



北海道公立大学法人  
**札幌医科大学**  
Sapporo Medical University

**札幌医科大学学術機関リポジトリ *ikor***

SAPPORO MEDICAL UNIVERSITY INFORMATION AND KNOWLEDGE REPOSITORY

Title	種目別陸上選手における膝屈伸運動の最大筋力と筋力発生の比較
Author(s)	高柳, 清美; 吉村, 理; 田口, 正公
Citation	札幌医科大学保健医療学部紀要, 第 3 号: 57-62
Issue Date	2000 年
DOI	10.15114/bshs.3.57
Doc URL	<a href="http://ir.cc.sapmed.ac.jp/dspace/handle/123456789/6577">http://ir.cc.sapmed.ac.jp/dspace/handle/123456789/6577</a>
Type	Journal Article
Additional Information	
File Information	n13449192357.pdf

- コンテンツの著作権は、執筆者、出版社等が有します。
- 利用については、著作権法に規定されている私的使用や引用等の範囲内で行ってください。
- 著作権法に規定されている私的使用や引用等の範囲を越える利用を行う場合には、著作権者の許諾を得てください。

## 種目別陸上選手における膝屈伸運動の最大筋力と筋力発生の比較

高柳 清美<sup>1</sup>, 吉村 理<sup>2</sup>, 田口 正公<sup>3</sup>

札幌医科大学保健医療学部理学療法学科<sup>1</sup>

広島大学医学部保健学科<sup>2</sup>

福岡大学スポーツ科学部<sup>3</sup>

### 要 旨

陸上選手男女60名を対象に、膝屈曲・伸展時の筋力発生の経時的变化と最大筋力、性、運動方向および競技種目との関係について検討した。最大筋力 (PT) と電気力学的遅延 (EMD)、最大筋力到達時間 (PTT)、総最大筋力到達時間 (TPPT) の間にはほとんど相関は認められず、PTの大きさによりEMD、PTT、TPPTが短縮あるいは延長するという関係は認められなかった。EMDとPTT、TPPT、最大筋力変化率 (MD)、筋力出現からMDの到達時間 (MDT) との関係に相関が認められなかった。収縮要素とPT、非収縮要素とEMDとの関連性が高いと考えられ、EMDはPTとは独立した筋機能を現す因子の一つである可能性が示唆された。膝伸筋・屈筋のEMDと競技種目との間に有意差が認められ、短距離と跳躍が長距離よりもEMDが短かった。筋線維組成の違いかあるいは訓練の違いによって跳躍と短距離選手のEMDが長距離選手より短くなった可能性が示唆された。

<索引用語>筋力、電気力学的遅延、陸上競技種目

### 緒 論

身体の静的あるいは動的に姿勢を保持しているとき、床面などの外的環境が突如として変化したり予想と異なった場合、身体平衡を乱すことがある。その時の筋反応は重要な意味を持ち、筋反応が遅れると、筋により制動できなかったエネルギーが過剰な負荷として身体の構成体に吸収される。その作用する負荷力が大きい場合は軟部組織にとどまらず、骨に作用して骨折という結果を生じる場合もある。

このような荷重下での軟部組織や骨損傷の受傷機転を考えると、単に力学的に筋力のみで負荷抵抗に打ち勝つことはできず、筋がいかに適切に作動するかという筋の作用時期と活動量が重要になってくる。訓練によって強化された筋力がいかに強力であっても作用時期が遅れば目的とした結果は得られない。筋の強さが議論されることが多いなか、迅速な筋力発生もスポーツ損傷や老人転倒を予防する重要な要因と考えられる。

骨格筋の収縮過程の初期段階において、筋活動電位が観察されはじめてから実際に効果が出現するまでに時間

的な遅延が存在し、EMDあるいは運動反応時間と呼ばれている<sup>1,2)</sup>。筋活動時における運動動作の発現に左右し、スポーツ活動や身体活動を行う上において十分考慮されなければならない生体情報の一つである。EMDは、興奮収縮連関のT管に沿った活動電位の伝導時間<sup>3)</sup>、筋小胞体からのカルシウムイオンの流出時間<sup>4)</sup>、クロスブリッジの形成時間<sup>4)</sup>の加算を意味し、筋力学モデルの直列弾性要素のバネ係数、筋収縮要素の収縮力<sup>4,6)</sup>に影響を受ける。また、関節角度、筋線維組成<sup>1,7)</sup>などの解剖学・組織学的要因と、筋活動レベル<sup>8,9)</sup>、筋活動様式<sup>4,6)</sup>、筋長<sup>9)</sup>、疲労<sup>10,11)</sup>といった心理学・生理学的要因にも影響されることが解ってきた。

