

「動作前Silent Period の出現率について」

第1報 運動種目間の比較

The Rates of Appearance in Silent Period Observed Just before Rapid Voluntary Movements.

1. Comparison of the Rates in Sports Events.

脇田裕久 (三重大学教育学部)

水谷四郎 (三重大学教育学部)

矢部京之助 (愛知県心身障害者コロ

ニー発達障害研究所)

研究目的

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の筋放電休止期が出現する^{4), 5)}。この動作前 silent period の出現機序について、猪飼⁴⁾は、刺激に対する反応動作に観察されることから感覚体肢反射によるものであると想定した。また、Magoun⁶⁾らは、この現象が脳幹抑制領域からの抑制性インパルスの関与を除外することはできないものと考察している。さらに矢部¹⁹⁾は、任意にできるだけ素早く垂直方向へ跳躍させた場合にも動作前 silent period の出現が観察され、動作前 silent period の出現メカニズムは、大脳皮質前頭葉、小脳、脳幹抑制領域からの遠心性の抑制インパルスの関与があるものと考えられている。

従来、一般人を対象とした動作前 silent period の出現率は、単純反応における肘関節伸展動作の場合、右上肢で14%、左上肢で18%であるといわれている⁹⁾。また、筆者らは、動作前 silent period の出現率が運動部経験年数の長期化にともなって増加することを明らかにした。なお、この出現率は、長期運動部所属者群においても個人差が大きく、広範囲に分布することを報告してきた。しかし、運動種目の特性と動作前 silent period 出現率との関係について観察したものはみうけられない。

本研究は、動作前 silent period の出現が敏捷性

と深い関係のあることが示唆されていることから、長期間一定の運動種目を継続して実施している被検者を対象として、各種運動種目によるトレーニングの特性が動作前 silent period の出現率に与える影響を観察し、動作前 silent period 出現と運動種目の特性との関係を明らかにしようとするものである。

実験方法

本実験は、光刺激 (xenon lamp) に応じて、できる限り素早く肘関節を伸展させる単純反応動作を用いた。被検者には椅座位姿勢をとらせ、左右両肩関節を45度、肘関節を60度屈曲し、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strain gauge を貼布し、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 mに設置したstrength indicator によって表示し、準備姿勢時に被検者自身が発揮する筋力を制御した。筋電図は、被検者の左右上腕三頭筋および上腕二頭筋から表面双極導出法を用いて導出した (図1)。

実験手順については、まず被検者の左右肘関節を最大努力で2回ずつ伸展させ、発揮された大きい方の値を最大筋力として採用した。次に検者の「用意」の合図で被検者は、strength indicator をみながら、最大筋力の15~20%の筋力で両肘関節を伸展させ、その2~5秒後に光刺激を与え、この刺激に

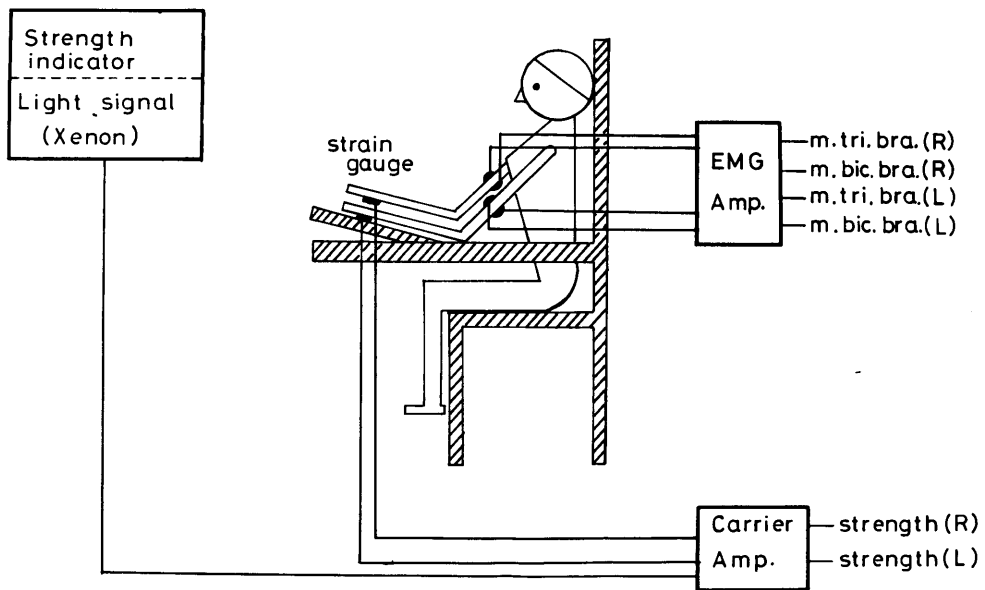


図1 実験模式図

応じてできるだけ素早く指示された一側肢の肘関節を伸展させるように指示した。伸展動作をおこさない対側肢は、準備姿勢時の筋力を保持するように指示した。各被検者の試行回数は、左右それぞれ5回の練習後、50回ずつ実施させた。被検者は、18~23

