

9 柔道選手における 拮抗筋支配の筋電図学的研究

体力医学研究所 増田 允
芝山 秀太郎
江橋 博

はしがき

柔道選手が各種の技を施している際の筋電図学的研究については、猪飼らの投技の報告⁽⁵⁾にはじまり、キネシオロジーの発達と相まって最近はかなり多くのものが見受けられるようになった。柔道においても、筋の働き、すなわち筋の収縮とそれともなう張力の発生とは科学的分析をすすめていく上に重要な手がかりとなるものである。しかし、柔道施技時の筋電図誘導は、激運動に耐える方法でなければならぬところから、表面電極法を用いることが多く、そのために活動筋群の検索を主眼とした研究が大多数を占めていた。近年になり筋力トレーニングの定性的な指標としての価値が見出されるようになり、P. V. Karpovich らがこの面からの接近をはかっている⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。

表面電極法による筋電図記録から現象面への考察をすすめていくためには、柔道ばかりでなく随意運動に共通することではあるが、統合された柔道施技時の解析とならんで、単純化された身体運動時の解析が必要であろう。

そこで著者らは、最も単純化された動作をとり出して筋電図を記録し、柔道ひいては随意運動一般にたいする研究のいとぐちにしようとした。このような考えに立つ研究は、従来からもいくつか見受けられるが⁽¹⁾⁽⁴⁾⁽⁷⁾、著者らはこれを筋力発揮を支配する拮抗筋作用について考える資料とした。この研究はその第一報である。

柔道のような随意運動は、簡単な筋収縮の集合体と考えることができ、そのかぎりでは通常の骨格筋の性質をそのまま表すものといえよう⁽⁸⁾。A. V. Hill はカエルの縫工筋について実験を行ない、筋収縮の力と速度に関して一つの特性式を得ている⁽³⁾⁽¹²⁾。すなわち力-速度関係は直角双曲線を満足するので、たとえば筋が大きな仕事をするには、大きい抵抗のある低速度収縮の場合に限られる。

このように、骨格筋にはその固有の性質が存在するが、柔道のような随意運動においては、この筋の固有の性質がそのままのかたちで表現されるわけではない。大脳皮質運動領を中心とする中枢神経系の活動によって興奮水準が上昇するのは motor unit (運動単位) であって、大筋群の活動は、参加する motor unit の数とその発射頻度によって決定される。

したがって随意運動の主体をなす主働筋の活動は、多く筋固有の性質によるものと考えられるが、これと対応する拮抗筋の活動は、むしろ中枢神経系によるものと考えてもよいのではなかろうか。そこで、筋力発揮にともなうこの相互拮抗作用が、どのようなかたちで表われるかを、単純化した身体運動のパターンから類推してみようと考えた。

実験方法

柔道選手における筋力発揮の様相を観察するには、先にも述べたように動作を単純化して、活動

筋群を限定してみると考察をすすめやすい。そこで被検筋を右上肢にとり、肘関節部での伸展動作と屈曲動作をとりあげてみた。

被検者には実験室内で安静座位をとらせ、右上肢は肩関節の位置で水平にのばし、ストレインゲージを装着した横木の上に置いた。筋の活動電流は表面電極法により誘導した。誘導の部位は、主要な役割を演ずる上腕三頭筋と上腕二頭筋のほか、前腕部の尺側手根伸筋および橈側手根屈筋をえらんだ。電極は直径10mmの凹形カップ状の銀円板電極を用い、筋腹中央部で筋線維の走行に沿い、3 cm 間隔で絆創膏により固定した。

記録には日本光電製の8チャンネル型インク書きオシログラフを使用し、上記の筋電図4誘導のほか、上腕三頭筋および上腕二頭筋の各筋電図積分曲線、ストレインゲージの張力変化による動作曲線および胸骨誘導による心電図を同時に記録した。

