

骨格筋における張力調節に関する一考察

大田 隆雄*

* 帝京短期大学 ライフケア学科

要 旨

関節運動は、筋の張力を調節することで起こる。しかし、長時間同じ姿勢を維持する活動などによって、筋の張力調節機能に不調が生じることがある。

本研究では、筋の張力調節に関するメカニズムについて、ストレッチングにおける筋の伸張刺激によるメカニズムを基に、運動制御に関する上位運動ニューロン系の機能とともに考察した。そして、一つの筋の張力調節に関するモデルを作成した。

考察の結果、筋の張力調節は筋紡錘や腱紡錘といった筋内受容器と脊髄が関係する反射機構による反応だけでなく、上位運動ニューロン系による管理によって行われていることが推察された。さらに、張力調節には伸張刺激、筋収縮刺激などの機械的刺激が不可欠である可能性が考えられた。

キーワード：筋、張力調節、神経科学

I はじめに

近年、日本人の身体活動量減少が言われている。厚生労働省が行う「健康日本21」第一次報告では、日本人の1日あたりの歩数が減少していることが報告され¹⁾、身体活動量の減少が示された。また、日本人の身体活動量減少によって、運動器機能の低下に影響を及ぼしている可能性も推察される。日本整形外科学会は、「ロコモティブシンドローム」という概念を発表し、日本人の運動器に対する認識を高める活動を行い、運動器機能を健康に保つ重要性を伝えている²⁾。このようなことから、柔道整復師を含む医療従事者や健康・体力づくりを支援する指導者は、人々の運動器機能改善および向上のために貢献していくことが必要である。

運動器とは、ヒトが身体運動をするときに機能する器官である。すなわち、該当する器官は、骨や関節および骨格筋（以下：筋）、神経である。これらが正常であれば、関節運動および身体運動が正常に行われる。一方、異常がある場合、関節運動をすることが困難となる。つまり、運動器は身体運動をするために重要な器官であり、その機能を正常に維持することは、人々が健康に生活をするために必要である。

骨や関節、神経に異常がない場合、関節運動に影響を及ぼすものは、筋だと考えられる。関節運動は、その運動に関わる主動筋と拮抗筋の張力を調節することで起こる。しかし、それぞれの筋における張力調節

機能に不調が生じることが、人々の生活の中で頻繁に見られる。例えば、肩こりや筋性の腰痛の原因とされる、デスクワークや一定の環境下における作業など、長時間同じ姿勢を維持する活動によって、筋における張力調節の不調と同時に、関節の運動範囲が狭くなることもある。

筋の張力を調節する一つの方法に、柔軟運動やストレッチングといった筋を伸張することが挙げられる。柔道整復師を含む医療従事者の治療・施術や運動の前後に行われているだけでなく、人々の日常生活の中でも背伸びという行動で行われている。これらは、関節が運動できる最大範囲まで関節を動かすことで、その関節運動における拮抗筋にあたる筋が伸張される。これにより、拮抗筋の張力が調節され、関節の運動可能範囲を改善することができる。

これまで、ストレッチングの分野において、筋を伸張することによる張力調節に関わるメカニズムについて考察されてきた。また、これまでに様々な筋を伸張する方法が紹介され、それぞれの技法の違いを踏まえて、徐々に考察、検討が進められている。しかし、十分な結果や考察を得られていないのが現状である。

そこで、本研究では筋の張力調節のメカニズムについて、ストレッチングの分野だけでなく、神経生理学や運動学の観点から考察を進め、今後の研究に役立つ資料を得ることを目的とした。

II 筋の伸張方法と張力調節に関わる刺激と身体で起こる反応について

筋の伸張方法について、ストレッチングの技法からまとめた。現在日本で用いられているストレッチングは、主に4つとされている^{3,4)}。それぞれの技法について、図1にまとめた。