才の右利き男子大学生であり、同一種目を5年以上にわたって実施しているもの、剣道群13名、野球群11名、テニス群6名、陸上群10名、サッカー群9名である。

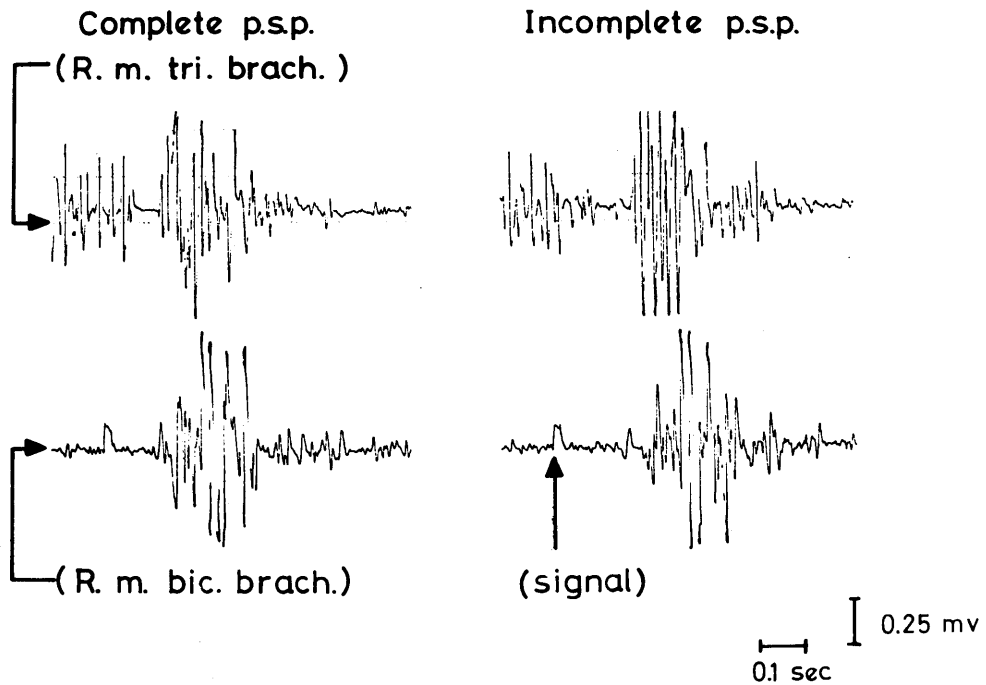


図2 動作前silent periodの出現様式(上段の記録は右上腕三頭筋、下段は右上腕二頭筋)

実験結果

1. 動作前silent period の分類

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随意的な緊張を加えた状態から、光刺激に対して指示された一側肢の肘関節伸展動作を起こすと、伸展動作を起こす前の静的準備姿勢では、上腕三頭筋に持続的な筋放電(tonic discharge)が存在し、肘関節伸展動作時には相動性の筋放電が出現する。しかし、この動作の切り換え時に反応動作の直前まで存在していた持続的な筋放電は、①一定期間完全に消失するもの (complete premotion silent period以下complete p. s. p. と略す)、②筋放電が消失に至らないまでも減少傾向にあるもの (incomplete premotion silent period以下incomplete p. s. p. と略す)、③持続的な筋放電から直ちに相動性放電へ移行し、何の変化も観察されないものが存在することが認められた(図2)。

結果の処理にあたっては、各被検者の50試行中に出現するcomplete p. s. p.、incomplete p. s. p. およびcomplete p. s. p. とincomplete p. s. p. を含めたtotal p. s. p. のそれぞれの出現率を算出した。

