

異なる関節角度における等尺性膝関節屈曲筋力

加藤 基・白木 仁・向井直樹・宮川俊平

Differences of strength of the knee flexion at various joint angle conditions

KATO Hajime, SHIRAKI Hitoshi, MUKAI Naoki and MIYAKAWA Shumpei

Abstract

The purpose of the present study is to investigate differences of isometric strength of the knee flexion in various positions of knee and hip joint angle. METHODS: Fifteen male college sprinters without leg injury performed maximal voluntary isometric knee flexion contraction at twelve positions that are combined with three knee positions and four hip positions. The maximal knee flexion torque was measured using a BIODEX3 dynamometer. Then, muscle lengths of six knee flexor muscles were calculated by the method of Hawkins and Hull. RESULTS: The maximal isometric torque ranged from 70.3 ± 19.9 to 213.0 ± 25.1 Nm/kg. A negative correlation was accepted between the muscle lengths of knee flexor muscles except sartorius and the knee flexion torque. So, as the muscles were shortened, knee flexion torque was significantly decreased. But, it is false that the longer the muscle length, the higher knee flexion torque. DISCUSSION: It is indicated that as the muscles were shortened, knee flexion torque was significantly decreased. But, it was shown that the other factors such as moment arm affected isometric strength of knee flexion.

Key words: Knee flexion torque, Length-tension relationship, Hamstring, Knee flexor

要約

本研究の目的は、膝関節および股関節の関節角度を変化させたときの随意的最大膝関節屈曲筋力の差異を観察することである。

方法: 下肢に既往の無い男性短距離選手 15 名を対象とした。実験試技は、膝関節屈曲における随意的な最大等尺性収縮とし、股関節 4 条件と膝関節 3 条件を組み合わせた合計 12 条件において行い、このときの最大等尺性筋力を測定した。また、6 つの膝関節屈筋の推定筋長を Hawkins and Hull の方法を用いて算出した。結果: 測定された最大筋

力値は 70.3 ± 19.9 Nm/kg から 213.0 ± 25.1 Nm/kg であった。膝は屈曲するにつれ、股関節を伸展するにつれて筋力が小さくなる傾向が示された。縫工筋以外は膝関節屈筋の筋長と膝関節屈曲筋力の間には負の相関関係が認められ、筋長が短くなるにつれて、最大筋力値も顕著に小さくなった。しかし、筋長が長ければ長いほど筋力が大きいというわけではなかった。考察: 筋長の短縮に従って筋力が小さくなることが示されたが、筋長以外にもモーメントアームの関与も重要であることが示された。

I. 緒言

膝関節屈筋群は、歩行や疾走といったヒトの運動にとって重要な筋¹⁶⁾であると言われているが、複数の筋で構成されるこの筋群の機能についてはまだよく知られていない^{25,26)}。これまでの膝関節屈筋群についての研究には、膝前十字靭帯再建術やその術後のリハビリテーションに関するもの^{20,24)}、抗重力筋である大腿四頭筋の拮抗筋として位置づけたもの^{18,29)}が多く、膝関節屈筋群自体を主題にしたものは少ない。

競技スポーツ分野では、これまでも膝関節屈曲筋力とスポーツパフォーマンスの相関関係の報告⁴⁾や、膝関節屈筋群に好発する肉離れというスポーツ傷害の報告^{2,6,32)}があり、膝関節屈筋群について興味をもたれていた。しかし、測定器に付属しているマニュアルにのっとって筋力測定を実施し、パフォーマンスとの相関を検討したものや、画像診断による損傷部位の特定と重症度の判定を目的とするものなどが多く、膝関節屈筋群の機能解明に着目したものは、やはり見られない。

肉離れとは、明らかな外力が加わらず、自家筋力によって筋が損傷を受ける傷害であり、陸上競技やサッカーのような急激なダッシュ行うスポーツに好発する²⁷⁾。肉離れは、競技スポーツ選手の2割程度が経験する傷害であるといわれ²⁷⁾、スポーツ医学の分野では、肉離れの診断時や回復過程において、筋力評価のために様々な関節角度での徒手筋力検査や、遂行可能な運動から簡便に重症度を推測する試みが日常的にスポーツ現場で行われている^{27,28)}。しかし、膝関節屈筋群の機能に関する研究が十分ではないため、これらの評価は、医師やアスレティックトレーナーの経験に基づいて実施・判断されることがほとんどである。リハビリテーションに関しても、成書に特別な記載がないため、トレーニング負荷の設定や動作範囲の決定などは、トレーナーの経験と選手の感覚に頼ることが多く、再受傷のリスク管理に多大な注意を払わなくてはならない。さらに、肉離れの予防という課題についても、Agre JC²⁾以降新しい知見は得られておらず、現状の打開にはこれまでに実施されていないような新しい取り組みが必要になると考えられる。

これらのことから、現在不明な点を多く残している膝関節屈筋群の機能を解明することは、日常的に行われている肉離れの評価法の根拠を明確に

し、リハビリテーションにおける負荷設定の指針を得るために有用であると考えられる。また、停滞している肉離れ予防に関する研究に対しても新しい知見を示すことによって貢献できると考える²⁴⁾。