被検者には固定された横木にたいして、肘関節を支点として、等尺性に伸展あるいは屈曲の動作を行なわせた。動作の型としては、

- (1) 筋力発揮を最大努力で行なわせる場合。
- (2) スピードを要求し瞬発的に最大筋力の発揮を行なわせる場合。
- (3) 筋力発揮の要素を最小限にとどめて任意にできるだけ早く伸展あるいは屈曲動作を行なわせる場合。
- (4) 被検者の随意により筋力発揮を行なわせる場合。

の4種類について計画した⁽⁹⁾。

被検者には柔道歴8～9年という現役の大学柔道部選手2名をえらんだ。いずれも実験当時三段を有し、十分な鍛練者であった。被検者の選択にあたっては、筋力を中心とする各種の基礎体力を測定し、また血圧、心電図、胸部X線撮影、尿検査など内科的診察をも行なって、解析の参考とした。

実験は1971年9月から1972年3月にわたり体力医学研究所で行なわれた。

結果と考察

1. 筋力発揮を最大努力で行なわせた場合の成績

この実験条件は、力の因子に主眼をおき、被検者に最大努力で上肢の伸展または屈曲動作を随意に行なわせた場合で、そのパターンを示すと図1のようになる。図は上から刻時(一秒)、上腕三頭筋(主働筋)筋電図、上腕二頭筋(拮抗筋)筋電図、尺側手根伸筋筋電図、橈側手根屈筋筋電図、主働筋筋電図の積分曲線、拮抗筋筋電図の積分曲線、胸骨誘導心電図、動作曲線(上向きは伸展動作)をそれぞれ表わしている。

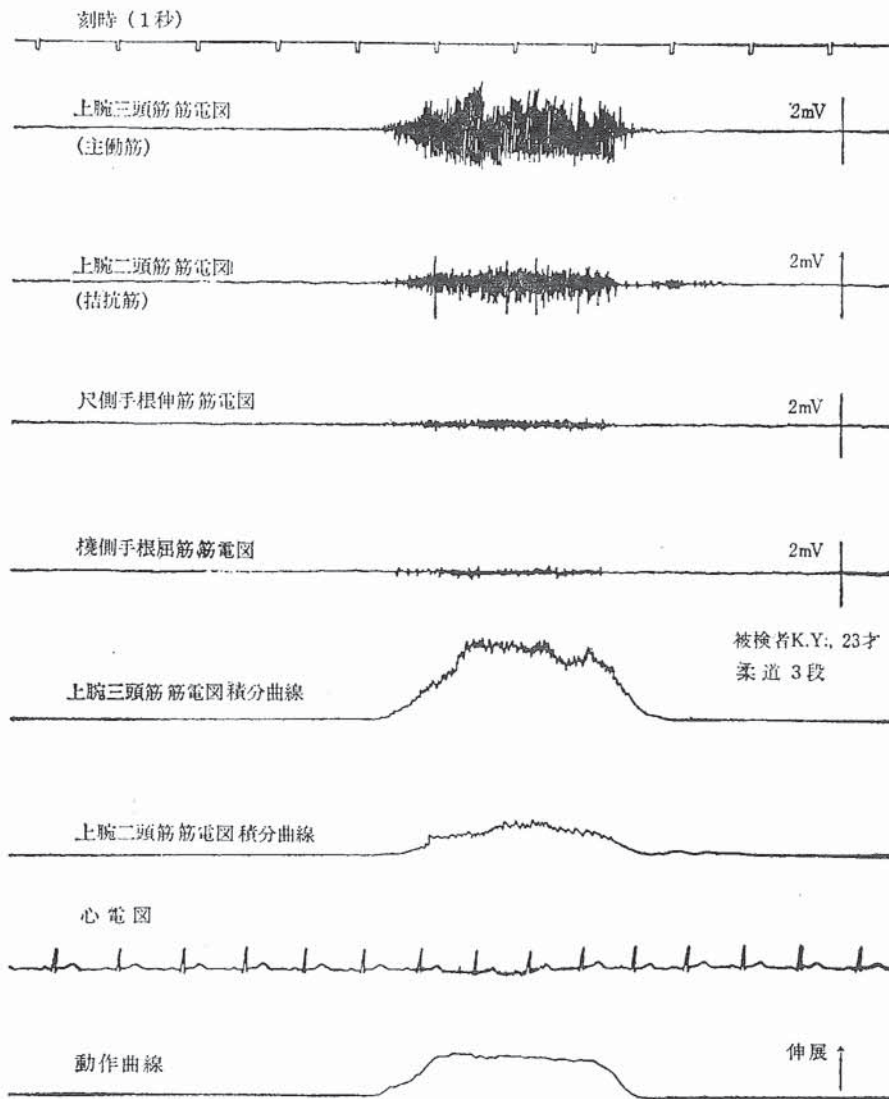
図にあるように伸展動作を最大努力で行なわせると、主働筋である上腕三頭筋はもちろん、拮抗筋である上腕二頭筋からも、かなりの量の放電が記録されている。このような筋電図記録は、上肢を肘関節で150°から40°へ伸展させていくときに表われることが、M. Singhらにより報告されている⁽⁴⁾。