2. 右肘関節伸展動作時のp. s. p. 出現率について

右肘関節伸展動作時における右上腕三頭筋のcomplete p. s. p.、incomplete p. s. p.、total p. s. p. の出現率の分布を図3に示した。complete p. s. p. 出現率の分布をみると、剣道・野球群は0～60%、陸上群は1～70%、テニス群は1～80%、サッカー群は0～90%の範囲に分布した。その最頻値は、剣道・テニス・サッカー群では1～10%、野球群では11～20%、陸上群では1～10%と21～30%に存在していた。また、complete p. s. p. 出現率の平均値は、剣道群では12.7% (S.D.14.5%)、野球群では23.7% (S.D.18.7%)、テニス群では22.4% (S.D.26.6%)、陸上群では22.4% (S.D.17.6%)、サッカー群では24.0% (S.D.28.8%)であった(図4)。このcomplete p. s. p. 出現率を各群について比較すると、剣道群では12.7%と他の群よりも低い出現率を示したが、いずれの群間にも有意な差は認められなかった。

incomplete p. s. p. 出現率の分布をみると(図3)、サッカー群は0～20%、剣道・陸上群は1～30%、野球・テニス群は1～40%の範囲に分布し

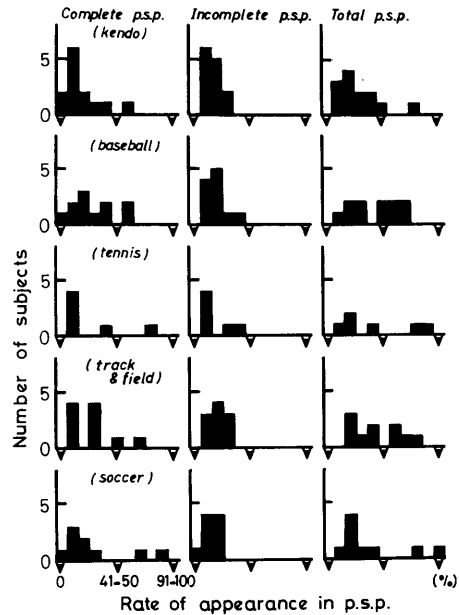


図3 右肘関節伸展動作時における動作前silent period 出現率の分布

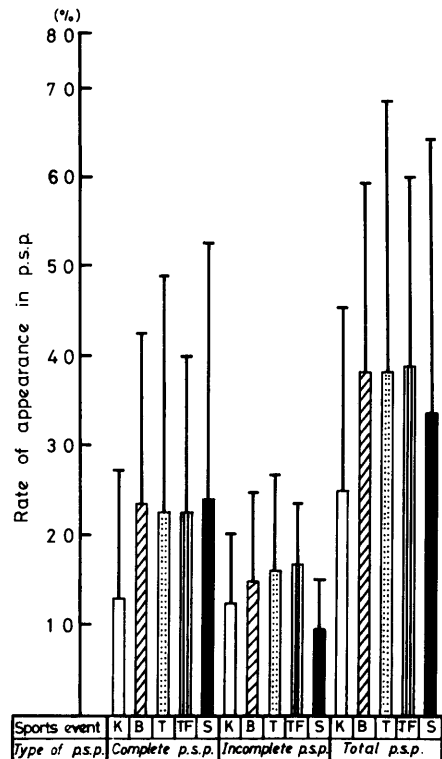


図4 右肘関節伸展動作時における運動種目と動作前silent period出現率の関係
(図中のK: 剣道、B: 野球、T: テニス、TF: 陸上、S: サッカーをあらわす)

ており、その最頻値は、剣道・テニス群で1～10%、サッカー群で1～20%、野球・陸上群で11～20%に

存在していた。また、incomplete p. s. p. 出現率の平均値は、剣道群で12.2% (S.D.7.9%)、野球群で14.7% (S.D.10.0%)、テニス群で16.1% (S.D.10.6%)、陸上群で16.7% (S.D. 6.9%)、サッカー群で9.6%(S.D. 5.5%)であった(図4)。incomplete p. s. p. 出現率の平均値を各群について比較すると、サッカー群では10%以下と他の群より低い出現率を示し、サッカー群と陸上群との間に5%水準で有意な差が認められた。

total p. s. p. 出現率の分布をみると(図3)、野球群は1~70%、剣道群は1~80%、陸上群は11~80%、テニス群は1~90%、サッカー群は1~100%の範囲に分布している。その最頻値は、野球群では平均的な分布のため存在しないが、その他の群ではいずれも11~20%範囲に存在した。また、total p. s. p. 出現率の平均値は、剣道群で24.9% (S.D. 20.6%)、野球群で38.3% (S.D.21.2%)、テニス群で38.3% (S.D.30.3%)、陸上群で39.1% (S.D. 20.9%)、サッカー群で33.6% (S.D.30.6%)であった(図4)。total p. s. p. 出現率の平均値を各群について比較すると、剣道群では他の群より低い出現率を示したが、いずれの群間にも有意な差は認められなかった。