筋は、身体運動を生み出す最も直接的な組織であるが、同じ筋であってもその機能は一定ではなく、筋長^{17,19,23,25-27)}やモーメントアーム^{9,15,22,31,35)}、動作速度^{10,11)}、脳の興奮状態¹³⁾などの要因によって筋力や各筋の筋活動動態といった筋機能が変わることが知られている。特に、筋長は関節の角度を変えることで簡単に変化する要因であり、これまでも多くの関節において関節角度の変化に伴う筋長の変化と関節トルクの関係が多数報告されている。その多くが、筋長の短縮に従って筋力も低下すると報告している^{16,18,20,24,29-31)}。

膝関節についても同様の報告が多くみられるが、そのほとんどが膝関節の角度のみを変化させて測定した実験の成果である。しかし、膝関節屈筋群の多くは股関節と膝関節とをまたぐ二関節筋であり、股関節の角度変移の影響も受けると考えられる。さらに、宮下²³⁾は、短距離走の中間疾走局面で、股関節には約90度、膝関節には約140度の角度変移があることを報告しており²³⁾、スポーツ動作においては股関節角度も大きく変移することが明らかである。肉離れの受傷機転についても、接地直前の股関節屈曲時に起こるという報告と、キック動作後の股関節伸展時に起こるという報告があり^{2,27,28,32)}、股関節角度の変化に伴う膝関節屈筋群の機能の変化を検討することは重要であるといえる。

そこで本研究では、膝関節および股関節の2つの関節角度を変化させて膝関節屈筋群の機能差異を検討することを課題とした。前述のとおり、筋機能は様々な要素の影響を受けており、筋機能研究では、静的筋力、動的筋力、筋活動、形態の変化などが検討課題となる。本研究ではまず、膝関節屈筋群の機能解明の第1報として、膝関節および股関節の関節角度の変化に伴う等尺性膝関節屈曲筋力の発揮特性を検討した。

II. 方法

A. 対象

日常的にトレーニングを行っている男性陸上競技短距離選手15名(身長 174.7 ± 3.8 cm、体重 63.6 ± 3.6 kg、年齢 22.5 ± 2.4 歳)を対象とした。対象に

は、事前に本研究の目的および内容を説明して十分な理解を得た。その上で、不参加による不利益がないことを説明し、実験への協力の同意を得た。測定を行う被験脚は、過去の傷害の影響を受けないように、下肢に既往が無い脚とした。

尚、本研究はこの研究は筑波大学大学院人間総合科学研究科倫理委員会の承認を得て行った。

B. 測定項目

本研究では以下に述べる測定条件において、膝関節屈曲における随意的な最大等尺性収縮を行い、そのときの等尺性膝関節屈曲筋力を多用筋機能評価訓練装置(Biodex 社製; BIODEX System3) (以下、BIODEX)を用いて測定した。各測定における

収縮時間は3秒間とし、5秒間の休息をはさんで各測定条件で2度ずつ実施した。測定条件間には十分な休息をとった。各測定条件の実施順序は無作為に設定し、どの条件においても十分な練習を行ったうえで測定を行った。

また、各条件での測定の前に、試技脚が完全に脱力した状態を5秒間とらせ、BIODEXでそのときのトルク値を測定し、値の安定していた3秒間の平均を重力補正值とした。

C. 測定条件の設定

本研究では、股関節角度4条件、膝関節角度3条件を組み合わせた合計12条件において、等尺性膝関節屈曲筋力を測定した(図1)。

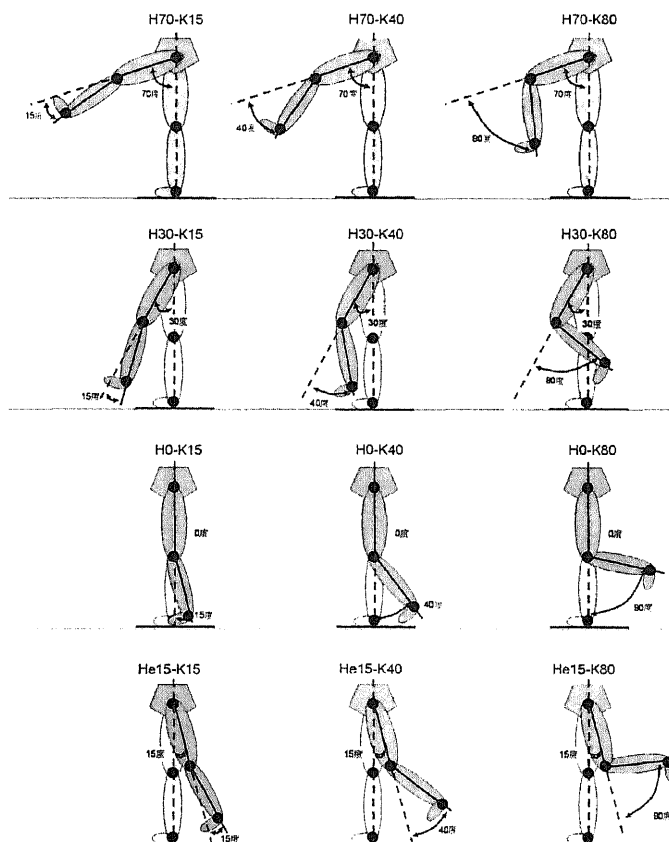


図1 測定条件

股関節の4条件(屈曲70度、屈曲30度、屈曲0度、伸展15度)、膝関節の3条件(屈曲15度、屈曲40度、屈曲80度)を組み合わせた合計12条件で測定を行なった。尚、各条件の呼称は『「股関節条件」 - 「膝関節条件」』で表す。各条件の設定は、疾走中の関節角度変移を参考にして行った。