本研究の目的は筋力-身体反応の基礎的実験として、筋力と運動開始を知らせる合図から最大筋力発生までの時期におけるEMDを中心とした筋力・筋力発生時間の関係を明らかにすることである。

### 方 法

#### 1. 対 象

対象は大学陸上部に所属する男女60名で、短距離・長

距離・跳躍種目を行なっている選手の中より任意に男女各々10名づつを選んだ。被検者は測定時に膝に特別な疾患を有さない者とした。男性被検者の年齢、身長、体重はそれぞれ、 $19.7 \pm 1.2$ 才、 $174.6 \pm 5.9$ cm、 $64.3 \pm 5.5$ kg、女性は、 $19.5 \pm 1.1$ 才、 $161.9 \pm 4.8$ cm、 $51.5 \pm 5.4$ kgであった。

各被検者に対し測定前に研究の主旨と内容・方法について説明を行い、実験に参加した全員から実験への同意を得た。

## 2. 計測方法

等速性筋力測定機器KINCOM III (Chattecx社製)のシート上に被検者を端坐位にて坐らせ、上肢は下垂させシートの側方を把持させた(図1)。KINCOM IIIの背もたれに体幹をあて、腹部と骨盤部を幅15cmのベルトを用いて固定、大腿部および足部をKINCOM III備え付けのベルトにて固定した。KINCOM IIIの入力桿は足関節外果より5cm中枢位の下腿にベルトにより固定した。被検者前方3mに運動開始を知らせる合図用の直径2cmの赤色ランプを置いた。筋活動電位の測定には表面筋電図(日本光電:NR300)を用いた。表面筋電電極を先行実験の結果により大腿直筋、内・外側ハムストリングスに添付した。電極は、大腿直筋では上前腸骨棘と膝蓋骨上縁を結んだ線上の midpoint、内側ハムストリング・外側ハムストリングは大転子より後方に水平移動し、内側ハムストリング・外側ハムストリングとそれぞれ交差する点と膝窩部中央とを結んだ筋の走行に沿った線上で、末梢から1/3の位置に電極間距離が2~3cmとなるように設置した。

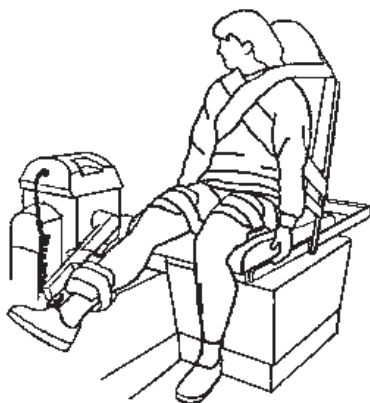


図1 測定に用いた機器と測定肢位

被検者には任意のランプ点灯に対し、可能な限り速く、強く、あらかじめ指示した膝伸展・屈曲方向の等尺性収縮を行なわせた。合図用ランプのステップ信号、筋電信号、トルク信号を同期し、一旦データレコーダ(SONY: NFR-3915)に記録した。後に信号を再生、16bitのA/D変換器(カノープス:ADYG-16)を介して1000Hzでコンピュータ(NEC:PC9801DA)に入力した。信号処理ソフト(カノープス:WAVE MASTER II)を使用してランプ点灯時より3秒間(3000個)のデータを切り出し、