3. 左肘関節伸展動作時のp. s. p. 出現率について

左肘関節伸展動作時における左上腕三頭筋のcomplete p. s. p., incomplete p. s. p., total p. s. p. の出現率の分布を図5に示した。complete p. s.

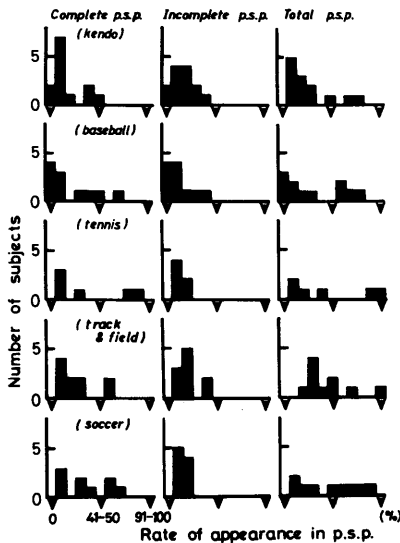


図5. 左肘関節伸展動作時における動作前 silent period 出現率の分布

p. 出現率の分布をみると、剣道群は0~50%、陸上群は1~60%、野球群は0~70%、サッカー群は1~70%、テニス群は1~90%の範囲に分布している。その最頻値は、野球群では0%、その他の群ではいずれも1~10%に存在した。また、complete p. s. p. 出現率の平均値は、剣道群で12.2%(S.D.16.3%)、野球群で23.5% (S.D.21.3%)、テニス群で32.0% (S.D. 34.9%)、陸上群で22.5% (S.D.18.5%)、サッカー群で31.6% (S.D.25.0%)であった(図6)。

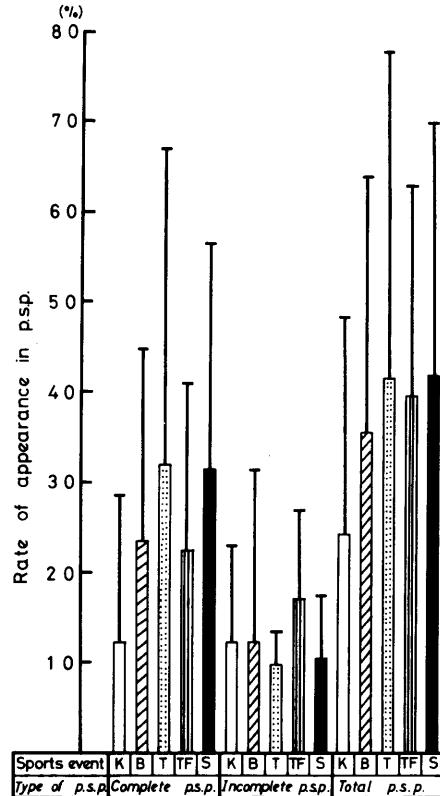


図6. 左肘関節伸展動作時における運動種目と動作前 silent period 出現率の関係 (図中のK:剣道、B:野球、T:テニス、TF:陸上、S:サッカーをあらわす)

このcomplete p. s. p. 出現率の平均値を各群について比較すると、剣道群では他の群よりも低い出現率を示したが、いずれの群間にも有意な差は認められなかった。

incomplete p. s. p. 出現率の分布をみると(図5)、サッカー・テニス群は1~20%、剣道・野球群は0~40%、陸上群は1~40%の範囲に分布している。その最頻値は、野球群で0~10%、サッカー・テニス群で1~10%、剣道群で1~20%、陸上群で11~20%に存在した。また、incomplete p. s. p. 出現率の平均値は、剣道群で12.2% (S.D.10.9%)、野球群