主働筋がはたらくときに拮抗筋も同時にはたらくことは一見矛盾しているように思われるが、しかし、最大筋力発揮のためには、むしろ拮抗筋も放電を大きくして、主働筋に抵抗を与えてやる方が収縮速度が小となり、外部に表われる仕事は大きくなるのではないかと考えられる。

2. スピードを要求し瞬発的に最大筋力の発揮を行なわせた場合の成績

この実験条件は、動作速度に主眼をおき、被検者にできるだけ早く上肢の伸展あるいは屈曲の動作を行なわせた場合で、いわば瞬発的な最大筋力の発揮を求めたものである。このパターンを示すと図2のようになる。

図1 筋力発揮を最大努力で行なわせた場合

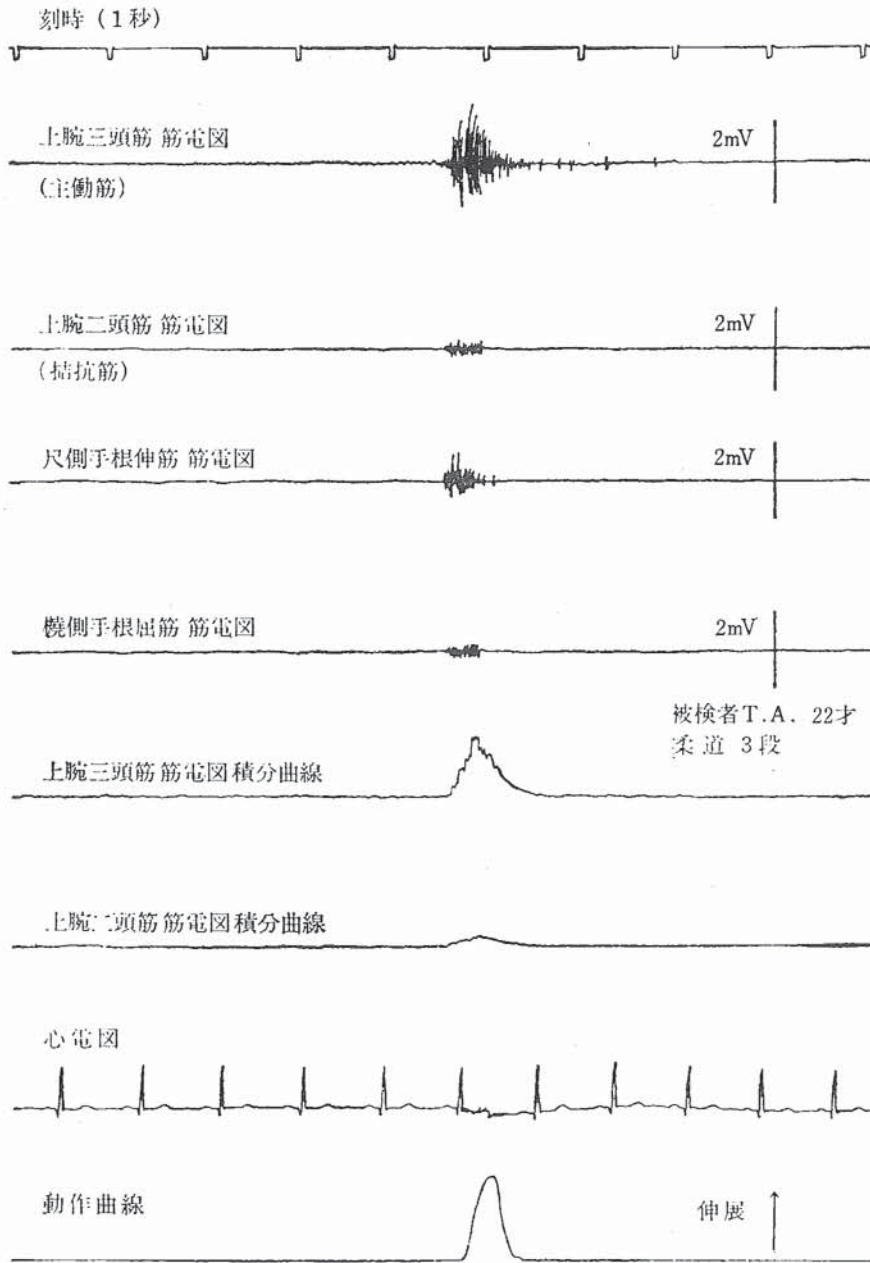


このような条件下にあっては図にあるように、主働筋の放電量にたいして拮抗筋のそれは5分の1またはそれ以下であった。猪飼、金子ら⁽⁶⁾⁽⁸⁾は瞬発力(パワー)は力でいえば最大筋力の約35%、スピードも最大収縮速度のやはり約35%で最大パワーが得られると報告しており、これを考慮に入れると、拮抗筋の放電がまったく0にはならないこともうなづけるように思われる。