股関節角度は、屈曲 70 度(H70)、屈曲 30(H30)、屈曲伸展 0 度(H0)、伸展 15 度(He15)の 4 条件を設定した。股関節の条件設定は、疾走中の脚の挙動を報告した先行研究^{1,11,13,22)}をもとに行い、全力疾走中の最大股関節屈曲角度を想定して H70 を、最大股関節伸展角度を想定して He15 を設定した。

また、膝関節角度は、屈曲 15 度(K15)、屈曲 40 度(K40)、屈曲 80 度(K80)の 3 条件を設定した。この膝関節の条件設定も、疾走中の脚の挙動を考えたときにも妥当なものになるように設定した^{1,12,14,23)}。

足関節角度は、腓腹筋が足関節の運動に作用しないように、水硬性プラスチック製のシーネ(アルケア社製;ライトスプリントⅡ)を用いて中間位で固定した。

尚、本論文では、各条件を「股関節角度一膝関節角度」で表した記号で表現する(例:股関節屈曲 70 度(H70)と膝関節屈曲 15 度(K15)を組み合わせた条件は H70-K15 と表す)。

各条件を正確に設定するために、測定は試技脚

を挙上した片脚立位姿勢で行った。試技脚の股関節、膝関節を各条件に設定した後、その他の部位は、基本立位姿勢を維持できるように自作の装置(図 2)に固定した。

D. 測定条件の管理

股関節および膝関節角度は東大式関節角度計を用いて測定条件に合わせ、その後自作の装置によって体幹部、大腿部、下腿部を固定し、対象が自身の力で測定条件を維持しなくてもいいようにした。また、試技を行う際には、動作課題が最大等尺性膝関節屈曲収縮であることを確認し、体幹および股関節の運動を生じさせないように指示した。測定条件を大きく逸脱する挙動が生じた場合には失敗試技とし、十分な休息をはさんだ後再度測定を行った。

試技中の股関節角度の変化を、被験脚の股関節に装着した電子ゴニオトランスデューサー(日本光電社製;TM-511G)を用いてパーソナルコンピュータ(Dell 社製;Inspiron1100)に取り込み、モニ

