

神経筋機能からみた優秀スポーツ選手の早期 発掘の試み

名古屋大学 矢部 京之助
総合保健体育科学センター
(共同研究者) 同 桜井 伸二
三重大学 脇田 裕久

Measuring Early Detection of Elite Sportsman Associated with Neuromuscular Function

by

Kyonosuke Yabe and Shinji Sakurai
*Research Center of Health,
Physical Fitness and Sports, Nagoya University*
Hirohisa Wakita
Faculty of Education, Mie University

ABSTRACT

The interrelation between excitation and inhibition during voluntary movements plays a major role in the mechanism of motor control. The focus of many studies has been on inhibitory phenomenon during voluntary movement which seemed to be one of the fundamental mechanisms in skilled acts. The present study was designed to investigate early detection of elite sportman associated with neuromuscular function.

It has been observed that the premotion silent period (PSP) appears just before a rapid voluntary movement. In the present study, the relationship between the degree of experience in the sports and the rate of appearance in the PSP was investigated on 56 healthy subjects ranging in ages from 18 to 23 years old. The subject was requested to extend his elbow joint responding to a flashing lamp as quickly as possible. The EMG activities of triceps and biceps brachii were recorded by bipolar surface electrodes, and the mechanical response was simultaneously recorded. It was found that the rate of appearance in PSP on

sportsman group (kendo, track & field, tennis, soccer and baseball players) was relatively higher than untrained group. There was no difference between trained group and untrained group in the premotor time, motor time and peak force. It was suggested that the appearance of PSP indicated basic mechanism in the development of motor control of sportsman.

要 旨

随意動作における興奮と抑制のかかわりあい、運動制御の機序に重要な役割を果たしている。多くの研究は、巧み性に富んだ動作の基礎的な機序のひとつとして動作における抑制現象に焦点を当てている。本研究は神経筋機能からみた優秀スポーツ選手の早期発掘を検討しようとするものである。

敏捷な動作の直前に動作前休止期 (PSP) がみられる。スポーツ経験と PSP 出現率の関係を18~23歳の健常者56名について調べた。光刺激に対してできるだけすばやく肘関節伸展動作を指示した。筋電図は上腕三頭筋と二頭筋から表面双極法によって導出し、同時に動作曲線も記録した。

その結果、スポーツ選手群 (剣道、陸上競技、テニス、サッカー、野球) のPSP出現率は非スポーツ選手群より高い。両群の間の動作開始時間、動作時間、発揮筋力に差がみられない。したがって、PSP はスポーツ選手の運動制御発達の基本機序を表わすものと推察される。

緒 言

随意動作における興奮と抑制のかかわりあい、動作の調整能力や協調性の指標を表わすものであり、なかでも抑制機構の果たす役割はきわめて大きい。あらかじめ主動筋に軽度の随意的な緊張を与えた状態から、急速に随意的な反応動作をおこすと、動作に先行して主動筋に一過性に筋放

電の休止期が出現する。この動作前の抑制現象、(premotion silent period, PSP) の役割は、つづいておこる筋収縮の速さ、強さに関係が深く、パフォーマンスをたかめることに役立っている^{1,2)}。

この現象の特徴は、随意動作にみられること、相動性放電をおこす直前に出現するという点である。しかも、この随意動作に先行して出現するPSPは、敏捷な動作にすぐれた者の方が、そうでない者よりも容易に観察されることから随意動作の巧拙との関連性が示唆される。

脇田たち³⁾によれば、スポーツ経験の長い者ではスポーツ経験の短い者にくらべて高いPSP出現率をしめすという。この動作直前の抑制現象の背後にあると推察される神経系の切り換え機構を制御する能力は、スポーツ経験といった後天的要因と遺伝などの先天的要因によって決定される可能性が考えられる。

本研究は、優秀スポーツ選手の適性を幼少年期に見い出す方法の開発を目的としている。その第一歩としてスポーツ種目別にPSPの出現および動作開始時間、動作時間、発揮筋力について検討する。

実験方法

本実験では、光刺激 (クセノンランプ) に応じて、できるだけすばやく肘関節を伸展させる単純反応動作を行なった。被検者には椅座位姿勢をとらせ、肩関節を45度、肘関節を60度屈曲させ、前