3. 筋力発揮の要素を最少限にとどめて任意にできるだけ早く伸展あるいは屈曲の動作を行なわせた場合の成績

この実験条件では、最大努力による筋力発揮は求めないが、被検者の任意の筋力をできるだけ敏速に発揮するよう指示した場合で、そのパターンを図3に示した。

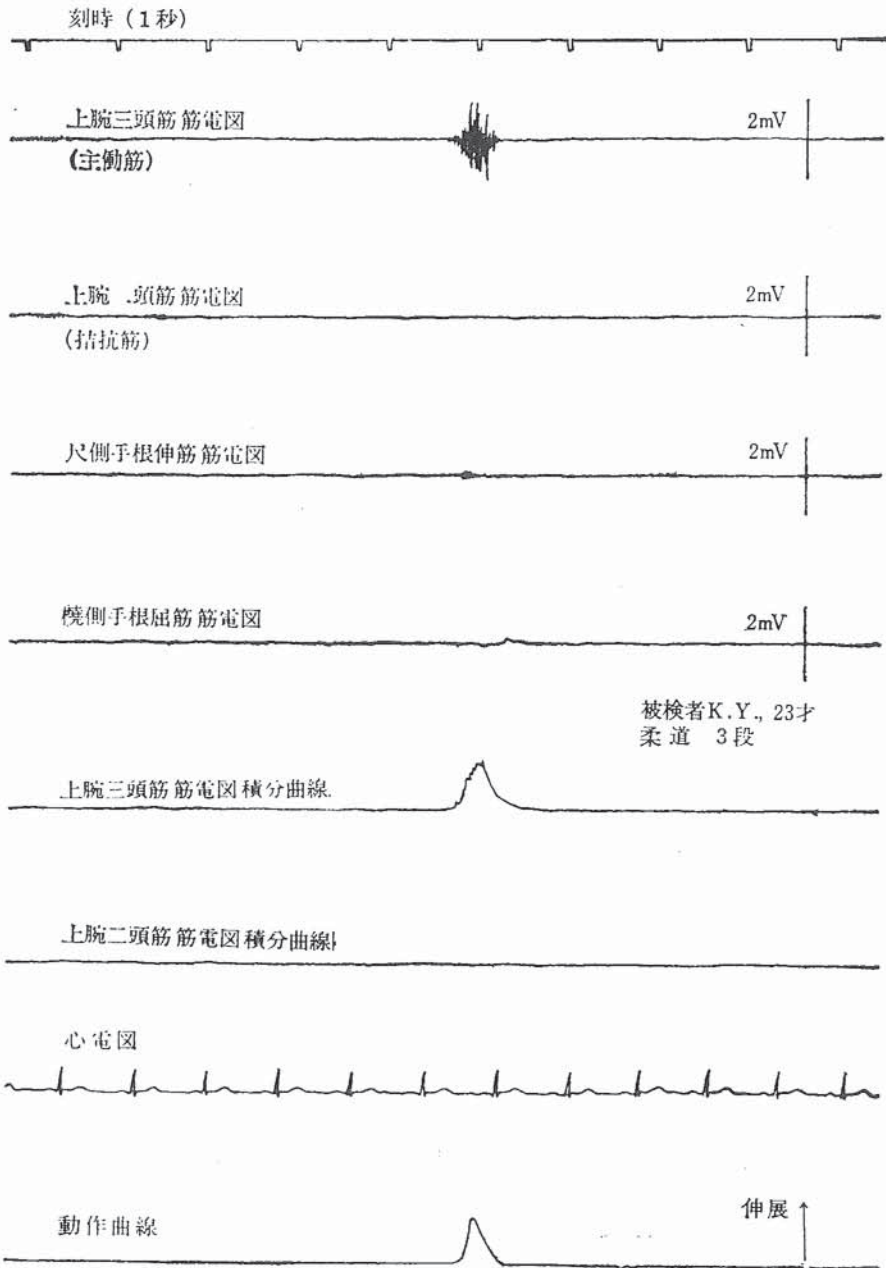
図2 スピードを要求し瞬発的に最大筋力の発揮を行なわせた場合



こうした条件下では図のように主働筋にのみ筋放電があらわれ、拮抗筋には筋電図の出現が認められない。このような相反的な神経支配のパターンは、拮抗筋が主働筋のはたらきを減じないということを示し⁽⁴⁾⁽¹¹⁾⁽¹²⁾、筋の収縮力と収縮速度の関係を論じた A. V. Hill の特性式とも矛盾しないものである。

以上の実験成績を要約すると、柔道のような随意運動の発現に際しては、筋固有の性質を考慮し

図3 筋力発揮の要素を最小限にとどめて任意に出来るだけ早く伸展動作を行なわせた場合



被検者K.Y., 23才
柔道 3段

て、発揮された力と運動の速度との二つの因子に着目の要がある。そこでこれを筋の活動電流から観察してみると、運動に際し、力の因子を主として要求される場合には、主動筋同様、拮抗筋にも筋放電が大きく表われ、速度の因子が強く要求される場合は拮抗筋の放電が認められないということが示された。