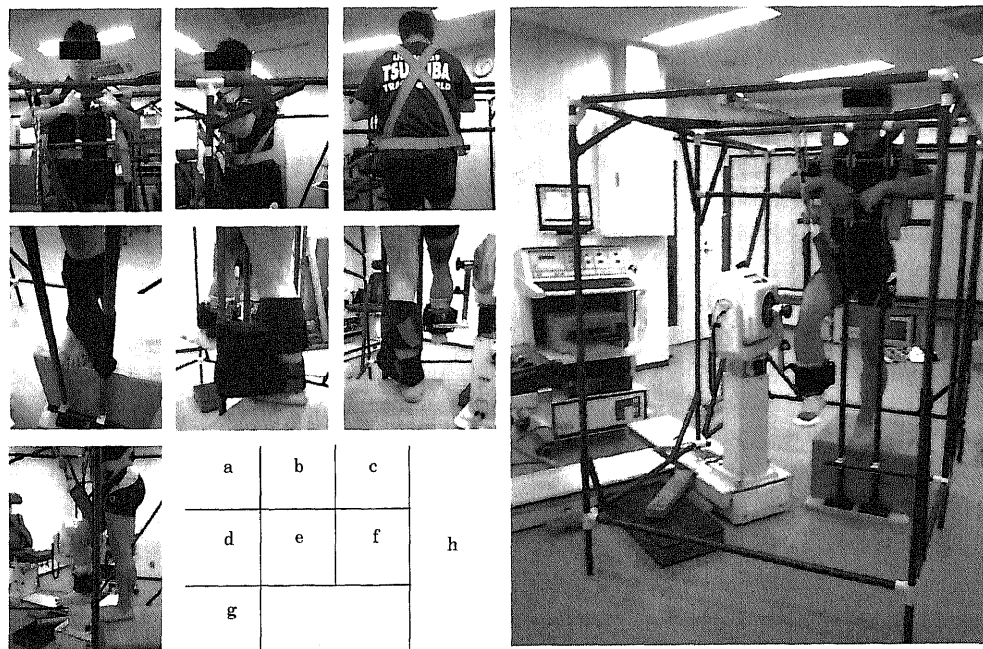


図 2 試技中の固定

測定条件を保持するため、試技中は対象を自作の装置に非伸縮性ベルトによって固定した。測定側の大腿は牽引し、股関節角度を受動的に保持した。

a-c:体幹部、d-f:立脚側 g:測定側 h:全体像

タリングを行った。股関節角度のモニタリングによって±5 度以上の変化が観察された試技は失敗試技とし、やり直しを行った。

E. データ収集

各条件で行った2回の試技のうち、BIODEX によって測定された試技中の膝関節屈曲トルクの最大値(ピークトルク値)が大きかったほうをその条件での最大値とした。ピークトルク値から、別に測定した重力補正値を減じ、その値を対象の体重(kg)で除すことによって、各条件での対体重ピークトルク値(Peak Torque/Body Weight : PT/BW)を算出し、これを等尺性膝関節屈曲筋力として比較した。

また、考察資料として Hawkins and Hull⁸⁾の方法により、各条件の関節角度から、腓腹筋内側頭、腓腹筋外側頭、大腿二頭筋長頭、半腱様筋、半膜様筋、薄筋、縫工筋の推定筋長を算出した。

F. 統計処理

実験データの統計処理には、統計解析ツール Dr. SPSS II (SPSS 社製;東京)、を使用した。

繰り返しのある二元配置の分散分析(反復測定)を用いて、膝関節角度と股関節角度の2つの要因の交互作用を検討した。交互作用がみられた場合は、各要因において繰り返しのある一元配置の分

散分析を行い、その後ボンフェローニの方法を用いて多重比較検定を行った。

全 12 条件間の差の検定は一元配置の分散分析を行った後に、ボンフェローニの方法によって多重比較検定を行った。

また、相関関係の検定には、ピアソンの積率相関係数を利用した。

すべての検定で危険率 5%をもって有意差ありとした。

III. 結果








各関節条件での等尺性膝関節屈曲筋力測定の結果を表 1 に示した。

繰り返しのある二元配置の分散分析(反復測定)を行った結果、膝関節角度と股関節角度の間に交互作用が認められたため、各要因ごとに多重比較検定を行った。

A. 同一股関節条件における膝関節条件の違いと等尺性膝関節屈曲筋力

同一股関節条件における、膝関節 3 条件の対体重ピークトルク値を比較した(図 3 - A)。股関節屈曲 70 度条件では、3 つの膝関節条件間に有意な差は認められなかった。股関節屈曲 30 度条件および股関節屈曲 0 度条件では、膝関節屈曲 15 度および膝関節屈曲 40 度において膝関節屈曲 80 度と比して有意に大きかった。股関節伸展 15 度条件では、

表 1 各関節条件の組み合わせと等尺性膝関節屈曲筋力

| positions | Peak Torque / Body Weight (Nm/Kg) | | |
|--|---|---|--|
| | K15  | K40  | K80  |
| H70  | 195.2 (24.5) | 204.7 (27.3) | 206.5 (27.4) |
| H30  | 206.8 (17.0) | 213.0 (25.1) | 146.9 (21.3) |
| H0  | 177.9 (19.8) | 160.6 (21.0) | 95.2 (9.3) |
| He15  | 146.3 (26.4) | 119.6 (32.5) | 70.3 (19.9) |
| MEAN (SD) | | | |

膝関節屈曲 15 度が膝関節屈曲 40 度、膝関節屈曲 80 度と比して有意に大きかった。また、膝関節屈曲 40 度が膝関節屈曲 80 度と比して有意に大きかった。

B. 同一膝関節条件時における股関節条件の違いと等尺性膝関節屈曲筋力

同一膝関節条件における、股関節 4 条件の対体重ピークトルク値を比較した(図 3 - B)。膝関節屈曲 15 度条件では、股関節伸展 15 度で他の 3 条件と比して有意に小さかった。また、股関節屈曲 30 度で股関節屈曲 0 度と比して有意に大きかった。膝関節屈曲 40 度条件では、股関節伸展 15 度で他の 3 条件と比して有意に小さかった。また、股関節屈曲 70 度および股関節屈曲 30 度で股関節屈曲 0 度と比して有意に大きかった。膝関節屈曲 80 度条件では、股関節伸展 15 度で他の 3 条件と比して有意に小さかった。また、股関節屈曲 70 度および股関節屈曲 30 度で股関節屈曲 0 度と比して有意に

大きく、股関節屈曲 70 度で股関節屈曲 30 度と比して有意に大きかった。

C. 全 12 条件間での等尺性膝関節屈曲筋力の比較

全 12 条件間での対体重ピークトルク値を比較した。その結果、最も高値を示したのは、H30-K40 条件であった。H30-K40 条件での対体重ピークトルク値は、H30-K80 条件と股関節屈曲 0 度および股関節伸展 15 度における 3 条件すべての合計 7 条件に比して有意に高値であった。しかし、股関節屈曲 70 度における 3 条件すべてと H30-K15 条件との間には有意な差は認められなかった。