コンピュータ言語のBASICを用いて波形解析プログラムを自作し、以下の解析を行った。

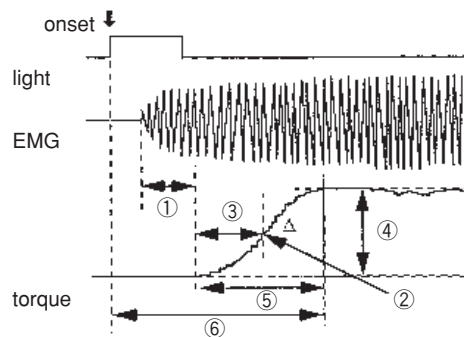


図2 計測したパラメータ

- ①electromechanical delay (EMD)
- ②maximum differential (MD)
- ③MD time (MDT)
- ④peak torque (PT)
- ⑤PT time (PTT)
- ⑥total of PTT (TPTT)

## 3. 解析方法

体重補正した最大筋力 peak torque (PT) と、ランプ点灯から最大筋力までの時間 total peak torque time (TPTT)、筋力発生より最大筋力までの時間 peak torque time (PTT)、各筋活動発生から筋力出現までの時間の差分(電気力学的遅延) electro-mechanical delay (EMD) を求めた(図2)。PTを100%とし、10%間隔でPTの10から90%の相対筋力を求め(10%PTから90%PT)、筋力の立ち上がりから各%PTを発生させるまでの時間を%PTTとし、10%PTTから90%PTTまでの計9個を求めた。また、トルクの立ち上がり時期における最大筋力変化率 maximum differential (MD)、および筋力出現からMD到達時間 maximum differential time (MDT) を求めた。各施行は3回づつ行い、この平均値を各被検者のデータとして採用した。測定した膝角度は屈曲 $20^{\circ}$ 、 $40^{\circ}$ 、 $60^{\circ}$ 、 $80^{\circ}$ の4角度で、測定順序はすべてランダムとした。筋電波形は $20 \mu V$ を超えた時点、トルクは $0.25 Nm$ を超えた時点をそれぞれの立ち上がり時間と決めた。トルクおよび各種時間の測定精度は $0.025 Nm$ 、および1 msecであった。

各膝角度におけるPTとEMD、PTT、TPTTの関係およびEMDとPTT、TPTT、MD、MDTとの関係には相関係数を求め、相関係数 $\pm 0.5$ 以上を相関ありとした。EMDと競技種目との関係、%PTTと競技種目との関係には1元配置分散分析を行い、各因子間検定にはFisher法を用いた。

## 結 果

### 1. PTとEMD、PTT、TPTTの関係

膝 $20^{\circ}$ 、 $40^{\circ}$ 、 $60^{\circ}$ 、 $80^{\circ}$ におけるPTとEMD、PTT、TPTT

間の相関行列の一覧を表1に示した。膝20°の伸筋と屈筋におけるPTとEMD間には、PT値が増加するとEMD値が減少する弱い負の相関が認められたが、他のPTとPTT、TPTT間あるいは膝20°、60°、80°のPTとEMD、PTT、TPTT間には相関は認められず、PTの大小によりEMD、PTT、TPTTが短縮あるいは延長するという関係はほとんど認められなかった。

## 2. EMDとPTT、TPTT、MD、MDTとの関係

40°伸筋と60°伸筋のEMDとMD間に弱い負の相関および80°伸筋のEMDとMDT間に弱い正の相関が認められた。しかし、ほとんどの膝角度において、表2に示すようにEMDとPTT、TPTT、MD、MDT間には相関が認められなかった。