腕を回外位にして前面の手首支持台にのせるように指示した。手首支持台の高さは、移動可能であり、被検者の座高にあわせて調節した。手首支持台にはストレインゲージを貼布して準備姿勢時と反応動作時の歪圧変化を記録した。準備姿勢時の筋力は、被検者の前方1メートルに設置した筋力指示器によって表示し、準備姿勢時に発揮する筋力を制御した。筋電図は、左右上腕三頭筋および上腕二頭筋から表面双極法によって導出した(図1)。

実験手順はつぎの通りである。被検者の右肘関節を最大努力で、2回伸展させ、発揮された大きい方の値を最大筋力として採用し、最大筋力の15~20%の筋力を算出して準備姿勢時の筋力とした。被検者の「用意」の合図とともに両肘関節を伸展させ、2~5秒後に光刺激が与えられ、この刺激に応じてできるだけすばやく一側肢(右)の肘関節を伸展させた。試行回数は、5回の練習の後に50回実施した。力曲線の分析は、i) 動作開始時間(光刺激が与えられてから力曲線の立ち上がりまでの時間, premotor time), ii) 動作時間(力曲

線の立ち上がりからその頂点までの時間, motor time), iii) 発揮筋力(力曲線の頂点の筋力, peak force)に分類して処理した。被検者は、18~23歳の右手利きの男子大学生であり、同一種目を5年以上にわたって実施している者で、剣道11名、陸上競技10名、テニス6名、サッカー7名、野球10名、対照群として一般学生12名の計56名である。

実験結果

1) 動作前 silent period の出現率

あらかじめ肘関節伸展動作の主動筋である上腕三頭筋に軽い緊張を加えた状態から、光刺激に応じて一側肢の肘関節伸展動作を起こすと、伸展動作をおこすまでみられた持続的な筋放電が一過性に停止する(図2)。つづいて主動筋の相動性放電が出現する。

右肘関節伸展動作における右上腕三頭筋のPSP出現率の平均値は、剣道が15.0%、陸上競技とテニスが22.4%、サッカー27.7%、野球26.0%、これに対して対照群の一般学生は11.5%である。サ