股関節屈曲 70 度における 3 条件すべてと H30-K15 条件の合計 4 条件は、H30-K40 条件と有意な差は見られなかった。しかし、H30-K40 条件が H0-K15 条件と比して有意に高値であるにもかかわらず、股関節屈曲 70 度における 3 条件すべてと H30-K15 条件の合計 4 条件は H0-K15 条件との間に有意な差を認めなかった。

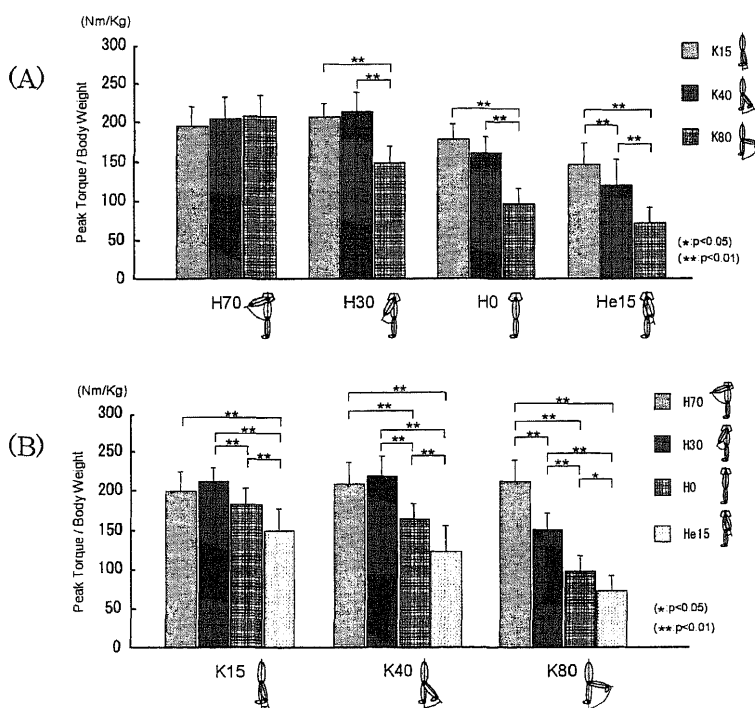


図 3 関節条件の違いと等尺性膝関節屈曲筋力

- (A) 同一股関節角度における膝関節角度の違いと等尺性膝関節屈曲筋力
(B) 同一膝関節角度における股関節角度の違いと等尺性膝関節屈曲筋力

D. 各筋の推定筋長と対体重ピークトルク値の関係

各条件における対体重ピークトルク値と各筋の推定筋長の推移を図3に示した。H30-K80、H0-K80、He15-K80で各筋の推定筋長の短縮と対体重ピークトルク値の低下が一致することが観察された。

すべての筋の推定筋長と対体重ピークトルク値の間には相関関係が認められた。このときの相関係数は、腓腹筋内側頭で $r=0.434$ 、腓腹筋外側頭で $r=0.434$ 、半腱様筋で $r=0.789$ 、半膜様筋で $r=0.789$ 、大腿二頭筋で $r=0.789$ 、薄筋で $r=0.755$ 、縫工筋で $r=-0.439$ （いずれも $n=180$ 、 $p<0.01$ ）であった。

IV. 考察

A. 筋長の変化と膝関節屈曲筋力の変化

膝関節角度を変化させて膝関節屈曲筋力測定を行った先行研究では、膝関節屈曲角度が大きくなるにつれて、膝関節屈曲筋力が低下することが報告されている^{16,18,20,24,29-31}。本研究において、同一股関節条件時に膝関節角度を変化させたところ、股関節屈曲70度以外の股関節条件では、膝関節屈曲80度のときの等尺性膝関節屈曲筋力が有意に低値であった。このことは、膝関節屈曲角度が大きくなるほど、発揮筋力が低下するという先行研究の結果に一致する。特に、股関節伸展15度のときには、膝関節屈曲80度で発揮された対体重ピークトルク値は、膝関節屈曲15度での値の50%にも満たないという結果であった。

Lunnen JD²⁰や Mohamed O et al.²⁴などは、股関節角度を変化させて膝関節屈曲筋力を測定しているが、股関節屈曲0度条件では、股関節をより屈曲した条件と比して膝関節屈曲筋力が弱かったと報告している^{20,24,35}。本研究において、同一膝関節角度で股関節角度を変化させたところ、すべての膝関節条件において、股関節伸展15度で他の股関節条件よりも有意に低値であった。また、股関節屈曲70度、股関節屈曲30度と比して股関節屈曲0度が有意に低値であった。