筋の伸張方法	張力調節に関わる刺激	身体で起こる反応
スタティックスストレッチング	反動を用いない伸張	伸張反射抑制
ダイナミックストレッチング	反動を用いない関節運動	相反神経支配
	随意的筋収縮	
徒手抵抗ストレッチング	随意的筋収縮	自原抑制
	反動を用いない伸張	
バリストックストレッチング	反動を用いた伸張	伸張反射亢進

図1. 筋の伸張方法と張力調節に関わる刺激と身体で起こる反応

一つ目は、スタティックスストレッチングである。関節が運動できる最大域までゆっくりと反動をつけずに関節を動かし、筋を伸張する方法である。この技法は、伸張反射を抑えつつ筋を伸張することで、筋の張力調節を行うことができる。また、筋肉痛や筋の損傷を起こしにくい安全な筋の伸張方法であると言われている。

二つ目は、ダイナミックストレッチングである。対象とする筋とその拮抗筋を共に利用し、反動を使わず、運動できる最大の可動範囲で、それらの筋を用いた随意的な関節運動を交互に繰り返し行い、筋の張力調節とともに、関節の運動可能範囲の拡大を促す方法である。この技法は、関節運動中に主動筋が最大収縮をしているとき、拮抗筋のはたらきが抑制されるという相反神経支配の原理を利用していると言われている。

三つ目は、徒手抵抗ストレッチングである。対象の筋をストレッチングする前に関節運動によって随意的な筋収縮を行わせ、弛緩させた後に反動をつけずに伸張させる。この一連のパターンを繰り返す方法である。筋収縮の方法は、等尺性収縮および等張性収縮を用いる。この方法は、筋収縮によって対象の筋腱に備わる固有受容器に刺激を与え、自原抑制の効果を利用して筋の張力調節を促すものである。

四つ目は、バリストックストレッチングである。これは、スタティックスストレッチングと対称的で、反動や弾みを用いて筋を伸張する技法である。しかし、反動や弾みを用いるので、伸張反射を高めてしまうだけでなく、筋への微細な損傷や痛みを引き起こす可能

性があるため、筋の張力調節においてあまり推奨されていない。そのため、実施する時期を考慮する必要があるとされている。つまり、筋の張力を調節するための伸張方法というより、筋の反応を高めるための方法と考えられる。

III 従来の各伸張方法における筋の張力調節のメカニズムと考察

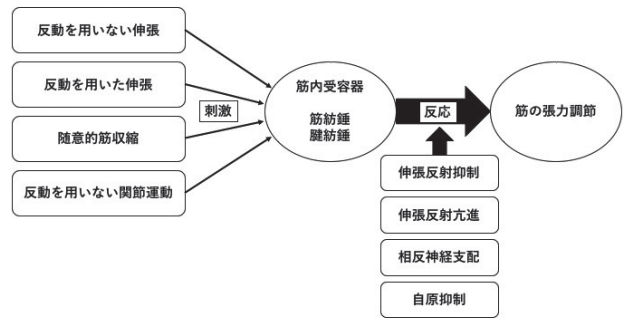


図2. 従来の各伸張方法における筋の張力調節のメカニズム

図2は、上記にまとめた各伸張方法における筋の張力調節が起こるまでのメカニズムをまとめたものである。筋に対して与える伸張、随意的筋収縮、関節運動といった刺激は、筋紡錘や腱紡錘といった筋内に備わる感覚受容器を通して受け取り、伸張反射、相反神経支配、自原抑制といった反射機構の反応を引き出し、筋の張力が調節される。また、これらの反応は筋内の受容器と脊髄の連携によって説明されることが多い。このような張力調節に関わる反応モデルは、これまでのストレッチングに関するほとんどの書籍に記載されている^{4,6)}。しかし、筋の張力調節を反射や筋内の受容器と脊髄による連動した反応だけで説明することはできないと考えられる。それは、伸張刺激だけでなく、関節運動や随意的筋収縮といった筋を積極的に運動させる刺激も利用されていることから、運動における筋の制御機構のはたらきを付け加える必要があると考えた。したがって、運動における中枢神経系のはたらきによる筋の張力調節に関するメカニズムについて調べた。