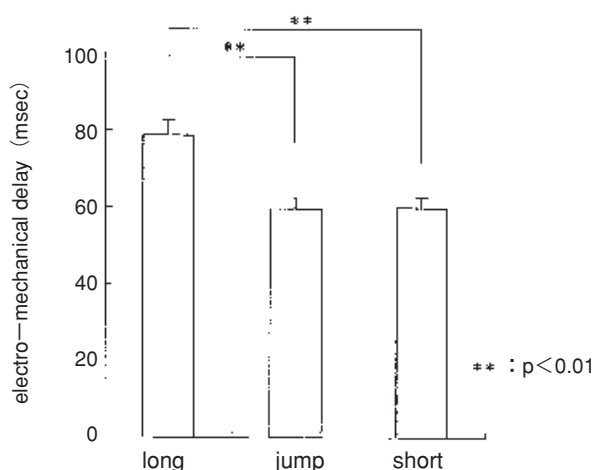


図3 20°伸展におけるEMDと競技種目の関係 (n=60)  
長距離 (long), 跳躍 (jump), 短距離 (short), 以下同様とする。

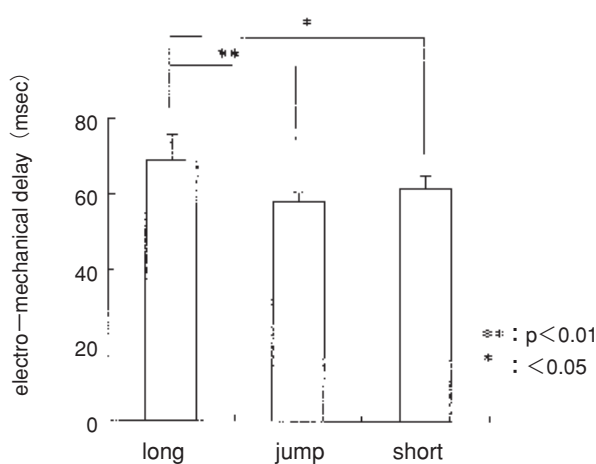


図4 20°屈曲におけるEMDと競技種目の関係 (n=60)

## 3. EMDと競技種目との関係

膝伸筋の膝屈曲角度20°におけるEMDと競技種目との間に有意差が認められ (p<0.001)、短距離と跳躍選手のEMDが長距離選手よりも短かったが、短距離選手と

跳躍選手間には差が認められなかった (図3)。40°、60°、80°におけるEMDと競技種目との間にも有意差が認められ (p<0.001, p<0.005, p<0.005)、短距離と跳躍選手のEMDが長距離選手よりも短かった。

図4に示すように膝屈筋の膝屈曲角度20°におけるEMDと競技種目間には有意差が認められ (p<0.01)、20°と同様に40°、60°、80°におけるEMDと競技種目との間にも有意差が認められた (p<0.05, p<0.005, p<0.01)。

## 4. %PTTと競技種目との関係

膝伸筋の膝屈曲角度20°における%PTTと競技種目の間に有意差が認められ (p<0.01)、多重比較では、跳躍選手、短距離選手が長距離選手よりも筋力の立ち上がり急であったが (p<0.001, p<0.005)、跳躍選手と短距離選手間には有意差は認められなかった (図5)。40°、60°、80°でも%PTTと競技種目間に有意差が認められ (p<0.001, p<0.05, p<0.05)、すべての角度で跳躍・短距離選手が長距離選手よりも短縮していたが、跳躍・短距離選手間には有意差が認められなかった。各%PTT間でも跳躍・短距離と長距離間の多くで有意差が認められた。

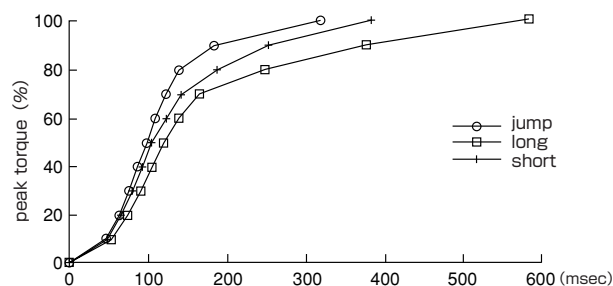


図5 各種競技における相対筋力と発生時間の関係 (膝20°伸筋)

膝20°での筋力の立ち上がりは長距離選手よりも跳躍選手、短距離選手で急速で、40°、60°、80°でもすべて同じ結果を示した。跳躍選手と短距離選手間には差が認められなかった。

膝屈筋の膝屈曲角度20°における%PTTと競技種目との間に有意差が認められ (p<0.05)、跳躍・短距離選手が長距離選手よりも短かったが、跳躍選手と短距離選手間には有意差は認められなかった (図6)。