すなわち、ひとくちに随意運動といっても主動筋に対応する拮抗筋が、同時に筋放電を示す場合

とそうでない場合とに分けられ、拮抗筋の放電も大きい場合はちようど主働筋にたいしてマイナスの抵抗を加えて収縮速度を低下させ筋力発揮を大とする効果を与えている。一方、拮抗筋の放電がゼロかまたはゼロに近い場合は、結果として出力は小さくても主働筋の収縮速度を大とする効果を与えている。

このような拮抗筋支配をつかさどるものは先にはしがきでも述べたように、随意運動を規定する中枢神経系の因子と考えられる。柔道にみるような随意運動は、したがって、主働筋の示す筋固有の性質にたいし、拮抗筋群が中枢神経系の精緻なコントロールを受けて対応していると考えられる。

ま と め

柔道においても他の一般の随意運動におけると同様に、筋のはたらき、すなわち筋の収縮とそれにとまらぬ張力の発生とは、科学的分析をすすめていく上に重要な問題である。これを追求する方法として筋電図の記録が行なわれているが、従来からの統合された柔道施技時の解析とならんで、単純化された身体運動時の解析も必要であろう。このような考えから、著者らは最も単純化された動作をもとに、筋力発揮を支配する拮抗筋作用について考えてみようとした。