これらの結果は、膝関節屈曲角度の増大や股関節屈曲角度の減少(股関節伸展方向への変移)によって膝関節屈筋群の筋長が短縮したことによってもたらされたと考えられる。

Hawkins and Hull⁸)の方法によって算出した各筋の推定筋長から(図4-A)、膝関節屈曲80度では、膝関節屈曲15度、膝関節屈曲40度と比べ、多く

の膝関節屈筋群の筋長が短縮していることが認められる。また、股関節が伸展方向へ変位するにつれて筋長が短縮されることも認められる。

筋線維中のサルコメアには、「至適長」と呼ばれる、最大張力を発揮するために最適の長さがあるといわれており、至適長よりもサルコメアが長すぎても短すぎても収縮張力の発生が阻害されると考えられている⁷。この、筋の長さに依存した筋張力の変化は長さ-張力関係と呼ばれ、生体では生理的範囲内であれば、長さ-張力関係の上行脚(この部分では筋長が長ければ長いほど強い張力を発揮しうる)の部分もしくは至適長相当する部分だけを利用しているといわれている³⁾。これらのことから、膝関節屈曲や股関節伸展に伴って発揮筋力が低下することの原因としては、筋長が至適長をよりも短縮してしまっていることが考えられる。先行する研究には、股関節伸展位において膝関節屈曲筋力を測定したものはないが、筋長の短縮という現象を考えれば、本研究で得られた結果は当然予想されたものであるといえる。

さらに、本研究の結果より、腓腹筋内側頭、腓腹筋外側頭、半腱様筋、半膜様筋、大腿二頭筋、薄筋の推定筋長と等尺性膝関節屈曲筋力との間に、有意な正の相関関係が認められた。このことも筋長の短縮が等尺性膝関節屈曲筋力の低下の原因であることを示すものであるといえる。縫工筋の筋長だけが他の筋と異なっており、等尺性膝関節屈曲筋力と負の相関を示した。これは、縫工筋が他の筋と異なり股関節の前方に起始し、股関節伸展によって筋が伸長される筋であったことが原因であったと考えられる。縫工筋の筋長と膝関節屈曲筋力の関係は、本研究の結果からは述べることはできず、今後の検討が必要なところである。

本研究においては、股関節屈曲70度条件では、膝関節屈曲角度を増大させても股関節屈曲筋力の差は認められなかった。この結果は、股関節屈曲によって筋長を伸張させている場合には、膝関節を屈曲しても大きな等尺性膝関節屈曲筋力の発揮が可能であるということを示しており、筋長は膝関節屈曲筋力の発揮に影響を与える重要な要因であると考えられる。また、H70-K15、H70-K40、H70-K80、H30-K15、H30-K40の5条件では、発揮された膝関節屈曲筋力に差が認められず、これらの条件のとき筋長は至適筋長にあったと考えられる。

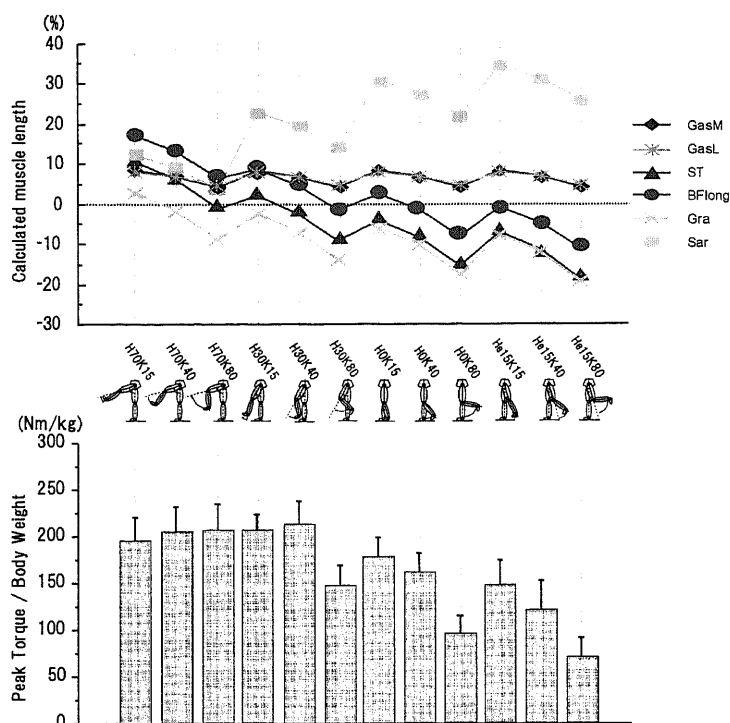


図4 推定筋長の変化と各条件での等尺性膝関節屈曲筋力

- (A) 各筋の推定筋長の推移。推定筋長の算出には、Hawkins and Hull(1990)の回帰式を使用した。値は、静止立位時の筋長を基準として、その状態より何%の増減があったかを示している。GasM：腓腹筋内側頭、GasL：腓腹筋外側頭、ST：半腱様筋、BLong：大腿二頭筋長頭、Gra：薄筋、Sar：縫工筋
- (B) 各関節条件での等尺性膝関節屈曲筋力

筋長の短縮が膝関節屈曲筋力の低下の原因となることは上述したとおりであるが、本研究より別の知見も得られた。H70-K40 と H30-K15 や H70-K80 と H30-K40、He15-K15 と H30-K80 のような筋長の比較的類似した条件では、それぞれの関節角度が異なっているにもかかわらず、発揮される膝関節屈曲筋力の値が同程度になっている。身体運動は大脳皮質運動野によって制御されるが、運動の遂行には運動の状況や運動器の感覚受容器からのフィードバックを受けてコントロールされているといわれている²⁶⁾。本研究の結果は、膝関節屈曲筋力に関して、脳は関節内の他の機械的受容器ではなく筋長を重視してモニタリングし、筋力発揮を制御している可能性が示唆された。しかし、筋によって筋長の変化が異なるため、関節角度を変えてすべての筋の筋長がまったく同じ長さになる条件はなく、本研究の結果からは、筋長がどれほど重