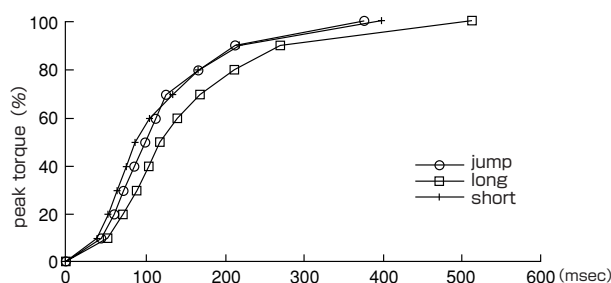


図6 各種競技における相対筋力と発生時間の関係 (膝20°屈曲)

20°での筋力の立ち上がりは長距離選手よりも跳躍選手、短距離選手で急速であったが、40°、60°、80°では種目間に差が認められなかった。

しかし、40°、60°、80°における%PTTと競技種目との間には統計的に有意差は認められず、跳躍・短距離・長距離選手間に力の立ち上がり時間に差異は認められなかった。

5. %PTTにおける屈筋・伸筋特性

20°、40°における屈筋・伸筋の%PTTには統計的に有意差は認められず、屈筋・伸筋間の力の立ち上がり時間に差異は認められなかった。膝60°、80°位において屈筋と伸筋間に有意差が認められ、屈筋が伸筋より立ち上がり時間が短かった。屈筋は筋長が長くなるに従い%PTTは短縮するか変化しなかったが、伸筋は20°屈曲位が他の角度より最も速い%PTTを示した。

表1 膝伸筋・屈筋における関節角度別の最大筋力と筋力発生時間の相関関係

	関節角度	EMD	PTT	TPTT
伸展 PT	20°	-0.460	-0.309	-0.254
	40°	-0.539***	-0.255	-0.245
	60°	-0.461	-0.048	0.189
	80°	-0.372	0.073	0.058
屈曲 PT	20°	-0.258	-0.136	-0.047
	40°	-0.545***	0.077	0.027
	60°	-0.457	0.067	0.154
	80°	-0.466	-0.196	0.062

(\*\*\* p < 0.005)

PT：最大筋力、EMD；筋電発生から筋力出現までの時間の差分、PTT；筋力発生より最大筋力発生までの時間、TPTT；ランプ点灯から最大筋力発生までの時間

表2 膝伸筋・屈筋における関節角度別のEMDと筋力発生時間・筋力変化の相関関係

	関節角度	PTT	TPTT	MD	MDT
伸展 EMD	20°	0.410	0.288	-0.347	0.234
	40°	0.468	0.234	-0.532***	0.375
	60°	0.189	0.039	-0.532***	0.446
	80°	0.260	0.098	-0.399	0.547***
屈曲 EMD	20°	0.0856	0.113	-0.141	0.248
	40°	0.027	0.071	-0.479	0.064
	60°	0.154	0.052	-0.315	0.298
	80°	0.062	-0.046	-0.376	0.234

(\*\*\* p < 0.005)

PTT；筋力発生より最大筋力発生までの時間、TPTT；ランプ点灯から最大筋力発生までの時間、MD；トルクの立ち上がり時期における最大筋力変化率、MDT；筋力出現からMD到達時間

考 察

McNairら<sup>12)</sup>はEMDと筋力変化率との間に負の相関が認められたとし、Viitasaloら<sup>7)</sup>はEMDと等尺性最大筋力との間に負の相関が認められたという、EMDと最大筋力との相関を肯定する報告を行った。一方で、Bellら<sup>13)</sup>は男性・女性のそれぞれについて、筋力の強いグループと弱いグループに分け、EMDとの関係を見ると、各グループ間に差異は認められなかったとし、筒井ら<sup>14)</sup>も求心性、遠心性最大筋力とEMDの間に相関は認められなかったとした。このように負の相関があるという報告と相関は認められないという報告が存在し、統一した見解には至っていない。今回の実験結果では40°膝伸筋・屈筋のEMDとPT間には低い負の相関が認められたが、20°、60°、80°の伸筋・屈筋では相関が認められなかった。全体的には相関係数が-0.258から-0.545の負の関係で(表1)、統計的に有意差が認められた膝40°の相関係数は-0.539、-0.545と低く、そのほとんどは筋力が大きければEMDは短くなるという関係を示さなかった。EMDに対する筋力の影響は小さいことが解った。EMDは主に収縮要素が直列弾性要素を伸張する時に生じる力の立ち上がり時間と仮定すると、収縮要素とPT、非収縮要素とEMDの関連性が高いと考えられ、PTとは独立した筋機能評価としてEMDを考える必要があると考えらる。