被検者には柔道歴8～9年の現役の大学柔道部選手2名をえらんだ。いずれも三段である。実験は安静座位をとらせた被検者の右上肢の随意運動とし、肘関節部での伸展動作と屈曲動作について表面誘導法による筋電図を記録した。

その結果、次のような成績を得た。

- (1) 力の因子に主眼をおき、筋力発揮を最大努力で行なわせた場合、主働筋の筋電図は最大となったが拮抗筋からもかなりの量の筋放電が記録された(図1)。
- (2) 動作速度に主眼をおき、スピードを要求して瞬間的に最大筋力の発揮を行なわせた場合、主働筋の放電量にたいし拮抗筋のそれは1/5またはそれ以下であった(図2)。
- (3) 筋力発揮の要求を最小限にとどめて任意にできるだけ早く伸展あるいは屈曲動作を行なわせた場合、主働筋にのみ筋放電があらわれ、拮抗筋には筋電図の出現が認められなかった(図3)。

以上の実験成績から、柔道のような随意運動の発現に際しては、筋固有の性質から、発揮された力と運動の速度との二つの因子につき着目の要がある。力の因子を主として要求される場合には主働筋同様、拮抗筋にも筋放電が大きく表われ、主働筋にたいしてマイナスの抵抗を加えて収縮速度を低下させ筋力発揮を大とする効果を与えている。一方、速度の因子が強く要求される場合は拮抗筋の放電がゼロかまたはゼロに近く、結果としての出力は小さくても主働筋の収縮速度を大とする効果を与えている。

このような拮抗筋支配をつかさどるものは随意運動を規定する中枢神経系の因子と考えられ、主働筋の示す筋固有の性質にたいし、拮抗筋群のコントロール作用が考えられる。

参 考 文 献

- (1) Bierman, W. et al. (1948) Electromyography in kinesiologic evaluations. Arch. Phys. Med. 29, 206—211.
- (2) Doss, W. S. et al. (1965) A comparison of concentric, eccentric, and isometric strength of elbow flexors. J. Appl. Physiol. 20 (2) 351—353.
- (3) Hill, A. V. (1926) Muscular activity. The Williams & Wilkins Co., Baltimore.
- (4) 猪飼道夫他 (1952) 腕の部分的弛緩の筋電図学的研究, お茶水女大自然科学報3, 92—96.
- (5) 猪飼道夫他 (1963) 柔道投技の筋電図学的研究, 講道館紀要2, 81—89.

- (6) 猪飼道夫他 (1965) パワー (瞬発力) の研究, 体育の科学 15 (10) 571—576, 15 (11) 634—639.
- (7) Inman, V. T. et al. (1952) Relation of human electromyogram to muscular tension. *Electroencephal. Clin. Neurophysiol.* 4 (2) 187—194.
- (8) 金子公宥 (1970) 筋収縮の力・スピード・パワー, 体育の科学 20 (6) 368—373.
- (9) 増田允他 (1969) 筋力発揮と呼吸の位相の関連, 体力研究 16, 12—19.
- (10) 名取礼二 (1966) 骨格筋の生理学, 藤森聞一編「運動系の生理学」生理学大系 7, 1—25. 医学書院, 東京.
- (11) Rasch P. J. et al. (1961) The effect of isometric exercise upon the strength of antagonistic muscles. *Int. Z. angew. Physiol.* 19 (1) 18—22.
- (12) 渡川侃二 (1969) 運動力学, 大修館書店, 東京.
- (13) Singh, M. et al. (1966) Isotonic and isometric forces of forearm flexors and extensors. *J. Appl. Physiol.* 21 (4) 1435—1437.
- (14) Singh, M. et al. (1967) Effect of eccentric training of agonists on antagonistic muscles. *J. Appl. Physiol.* 23 (5) 742—745.
- (15) Singh, M. et al. (1968) Strength of forearm flexors and extensors in men and women. *J. Appl. Physiol.* 25 (2) 177—180.
- (16) 渡辺俊男 (1970) リラクセーション, 不昧堂出版, 東京.
- (17) Yamshon, L. J. (1948) Kinesiological electromyography. *Arch. Phys. Med.* 29, 647—651.