IV 上位運動ニューロン系と筋の連携における張力調節のメカニズムについて

運動における筋の張力調節に関して、大脳、脳幹、小脳など上位運動ニューロン系と筋との連携について、神経生理学や運動学の視点を参考に、図3にまとめた^{7,8)}。運動を制御する神経経路には、運動の命令を送る下行性運動路と、受容器からの情報を収集し、

より良い身体の状態や運動結果を目指して修正、調節につなげる上行性運動路の2つがある。

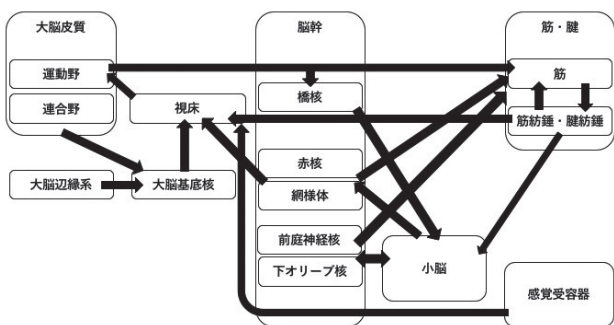


図3. 上位運動ニューロン系と筋の連携

随意的運動を行う場合、下行性運動路から筋に命令が伝わる。大脳皮質にある運動野からの命令によって、随意的筋収縮を行うとされている。運動野からの命令は、感覚受容器から得られた情報など様々な身体の情報処理する大脳皮質連合野と、記憶や意欲および情動に関わる大脳辺縁系を、大脳基底核のはたらきによって統合されたものである。統合された情報は、視床を経由して大脳皮質へ伝えられ、運動の命令に関する情報として活用されていると考えられている。

一方、筋の状態に関する情報は、筋内に備わる受容器から上行性運動路を経由して、上位運動ニューロンに伝えられる。筋紡錘や腱紡錘といった筋内に備わる受容器からの情報は、大部分は小脳へ、一部は視床へ伝えられる。小脳は、その受容器から得られた情報を蓄積し、運動が円滑に実行できるように修正を加えて、その処理した情報を脳幹にある赤核、網様体、前庭神経核、下オリーブ核に伝達している。これらの器官は、運動や姿勢調節および筋の張力調節に重要な役割をしているとされる。さらに、筋や身体の状態および運動において高度な修正を必要とする場合、脳幹の赤核を経由して、視床を通り、大脳皮質へ伝えられ、情報処理される。

さらに、小脳は運動野から出された命令を脳幹の橋核を経由して収集し、実際の筋腱や身体情報および運動結果と比較し、命令通りに調節されているかの確認とエラー情報の収集を行いつつ、命令の修正を加えるフィードバック学習も行っているとされる。

このように、筋は上位運動ニューロン系によって、常に情報を収集され、張力について管理をされていると考えられる。

V 上位運動ニューロン系を踏まえた筋の張力調節に関する考察

図4は、図2で示した筋の張力調節のメカニズムに上位運動ニューロン系のはたらきを追加したモデルである。これまで考察されてきたモデルは、筋内に備わる受容器を刺激し、様々な反射機構を利用して、筋の張力調節につながるとされ、これらの反応は筋内の受容器と脊髄の連携によって生じると説明されてきた。

しかし、上位運動ニューロン系のはたらきを加えて考察すると、筋内の受容器と脊髄の反応だけでなく、筋内の受容器の情報が上位運動ニューロン系の各器官によって処理され、常に身体機能の調節および筋の張力調節に影響していることが考えられる。