また、合図に対する単関節の運動という単純な筋反応における最大筋力とTPTT、PTTとの間に特別な関連性を見出すことができなかった。筋力発生時間も最大筋力とは独立した筋機能を現すの一因子として考えることができる。一方、EMDとPTT、TPTTの間にも相関が認められなかった。最大筋力発生時間に関係すると考えられる因子間にも不明な点が多く、さらなる検討の必要性が示唆された。

Komiら<sup>12)</sup>は速筋線維とEMD、等尺性筋力との関係について検討し、速筋線維の割合が高いほどEMDは短縮するが、速筋線維の割合と等尺性最大筋力の間には相関がないか、あっても弱い関係であるとした。多くの報告があるように、跳躍や短距離選手の筋は瞬発力を発揮する速筋線維の割合が高く、長距離選手の筋は持久性に優れた遅筋線維の割合が高かった可能性が考えられる。この筋線維組成の違いにより跳躍や短距離選手のEMDが長距離選手より短くなった可能性が示唆された。また、単に筋線維組成の違いだけではなく、日常の訓練によってもEMDが変化し、筋力訓練によりEMDが短縮することより<sup>15)</sup>、跳躍、短距離、長距離競技種目に応じた訓練によって差異が生じた可能性も否定できない。

被検者の個人差から生じる筋力への影響を少なくする目的で、各個人の最大筋力を100%として基準化し相対筋力として現す%PTTにより競技種目特性を比較した。伸筋の%PTTと競技種目との間では有意差を認め、短距

離あるいは跳躍選手が長距離選手より%PTTが短かった。しかし、屈筋の%PTTと競技種目との間では20°以外の40°,60°,80°では有意差が認められなかった。EMDが筋の粘弾性の影響を受けやすい<sup>14)</sup>と考えられるのに対し、%PTTは筋の粘弾性や筋の容積の影響は少なく、収縮要素である筋線維組成の影響を受けやすいと考えられる。

我々<sup>16)</sup>は膝周囲筋の遠心性および求心性収縮における筋出力特性について、表面筋電波形の周波数分析を行った結果、伸筋は膝角度によって筋電の平均周波数が影響されるのに対し、屈筋は膝角度に影響されず高い周波数を維持したことを報告し、機能的要因の影響の可能性を示唆した。今回の実験から伸筋と屈筋の%PTTの比較で、伸展位では伸筋・屈筋の%PTTに差がなく、屈曲位では屈筋が伸筋より短かった。膝屈曲に作用する筋のほとんどは二関節筋であり速筋線維の割合が高いことより、膝屈筋は短時間に筋出力を高めるという機能を持ち、膝の静的・動的安定性に大きく寄与している可能性が考えられた。また、伸筋は膝伸展位で筋長が短くなり、筋の直列弾性要素による張力が低下するのにもかかわらず、20°屈曲位が最も速いPTTを示した。これは筋の生理学的特性とは反対の結果であり、機能的要因により生じている可能性が示唆された。

## 結 語

陸上部所属の成人男女60名を対象に、筋力発生の経時の変化と最大筋力、および競技種目との関係について検討した。

最大筋力と電気力学的遅延、最大筋力到達時間、最大筋力変化率時間とにほとんど相関は認められなかった。また、競技種目間で伸展・屈曲方向の電気力学的遅延と最大筋力到達時間との間に差異が認められ、跳躍・短距離選手が長距離選手より短かった。

