長期的な可塑性

本章では被検者の脚を（1）底屈筋群のストレッチングのみを実施する側、および（2）底屈筋群のストレッチングと背屈筋群のトレーニングを組み合わせたものを実施する側とに分けて、それぞれ6週間のトレーニングを実施した。これらの介入試行を通じて、能動的および受動的な柔軟性にストレッチングと筋力トレーニングが及ぼす効果を検討した。その結果、ストレッチングにより底屈筋群のMTUの伸長性が向上すること、MTUの伸長性の向上には特に腓伸長の増加が貢献していることが示された。次に、能動的な柔軟性を増加させるためには組織の伸長性を向上させるのと同時に、背屈筋群の筋力を増加させることが必要であった。この結果に関連して、等尺性足関節最大背屈トルクと前脛骨筋の筋厚がトレーニング期間の後半に増加した。これらの結果は能動的な柔軟性には組織の伸長性だけではなく、主動筋の筋力も関わることを縦断的なデータを通じて支持するものである。また、受動的、能動的な柔軟性に関わらず、事前測定での柔軟性が低い方がストレッチングや筋力トレーニングのもたらす効果が高かった。トレーニング期間を通じて、等尺性足関節底屈トルクと底屈トルクの立ち上がり速度は変化しなかった。6週間のトレーニング終了後には安静時の筋束長が増加し、ストレッチングのみを行った側において、安静時の筋束長の変化量と受動的な柔軟性の変化量との間に有意な相関関係がみられた。この結果について、動物を対象とした実験では、筋への伸長刺激を3週間与えることでサルコメア長や直列サルコメア数が増加することも報告されている。このメカニズムとして、ストレッチングによる筋への伸長刺激が筋芽細胞を増殖させるトリガになることが示されている。等尺性足関節底屈トルクと底屈トルクの立ち上がり速度が変化しなかった原因の一つとして、筋束長の増加が、筋の力-長さ関係や、収縮速度を変化させたためであることが考えられる。また、6週間のストレッチングで、強度をトレーニング開始3週間以降に増加させた。このため、ストレッチングの経過に伴い、受動的な足関節背屈中の受動トルクも増加した。ストレッチングの継続に伴う受動トルクの増加は、被検者が耐えうる受動トルクの閾値が向上したことを示す。日常的な動作に即して考えると、受動的な柔軟性の向上とそれに耐えうる閾値の増加は、姿勢を崩した際などに、関節の可動範囲における組織の耐性を向上させる可能性を示すものである。このことは、ストレッチングを長期間実施することで、生体にみられる可塑性には傷害の予防なども含まれることを示唆する。

第5章：総括論議

本研究では、体力要素の中でも行動体力を構成する要素の一つである柔軟性を扱い、柔軟性に影響を及ぼす因子とその可塑性について、3つの実験から明らかにすることを試みた。柔軟性はその役割に関連して、受動的な柔軟性と能動的な柔軟性とのいずれもが重要であることが知られている。腓の伸長性は、柔軟性に影響を及ぼす組織の伸長性の中でも、その貢献が大きいことが本研究の結果から明らかになった。この腓の伸長性についての結果は横断的にも、また縦断的にも同様であった。さらに、縦断的に可塑性を検討した場合には、急性効果であっても長期的な可塑性であってもアキレス腱の伸長性が柔軟性に影響を及ぼすという結果であった。本研究では、受動的な柔軟性の向上を目的とした場合には、主運動の直前にストレッチングを実施することが有効であることが示された。さらに、能動的な柔軟性の向上を目的とした場合には、長期的にストレッチングを実施することと合わせて、関節を動かすための主動筋の筋力を増加させることが必要であった。身体運動において柔軟性を向上させるためには、受動的、能動的でそれぞれに適した方法が存在することが、本研究の結果から明らかになった。