で12.2% (S.D.19.2%)、テニス群で9.7%(S.D.3.9%)、陸上群で17.3% (S.D.9.8%)、サッカー群で10.4%(S.D.7.2%)であった(図6)。incomplete p. s. p. 出現率の平均値を各群について比較すると、テニス群と陸上群との間に5%水準で有意な差が認められた。

total p. s. p. 出現率の分布をみると(図5)、野球群は0~80%、剣道群は1~80%、サッカー群は1~90%、テニス群は1~100%、陸上群は11~100%の範囲に分布している。その最頻値は、野球群で0%、剣道・サッカー・テニス群で1~10%、陸上群で21~30%に存在した。また、total p. s. p. 出現率の平均値は、剣道群で24.4% (S.D.24.3%)、野球群で35.7% (S.D.28.4%)、テニス群で41.7% (S.D.36.3%)、陸上群で39.8%(S.D.23.3%)、サッカー群で42.0%(S.D.28.1%)であった(図6)。このTotal p. s. p. 出現率の平均値を各群について比較すると、剣道群では他の群よりも低い出現率を示したが、いずれの群間にも有意な差は認められなかった。

論 議

動作にともなう筋放電の休止期(silent period)は、一般に抑制現象であると考えられている。反射動作の場合には、求心性インパルスの減少あるいは消失と解されている。¹³⁾³⁾⁷⁾これに対し、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 silent periodが出現する。⁴⁾⁵⁾この抑制現象は、大脳皮質前頭葉、小脳、脳幹抑制領域からの遠心性インパルスの関与が考えられている。⁶⁾¹⁹⁾また、上肢と下肢の同時伸展動作を行った際にも、上下肢ともに動作前silent periodの出現が観察され、この現象は、脊髄全体の同時抑制であると報告されている。¹⁹⁾猪飼らは、主動筋のsilent period 出現時と同時期に拮抗筋にも動作前silent period が出現していることを確かめ、動作前silent periodが相反性神経支配によるものでないことを明らかにしてきた。

この動作前抑制現象を表面双極導出法によって検索する場合、従来は筋電図の同期性放電に先行して筋電図が消失しているかどうかを主観的に判断する方法が用いられてきた。しかし、矢部らは、p. s. p. 解析方法として、筋電図信号の信号処理に移動平均値計と零交叉数計を考案し、この抑制現象を客観的にとらえることを可能にした。この結果、従来の同期性放電に先行して筋放電が全く消失する現象(complete p. s. p.)の他に、筋電図の同期性放電に

先行して移動平均値は減少するが、零交叉パルスの発生している現象、すなわち、筋放電が消失に至らないまでも減少傾向にある現象(incomplete p. s. p.)の存在することを報告している。本研究においても二様式の動作前抑制現象の出現を観察し、同様の傾向のあることを確認した。

本実験は、動作前silent period をこれまでに報告されているようにcomplete p. s. p. とincomplete p. s. p. に分類し、それぞれの出現率および両者を加えたtotal p. s. p. 出現率を求め、運動種目群による差異を検討した。これまでに報告されているcomplete p. s. p. 出現率についてみると、乳幼児の上肢屈伸動作を対象とした上腕二頭筋では約10%であり²⁾、成人の単純反応における肘関節伸展動作の場合は、右上腕三頭筋に14%、左上腕三頭筋に18%である。¹⁹⁾さらに筆者らは、動作前silent period 出現率と運動部経験年数との関係について検討し、右肘関節伸展時におけるcomplete p. s. p. 出現率は、非運動部所属者群で12% (S.D.9.7%)、短期運動部所属者群で25% (S.D.24.9%)、長期運動部所属者群で36% (S.D.27.1%)、左肘関節伸展時におけるcomplete p. s. p. 出現率は、それぞれ16% (S.D.21.2%)、26% (S.D.24.9%)、31%(S.D.27.1%)であり、運動部経験が長期化するにしたがってcomplete p. s. p. 出現率が増加することを報告してきた。本実験におけるcomplete p. s. p. 出現率の平均値は、剣道群の右肘関節伸展時で12.2% (S.D.16.3%)、左肘関節伸展時で12.7% (S.D.14.5%)と先の報告における非運動部所属者群と類似した低い出現率を示した。しかし、他の運動種目群では20~30%の出現率であり、先の報告とほぼ一致した結果を得た。また、被検者の出現率の分布は、広範囲にわたっており、矢部らの報告と同様、動作前silent periodの出現は、個人差の大きい現象であるものと思われる。さらに、本実験ではcomplete p. s. p. とincomplete p. s. p. を含めたtotal p. s. p. 出現率を運動種目群別に比較した。筆者らの運動部所属年数別に比較した右肘関節伸展時のtotal p. s. p. 出現率は、非運動部所属者群で24% (S.D.15.5%)、短期運動部所属者群で46% (S.D.28.2%)、長期運動部所属者群で56% (S.D.27.6%)、左肘関節伸展時のtotal p. s. p. 出現率は、それぞれ26%(S.D.22.1%)、49% (S.D.27.5%)、53% (S.D.24.1%)であり、運動部経験が長期化するにしたがってtotal p. s. p. 出現率が増加することを明らかにしてきた。本実験におけるtotal p. s. p. 出現率の平均値は、剣道群で