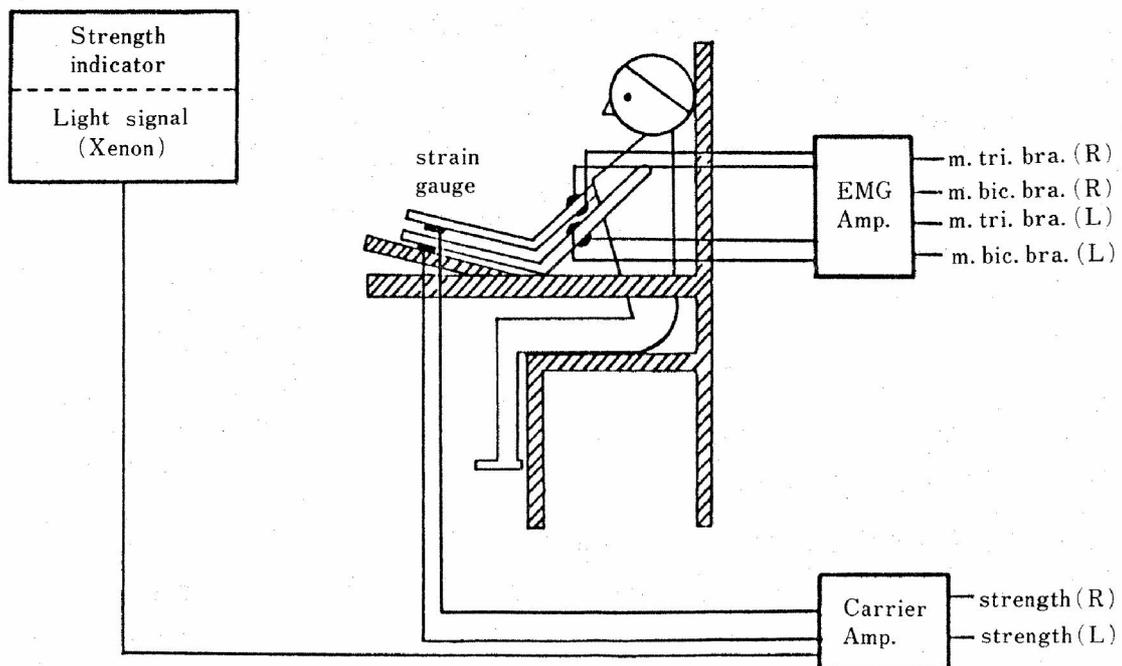


図1 実験装置の模式図

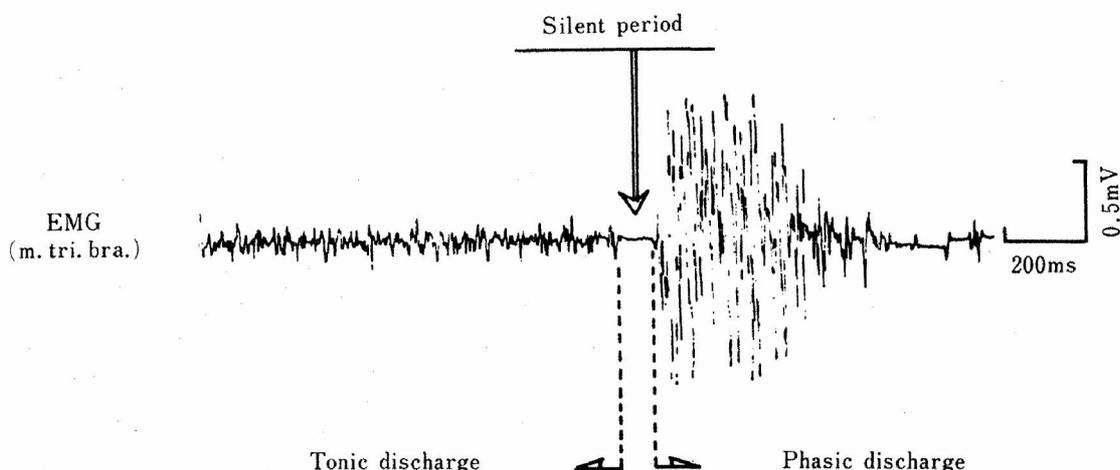


図2 動作前Silent periodの典型例

表1 スポーツ種目別にみた動作前抑制現象の出現率と動作曲線の特徴

	PSP 出現率 (%PSP)	動作開始時間 (msec)	動作時間 (msec)	発揮筋力 (kg)
剣道 (11)	15.0±14.63	189±33.7	100±19.5	12.3±3.28
陸上競技 (10)	22.4±17.56	208±29.7	100±23.0	11.6±3.00
テニス (6)	22.4±26.55	190±24.5	104±9.5	10.1±3.55
サッカー (7)	27.7±31.15	226±21.9	95±16.8	8.9±3.66
野球 (10)	26.0±17.98	221±36.1	106±34.2	11.3±3.66
非鍛練者 (12)	11.5±4.34	219±26.4	103±26.6	11.1±4.34

サッカー、野球の出現率が高く、一般学生はもっとも低い(表1)

2) 動作開始時間

光刺激が与えられてから力曲線の立ちあがるまでの動作開始時間の各グループの平均値は、剣道(189 msec)とテニス(190 msec)がもっとも早く、サッカー(226 msec)がもっとも遅い(表1)。

3) 動作時間

力曲線の立ちあがりからその頂点までの動作時間の平均値は、サッカー(95 msec)がもっとも短く、野球(106 msec)が長い。しかし、グループ間のばらつきは動作開始時間に比して少ない傾向である(表1)。

4) 発揮筋力

力曲線の頂点時の発揮筋力の平均値は、サッカー(8.9kg)がもっとも低く、剣道(12.3kg)がもっとも高い値である(表1)。

考 察

主動筋に軽度の随意的な緊張を与えた状態から急速に反応動作をおこすと、動作に先行して主動筋に筋放電の休止期(PSP)が出現する。この現象は、上肢と下肢の同時伸展動作を行なった際にも、上下肢ともに観察され、脊髓全体の同時抑制と報告されている¹¹⁾。主動筋のPSP出現時と同時期に拮抗筋にも同様な現象が認められることか