電気力学的遅延など筋出力時間と最大筋力はほとんど相関せず、筋力発生時間は筋機能を表現する1尺度として評価する必要があることが示唆された。

## 文 献

- 1) Komi PV : Measurement of the force velocity relationship in human muscle under concentric and eccentric contractions. In Cerquighni S, Venerando A, Wartenweiler J (eds) : Medicine and Sport Series, Vol. 8, Biomechanics III, Karger, Basel, 1973, pp. 224-229
- 2) Komi PV : Physiological and biomechanical correlates of muscle function : effects of muscle structure and stretch shortening cycle on force and speed. In Terjung RL (ed) : Exercise and Sport Sciences Reviews. Am College Sports Med Series 12, D.C. Health and Company, Lexington, 1984, pp. 81-121
- 3) Bosco C, Komi PV, Ito A : Prestretch potentiation of human skeletal muscle during ballistic movement. Acta. Physiol. Scand. 111 : 135-140, 1981
- 4) Cavanagh PR, Komi PV : Electromechanical delay in human skeletal muscle under concentric and eccentric contractions. Eur. J. Appl. Physiol. 42 : 159-163, 1979
- 5) Muro M, Nagasaki A : The effects on electromechanical delay of muscle stretch of the human triceps surae. In Biomechanics IX-A, Winter DA et al. Champaign IL : Human Kinetic Publishers : 86-90, 1985
- 6) Norman RW, Komi PV : Electromechanical delay in skeletal muscle under normal movement conditions. Acta. Physiol. Scand. 106 : 241-248, 1979
- 7) Viitasalo JT, Komi PV : Interrelationship between electromyographic, mechanical, muscle structure and reflex time measurements in man. Acta. Physiol. Scand. 111 : 97-103, 1981
- 8) Grabiner MV : Bioelectric characteristics of the electromechanical delay preceding concentric contraction. Med. Sci. Sports 18 : 37-43, 1985
- 9) Vos EJ, Harlaar J, van Ingen Schenau GJ : Electromechanical delay during knee extensor contractions. Med. Sci. Sports 23 : 1187-1193, 1991
- 10) Horita T, Ishiko T : Relationships between muscle lactate accumulation and surface EMG activities during isokinetic contractions in man. Eur. J. Appl. Physiol. 56 : 18-23, 1987
- 11) Morris AF : Effects of fatiguing isometric and isotonic exercise on resisted and unresisted reaction time components. Eur. J. Appl. Physiol. 37 : 1-11, 1977
- 12) McNair PJ, Marshall RN : Response of hamstring muscles to a perturbation in people with chronic anterior cruciate ligament deficiency. Scand. J. Med. Sci. Sports 1 : 215-220, 1991
- 13) Bell DG, Jacobs I : Electro-mechanical response times and rate of force development in males and females. Med. Sci. Sports Exerc. 18 : 31-36, 1986
- 14) 筒井隆夫, 井原秀俊, 高柳清美 : 膝伸筋・屈筋のピークトルクと電気力学的遅延との関係. リハ医学 32 : 108-12, 1995
- 15) 井原秀俊 : 関節トレーニング. 改訂第2版 : 協同医書, 1996, pp. 153-190
- 16) 高柳清美, 井原秀俊, 吉村 理・他 : 膝伸筋・屈筋の遠心性および求心性収縮特性. 理学療法学 17 : 3-10, 1990

## Comparison of muscular power generating of knee flexor and extensor in track and field players

Kiyomi TAKAYANAGI<sup>1</sup>, Osamu YOSHIMURA<sup>2</sup>, Masahiro TAGUCHI<sup>3</sup>

Department of Physical Therapy, School of Health Sciences, Sapporo Medical University<sup>1</sup>

Institute of Health Sciences, School of Medicine, Hiroshima University<sup>2</sup>

Department of Sports Sciences, Fukuoka University<sup>3</sup>

### Abstract

The purpose of this study was to examine a relation among a muscular power, a muscular power generation and events for 30 women and 30 men which belonged a track and field club.

Peak torque (PT) during isometric contraction in knee flexor and extensor had no significant correlation with the electro-mechanical delay (EMD), a time from onset of torque to PT (PTT) and a time from a trigger of excise demand signal to PT (TPTT). EMD was no significant correlation with PTT, TPTT, a maximum torque differential (MD), and a time from the onset of torque to MD. We concluded that EMD is not an indicator of muscular power but an indicator of muscular contractile velocity. EMDs of sprinters and jumpers were statistically shorter than that of long distance runners. These result was suggested that EMD be decided by the muscle fiber formation and/or training method in each subject.

Key words : Muscle power, Electro-mechanical delay, Track and field events