要なセンサーであるかを示すことはできない。この点に関しては、膝関節屈曲筋力の制御がどのように行われているかを解明する上で今後の重要な検討課題になると考えられる。

B. モーメントアームと膝関節屈曲筋力の変化

筋力に影響を与える要因で、関節角度を変えることによって変化するものとしては、モーメントアームも挙げられる^{9,15,22,31,35)}。これについては、Herzog W and Read LJ⁹⁾が、主要な膝関節屈筋(ハムストリングス)のモーメントアームは膝関節屈曲0度から約100度までは漸増していくと報告している¹⁶⁾。このことと本研究の結果をあわせて考えると、本来モーメントアームが増大し、力学的により膝関節屈曲筋力を発揮しやすい条件となっているにもかかわらず、膝関節屈曲筋力が低下してしまっていることは筋長の短縮が大きな影響を与

えていると言える。

また、膝関節角度を変化させなかった場合には、膝関節屈曲に関与する筋のモーメントアームの変化はないと考えられ、膝関節の角度を一定にし、股関節条件だけを変化させたときに筋力に影響を及ぼすのは、筋長の変化であると考えられる。

C. その他の条件と膝関節屈曲筋力の変化

本研究は、等尺性収縮で実施されたため、動作速度の影響を受けることはない。しかし、関節角度を変えたことにより、筋腱複合体の受動的張力が変化していたと考えられる。本研究においては、各条件での測定試技の前に、受動的張力を重力補正值として測定しており、測定試技でえられた値から減じている。

このことより、各条件間での受動的張力の差は無視できる。

また、猪飼らが脳の興奮状態による発揮筋力の違いについて報告しているが、すべての条件において対象の随意的最大等尺性収縮を行わせることを課題としているため、この点に関しても同一対象内の条件間差はないと考えられる。

D. 本研究の利用可能性と課題

本研究より、膝関節屈曲筋力は股関節、膝関節角度を変化させることによって変化することが示された。関節角度の変化に伴う、筋長の短縮によって発揮される筋力が低下することが認められたため、リハビリテーションで広い可動範囲での運動を行う際には筋長が短縮したときに大きな負荷がかからないように調整することが必要であると考えられた。また、関節角度条件によって発揮される筋力が異なるため、記録を目的として筋力測定を行う際には同一の肢位で行うように心がけるべきである。傷害の評価などの際に、徒手的に抵抗をかける場合も、筋長が短縮した肢位では筋力発揮しにくいことを考慮して抵抗のかけ方を工夫することが必要であるといえる。

上述のように本研究の結果からスポーツ現場、特にスポーツ医学の分野には利用可能な知見をもたらすことができると考えられるが、本研究は静的な収縮時の筋力だけに着目したものであるため、この結果だけで大きな成果を得ることはできない。今後は、関節条件の違いによる、活動する筋の違いを検討するために筋電図測定を実施することや

実際のスポーツ動作に近い動的な条件での測定をすることが必要になると考えられる。それらの課題が解決されていくにつれて、膝関節屈曲筋群の機能解明は、肉離れの受傷機転や原因の解明、リハビリテーションへの示唆など、よりスポーツ分野に貢献する研究となっていくと考えられる。

VI. 参考文献

- 1) 阿江通良, 宮下憲, 横井孝志, 大木昭一郎, 渋川侃二 (1987) 機械的パワーからみた疾走における下肢筋群の機能および貢献度. 筑波大学体育科学系紀要 (9):229-239.
- 2) Agre JC (1985) Hamstring Injuries. Proposed aetiological factors, prevention, and treatment. *Sports Medicine* 2:21-33.
- 3) Cutts A (1988) The range of sarcomere lengths in the muscles of the human lower limb. *J Anat* 160:79-88.
- 4) 深代千之, 若山章信, 原田康弘 (1991) トップアスリートの体力とパフォーマンス—陸上・短距離選手について—. *体育の科学* 41:262-268.
- 5) Fukunaga T, Ichinose Y, Ito M, Kawakami Y, Fukashiro S (1997) Determination of fascicle length and pennation in a contracting human muscle in vivo. *J Appl Physiol* 82:354-358.
- 6) Garrett WE Jr (1996) Muscle strain injuries. *Am J Sports Med* 24:S2-8.
- 7) Gordon AM, Huxley AF, Julian FJ (1966) The variation in isometric tension with sarcomere length in vertebrate muscle fibres. *J Physiol* 184:170-192.
- 8) Hawkins D, Hull ML (1990) A method for determining lower extremity muscle-tendon lengths during flexion/extension movements. *J Biomech* 23:487-494.
- 9) Herzog W, Read LJ (1993) Lines of action and moment arms of the major force-carrying structures crossing the human knee joint. *J Anat* 182:213-30.
- 10) Hill AV (1938) The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. *Proc Roy Soc B* 126:136-195.
- 11) 市橋則明, 伊藤浩充, 吉田正樹, 篠原英記, 武富由雄 (1992) 膝関節屈伸筋における求心性筋力と遠心性収縮の力—速度関係. *理学療法* 19:388-392.
- 12) 飯干明, 阿江通良, 宮下憲, 末永政治 (1990) スタートダッシュフォームと肉離れのバイオメカ