ら、この現象は相反性神経支配によるものでないことが確認されている。

Gatev³⁾は、乳幼児の上肢屈伸動作にも PSP の出現を観察（約10%）し運動制御における最終的な発達段階であるとのべている。脇田たち⁷⁾は運動部所属経験年数と PSP の出現率を比較し、平均値的には運動部経験年数の増加に伴って PSP 出現率が増加することを報告している。

本実験で用いた運動部経験者の出現率は剣道の15%がもっとも低く、一般学生の12%や一般成人の14%とほぼ同じ値といえる¹¹⁾。他のスポーツ群は22~28%に分布し、対照群の一般学生や一般成人の値を上回っている。剣道は動作開始時間が実験群のなかでもっとも短かく、しかも発揮筋力ももっとも高い。剣道の被検者は、光刺激に対してできる限りすばやく反応するように努め、しかも筋収縮速度を増大するように努力した結果といえよう。

PSPの発現機序は、alpha-gamma linkageで行われている静的な準備姿勢から急速な alpha 運動経路のみの筋収縮に移行する神経系の切り換え機構に求められている⁹⁾。したがって被検者が、動作開始時間の短縮に注目し、急速な alpha 運動経路のみの筋収縮に移れない場合は PSP の出現が抑えられることになるろう。

川初は⁹⁾、鍛練者の PSP 持続時間が非鍛練者に比較して短いのは、動作の切り換えに要する上位中枢内で消費される時間が短いためと推察している。笠井たち⁵⁾は、7~15日間のトレーニング前半に PSP の出現頻度が増大し、後半に著しく減少することを報告している。この PSP 出現率の減少については、PSP 持続時間も急速に短縮していることから、動作の敏捷な切り換えが可能になった者では、最終的には中枢内で消費される時間がゼロ近くになり、PSP の出現がみられなくなることも考えられる。動作の開始を短縮するように動作をおこした場合には、PSP 出現が抑制され

ることになるろう。

したがって、剣道では相手の動きに応じてすばやく剣を動かすトレーニングをしていることから、動作開始時間も他のスポーツ種目の者よりも短かく、動作の切り換えに要する時間が短かく、PSP の出現率も比較的スポーツ群のなかでは低いものとしたと考えられる。

一方、PSP の出現は、刺激から動作開始までの時間を短縮することに関与するのではなく、むしろ反応動作の決断が下されたならば、すばやく筋収縮を高めることに関与している¹⁾。筋の収縮速度が比較的小さい場合には、動作をおこすための同期性放電に集中性を欠き、比較的速い場合には集中性があることから、筋収縮の速い場合の方が PSP の出現が容易である。また、動作曲線の立ち上がり角度から観察した場合、この角度が大きい場合の方が小さい場合よりも同期性放電に集中性があり、PSP の観察は容易である。

片まひ、脳性まひなどの中枢性運動障害をもつ被検者を対象に加速度計を用いて PSP の出現を検討した結果、脳性まひと片まひの患側肢は、加速度も小さく、PSP の出現はみられない¹⁰⁾。これに対して健常者と片まひの健側肢は加速度も大きく、片まひ健側肢に22%のPSPが出現している。この値は一般成人の値（14%）よりも高く、一種の補償作用が寄与しているものと考えられる。

さらに脇田たちは⁹⁾、PSP の出現が反応動作に与える影響について観察し、PSP 出現の試行では、出現しなかった試行よりも動作開始時間、動作完了時間が遅延する反面、動作時間が短縮し、単位時間当たりの筋力上昇率が増加するという。これらの結果は、いずれも PSP の出現が筋収縮速度を高めることに関与していることを示唆している。このことから、筋収縮をすばやくおこし、しかも筋力を高めるトレーニングしているスポーツ種目ほど PSP の出現率は高くなるように思われる。

そこで本実験は、スポーツ種目の特性、すなわち剣道や野球のように、主として両手を使用する種目、テニスのように主として片手を使う種目、サッカーや陸上競技のように上肢を補助的に使う種目について比較することにした。しかし、つねに上肢の敏捷なトレーニングをしている剣道の