は右肘関節伸展時で24.9% (S.D.20.6%)、左肘関節伸展時で24.4% (S.D.24.3%)と先の報告における非運動部所属者群と同様の低い出現率を示した。しかし、他の運動種目群では、左右とも約40%の高い出現率であり、先の報告とほぼ一致した結果を得た。

一方、動作前silent periodの出現率は、刺激から動作開始までの時間を素早くすることに関与するのではなく、反応動作の決断が下されたならば、すばやく筋収縮速度を高めることに関与していると報告されている⁹。また、猪飼⁵⁾は、この筋収縮速度を物理的に測定せず、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、筋収縮速度の速い場合の方がsilent periodの出現が容易であるとしている。また、動作曲線の立ち上がり角度から観察した場合は、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、silent periodの観察は容易であるとしている¹⁰。さらに、正常・片まひ・脳性まひの被検者を対象に加速度計を用いて silent period の出現を検討した結果、脳性まひ者と片まひの被検者のまひ側は、加速度が小さく、動作前 silent period の出現はみられず、正常人と片まひの被検者の正常側は加速度が大きく、正常人の右で19%、左で18%、片まひの被検者の正常側に22%の動作前silent period が出現したと報告されている¹⁰。さらに筆者らは、動作前silent period の出現が反応動作に与える影響について観察し、動作前silent period の出現した試行では、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、単位時間当りの筋力上昇率が增大することを指摘してきた。これらの報告は、いずれも動作前silent period 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、上肢を常に敏捷にトレーニングしている運動種目ほど動作前silent period の出現率は高くなるように思われる。

そこで本実験は、運動種目の特性、すなわち剣道・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用する種目、サッカー・陸上のように上肢を補助的に使用する種目について比較した。しかし、先に示したように常に上肢の敏捷性トレーニングをしている剣道群のp. s. p. 出現率は、非運動部所属者群のそれとほとんど差異がなく、他の運動種目群よりもかなり低い値を示した。また、サッカー・陸上のように上肢を補助的に使用する運

動種目群でも他の群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⁵⁾らは、スタート動作時に上肢と下肢の筋群から動作前silent period がほぼ同時に出現することを観察しており、このことは、随意動作に先行するsilent period が脳幹・脊髄全体の同時抑制によるものであるとしている。さらに矢部¹⁰⁾らは、上・下肢の同時伸展動作を行なった際に、上下肢ともに動作前silent period が出現し、しかも上肢から導出したsilent period の出現時期は、下肢よりも平均値で約16msec 先行しており、この差は上位中枢から筋放電を導出する部位までの距離の差によるものと考えた。このことは、上・下肢の筋がそれぞれ異なる脊髄分節から発する異なる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silent period が出現したことになり、この結果は、先の動作前silent period が脊髄全体の同時抑制であるという報告を支持している。動作前silent periodの出現が脊髄全体の同時抑制と考えらるならば、スポーツの場面では剣道・野球などの種目では上肢が主として使用され、陸上・サッカーなどの種目では補助的に使用されているけれども、生体運動機構上からみれば、上・下肢とも同じように使用されており、陸上・サッカー群の動作前silent periodの出現率が高く、剣道群の出現率が低くても何ら不思議な現象ではない。従って、運動肢主動筋に出現する動作前 silent periodは、それぞれの運動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。

要 約

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silent periodが出現する。本実験は、肘関節伸展動作を用いて、この動作前silent periodの出現率と運動種目の特性との関係を明らかにしようとした。被検者は、18～23才の右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、剣道群13名、野球群11名、テニス群6名、陸上群10名、サッカー群9名であった。本実験結果から次のことが明らかにされた。

1). 右肘関節伸展動作時のcomplete p. s. p. 出現率は、剣道群で12.7% (S.D.14.5%)、野球群で23.7% (S. D.18.7%)、テニス群で22.4% (S.D.26.6%)、陸上群で22.4% (S.D.17.6%)、サッカー群で24.0% (S.D.28.8%)であり、いずれの群間にも有意な差は認められなかった。