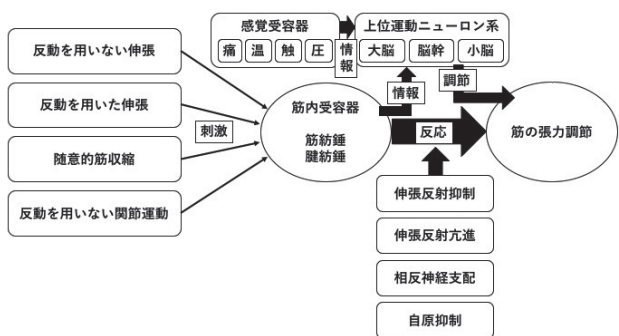


図4. 上位運動ニューロン系を踏まえた筋の張力調節のメカニズム

しかし、筋の張力は身体の中にある情報だけで維持できず、身体に伝わる機械的刺激を基に筋の張力調節を行っている可能性が考えられる。例えば、長時間同じ姿勢を維持した場合、筋は動かしにくくなり、関節運動に支障が出る現象がある。これは、長時間同じ姿勢をしていたことによって、筋を一定の張力で維持し続けた結果、その張力が正常だと上位運動ニューロン系によって調節されてしまった可能性が考えられる。このことから、筋の張力調節には、身体に機械的刺激が不可欠なことが考えられる。つまり、ストレッチングのような筋の伸張刺激は、筋の張力を適度に維持するための重要な情報になっていると推察される。さらに、効率よく筋の張力を調節する場合、伸張刺激だけでなく、随意的筋収縮や関節運動を用いることで、身体から得られる情報がより多く収集でき、効率よく筋の張力調節を行うことができると考えられる。

VI まとめ

本研究では、筋の張力調節に関するメカニズムについて、筋の伸張刺激によるメカニズムを基に、運動制御に関する上位運動ニューロン系の機能とともに考察

した。そして、一つの筋の張力調節に関するモデルを作成した。

また、本研究の考察より、筋の張力調節は筋紡錘や腱紡錘といった筋内受容器と脊髄が関係する反射機構による反応だけでなく、上位運動ニューロン系による管理によって行われていることが推察された。さらに、張力調節には伸張刺激、筋収縮刺激などの機械的刺激が不可欠である可能性が考えられた。

今後、研究で得られたモデルについての調査や検証実験、そして筋の張力調節に関わる施術や治療方法に関する研究活動に役立て、柔道整復師を含めた医療従事者だけでなく、学校体育や健康づくりおよび競技スポーツを行う人々など、様々な分野への貢献を目指す。

文献

- 1) 健康日本21評価作業チーム：「健康日本21」最終評価 厚生労働省 平成23年10月
- 2) 大江 隆史：ロコモティブシンドロームの概念 臨床スポーツ医学 27 P.1-6 2010
- 3) アスレティックトレーナー専門科目テキスト6 予防とコンディショニング (財)日本体育協会 2007
- 4) 健康運動指導士養成講習会テキスト(下) (公財)健康・体力づくり事業財団 2015
- 5) 堀居 昭：スポーツ障害別ストレッチング 杏林書院 1998
- 6) Ylinen, Jari：ストレッチングセラピー 医道の日本社 2010
- 7) 齋藤 宏・鴨下 博：運動学 医歯薬出版(株) 2013
- 8) 白尾 智明：リップンコットシリーズ イラストレイテッド神経科学 丸善出版 2013

A study on Tension Control in Skeletal Muscle

Takao OTA *

* Department of Life Care, Teikyo Junior College

Abstract

Muscles are adjusted for muscle tension by stimulation given to the body. For example, the stimulus is muscle stretch or muscle contraction. The purpose of this study was to examine the mechanisms related to tension control of muscles. In this survey, by gathering consideration obtained from past research, I extracted problems so far and constructed new considerations. There are two models to be investigated. One is a mechanism concerning the adjustment of muscle tension in stretching. The other is the function of the central nervous system during exercise. Based on these two models, a new model was created. Through the new model, I arrived at a consideration of muscle tension control. It is conceivable that muscle tension control is performed by reflex response and central nerve regulation.

Keywords : muscle, tension control, neuroscience