PSP 出現率は、非スポーツ群の一般学生のそれとほとんど差異がなく、そのうえ他のスポーツ種目よりもかなり低い値をしめしていた。サッカーや陸上競技のように上肢を補助的に使用するスポーツ種目でも他の種目と何らの差異もみとめられなかった。

この点に関して猪飼たちは⁴⁾、陸上競技のスタート動作時に上肢と下肢の筋群から PSP がほぼ同時に出現することを観察しており、PSP が脳幹・脊髄全体の同時抑制によるものとしている。上・下肢の同時伸展動作を行なった際に、上・下肢ともに PSP が出現し、しかも上肢から導出した PSP の出現時期は、下肢よりも平均値で約 16 msec 先行している。この差は上位中枢から筋放電を導する下肢までの距離の差によるものと考えられる¹¹⁾。

この結果は、上・下肢の筋がそれぞれ異なる脊髄分節から発する異なった運動神経に支配されているにもかかわらず上下肢ともほぼ同時に PSP が出現したことになる。PSP の出現が脊髄全体の同時抑制と考えるならば、スポーツの場面では剣道や野球などの種目では上肢が主として使用され、陸上競技やサッカーなどの種目では補助的に使用されるが、生体の運動制御からみれば、上・下肢とも同じように使用されており、陸上競技やサッカーの PSP の出現率が高く、剣道の出現率が低くても何ら不思議な現象ではない。

したがって、運動肢主動筋に出現する PSP は、それぞれのスポーツ種目のトレーニングの特性といった因子による影響ではないといえよう。むしろスポーツ群の PSP 出現率は非スポーツ群に比

して高い値をしめすことから、PSP の出現の有無によってスポーツ選手の神経筋機能を推測することが可能になるう。

結 語

反応動作の直前に出現する動作前抑制現象 (PSP) をスポーツ選手群と非スポーツ選手群 (18~23 歳, 56 名) について調べた。

その結果、スポーツ選手群の (剣道, 陸上競技, テニス, サッカー, 野球) の PSP 出現率は非スポーツ選手群より高い。しかし動作開始時間, 動作時間, 発揮筋力には差がみられない。したがって、PSP はスポーツ選手の神経筋機能からみた運動発達を推測することが可能である。

文 献

- 1) 青木久, 塚原玲子, 矢部京之助; 動作前 Silent period の動的筋力増強効果, 臨床脳波, **27**: 650—655 (1985)
- 2) Conrad, B., R. Benecke and M. Goehmann; Premovement silent period in fast movement initiation, *Exp. Brain Res.*, **51**: 310—313 (1983)
- 3) Gatev, V.; Role of inhibition in the development of co-ordination in early childhood, *Med. Child. Neurol.*, **14**: 336—341 (1972)
- 4) 猪飼道夫, 矢部京之助, 山本高司, 川初清典, 渡部和彦, 手塚政孝; 随意動作に先行する Silent period の発現機構, 体育学研究, **18**: 127—133 (1973)
- 5) 笠井達哉, 館山昭; 動作前 Silent period の出現頻度とその持続時間に与える練習の影響, 体育の科学, **30**: 745—749 (1980)
- 6) 川初清典; 身体運動における巧みさの科学, 杏林書院 (1982)
- 7) 脇田裕久, 水谷四郎, 東海政義, 三田勝巳, 青木久, 矢部京之助; 随意動作に先行する Silent period の出現率について, 体育学研究, **24**: 227—236 (1979)
- 8) 脇田裕久, 長井健二, 八木規夫, 矢部京之助; 反応動作におよぼす動作前 Silent period の影響, 体育学研究, **26**: 119—128 (1981)
- 9) Yabe, K.; Premotion silent period in rapid

- voluntary movement, *J. Appl. Physiol.*, **41** : 470—473 (1976)
- 10) Yabe, K.; Electromyographic silent period preceding a rapid voluntary movement, In Komi, P.V.(Ed.), *Biomechanics V-A*, Univ. Park Press, PP. 75—81 (1976)
- 11) 矢部京之助, 村地俊二; 随意動作に先行する Silent period の役割, *日本生理誌*, **37** : 91—98 (1975)