2). 右肘関節伸展動作時のincomplete p. s. p. 出現率は、剣道群で12.2%(S.D.7.9%)、野球群で14.7%(S.D.10.0%)、テニス群で16.1%(S.D.10.6%)、陸上群で16.7%(S.D.6.9%)、サッカー群で9.6%(S.D.5.5%)であり、サッカー群と陸上群との間に5%水準で有意な差が認められた。

3). 右肘関節伸展動作時のtotal p. s. p. 出現率は、剣道群で24.9%(S.D.20.6%)、野球群で38.3%(S.D.21.2%)、テニス群で38.3%(S.D.30.3%)、陸上群で39.1%(S.D.20.9%)、サッカー群で33.6%(S.D.30.6%)であり、いずれの群間にも有意な差は認められなかった。

4). 左肘関節伸展動作時のcomplete p. s. p. 出現率は、剣道群で12.2%(S.D.16.3%)、野球群で23.5%(S.D.21.3%)、テニス群で32.0%(S.D.34.9%)、陸上群で22.5%(S.D.18.5%)、サッカー群で31.6%(S.D.25.0%)であり、いずれの群間にも有意な差は認められなかった。

5). 左肘関節伸展動作時の incomplete p. s. p. 出現率は、剣道群で12.2%(S.D.10.9%)、野球群で12.2%(S.D.19.2%)、テニス群で9.7%(S.D.3.9%)、陸上群で17.3%(S.D.9.8%)、サッカー群で10.4%(S.D.7.2%)であり、テニス群と陸上群との間に5%水準で有意な差が認められた。

6). 左肘関節伸展動作時のtotal p. s. p. 出現率は、剣道群で24.4%(S.D.24.3%)、野球群で35.7%(S.D.28.4%)、テニス群で41.7%(S.D.36.3%)、陸上群で39.8%(S.D.23.3%)、サッカー群で42.0%(S.D.28.1%)であり、いずれの群間にも有意な差は認められなかった。

periodの発現機構」体育学研究, 18, : 127-133, 1974.

- 6) Mogoun, H. W., and R. Rhines, "An Inhibitory Mechanism in the Bulbar Reticular Formation," J. Neurophysiol., 9 : 165-171, 1946.
- 7) Merton, P. A., "The Silent Period in a Muscle of Human Hand," J. Physiol., 114 : 183-198, 1951.
- 8) 脇田裕久, 水谷四郎, 東海政義, 三田勝己, 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.
- 9) 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 : 120-128, 1981.
- 10) Yabe, K., "Electromyographic Silent Period Preceding a Rapid Voluntary Movement", in P. V. Komi(ed), Biomechanics V-A, Univ. Park Press : Baltimore, 1976, pp. 75-81.
- 11) 矢部京之助「習熟過程の生理的要因-猪飼理論を中心にして-」体育の科学, 24 : 429-433, 1974.
- 12) 矢部京之助, 人体筋出力の生理的限界と心理的限界」杏林書院, 1977, P. 131.
- 13) 矢部京之助, 三田勝己, 青木久「筋電図の定量化への試み(1) 筋電図信号処理方法の概要」体育の科学, 26 : 264-269, 1976.
- 14) 矢部京之助, 三田勝己, 青木久「筋電図の定量化への試み(2) 移動平均法、零交叉法による筋電図信号の解析」体育の科学, 26 : 454-460, 1976.
- 15) 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.

参考文献

- 1) Alston, W., R. W. Angel, F. S. Fink and W. Hofmann, "Motor Activity Following the Silent Period in Human Muscle," J. Physiol., 190 : 189-202, 1967.
- 2) Gatev, V., "Role of Inhibition in the Development of Motor Coordination in Early Childhood, Develop. Med. Child Neurol., 14 : 336-341, 1972.
- 3) Hammond, P. H., P. A. Merton and G. G. Sutton, "Nervous Gradation of Muscular Contraction," Brit. med. Bull., 12 : 214-218, 1956.
- 4) 猪飼道夫「動作に先行する抑制機構」日本生理誌, 17 : 292-298, 1955.
- 5) 猪飼道夫, 矢部京之助, 山本高志, 川初清典, 渡辺和彦, 手塚政孝「随意動作に先行する Silent