- ニクスの研究. 体育学研究 34:359-372.
- 13) 猪飼道夫, 石井喜八 (1961) 筋力の生理的限界と心理的限界の筋電図学的研究. 体育学研究 5:154-165.
 - 14) 伊藤章, 市川博啓, 斉藤昌久, 佐川和則, 伊藤道郎, 小林寛道 (1998) 100m 中間疾走局面における疾走動作と速度との関係. 体育学研究 43:260-273.
 - 15) Kawakami Y, Nakazawa K, Fujimoto T, Nozaki D, Miyashita M, Fukunaga T (1994) Specific tension of elbow flexor and extensor muscles based on magnetic resonance imaging. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 68:139-147.
 - 16) Kulig K, Andrews JG, Hay JG (1984) Human strength curves. *Exerc Sport Sci Rev* 12:417-466.
 - 17) 熊倉博雄 (1986) 各種霊長類大腿二頭筋の機能と形態. 人類学雑誌 94 : 123-136.
 - 18) Leedham JS, Dowling JJ (1995) Force-length, torque-angle and EMG-joint angle relationships of the human in vivo biceps brachii. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 70:421-426.
 - 19) Lewek MD, Rudolph KS, Snyder-Mackler L (2004) Quadriceps femoris muscle weakness and activation failure in patients with symptomatic knee osteoarthritis. *J Orthop Res* 22:110-115.
 - 20) Lunnen JD, Yack J, LeVeau BF (1981) Relationship between muscle length, muscle activity, and torque of the hamstring muscles. *Phys Ther* 61:190-195.
 - 21) Makiyara Y, Nishino A, Fukubayashi T, Kanamori A (2006) *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 14:310-317.
 - 22) Marshall RN, Mazur SM, Taylor NA (1990) Three-dimensional surfaces for human muscle kinetics. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 61: 263-270.
 - 23) 宮下憲, 阿江通良, 横井孝志, 橋原孝博, 大木昭一郎 (1986) 世界一流スプリンターの疾走フォームの分析. *J J Sports Sci* 5:892-898.
 - 24) Mohamed O, Perry J, Hislop H (2002) Relationship between wire EMG activity, muscle length, and torque of the hamstrings. *Clin Biomech* 17:569-579.
 - 25) Nakamura N, Horibe S, Sasaki S, Kitaguchi T, Tagami M, Mitsuoka T, Toritsuka Y, Hamada M, Shino K (2002) Evaluation of active knee flexion and hamstring strength after anterior cruciate ligament reconstruction using hamstring tendons. *Arthroscopy* 18:598-602.
 - 26) 中澤公孝, 政二慶 (2002) 筋を活動させる神経機序. 福永哲夫編 筋の科学事典—構造・機能・運動—. 朝倉書店:161-185.
 - 27) 奥脇透 (2005) 筋損傷 (特に肉離れ) の病態. 整形・災害外科 48:409-416.
 - 28) 奥脇透 (2007) 肉ばなれの発生要因と治癒予測. *Sportsmedicine*88:6-14.
 - 29) 大西秀明, 池田知純, 八木了, 赤坂清和, 大山峰生, 百瀬公人, 伊橋光二, 半田康延 (1999) 最大等尺性膝屈曲運動時のハムストリングスの筋活動について. 理学療法学 26 :62-67.
 - 30) Onishi H, Yagi R, Oyama M, Akasaka K, Ihashi K, Handa Y (2002) EMG-angle relationship of the hamstring muscles during maximum knee flexion. *J Electromyogr Kinesiol* 12:399-406.
 - 31) Rassier DE, MacIntosh BR, Herzog W (1999) Length dependence of active force production in skeletal muscle. *J Appl Physiol* 86:1445-1457.
 - 32) Sutton G(1984)Hamstrung by Hamstring Strains: A Review of the Literature. *J OSPT*5:184-195.
 - 33) 武田 寧 (2004) スポーツ現場における肉離れの疫学的調査—スポーツ特性と問題点—. 臨床スポーツ医学 21:1109-1116.
 - 34) 徳原尚人, 宮川孝芳, 北浜伸介, 千知岩伸匡, 武政誠一, 嶋田, 智明 (2002) 股関節伸展運動を同期させた大腿四頭筋等尺性運動の筋電図学的検討. 神戸大学医学部保健学科紀要 18:85-95.
 - 35) Young RP, Scott SH, Loeb GE (1992) An intrinsic mechanism to stabilize posture--joint-angle-dependent moment arms of the feline ankle muscles. *Neurosci Lett* 145:137-140.