

「動作前 Silent Period の出現率について」

—— 第3報 対側肢にみられる Silent Period について ——

脇 田 裕 久 (三重大学教育学部)

八 木 規 夫 (三重大学教育学部)

矢 部 京之助 (愛知県心身障害者コロニ

一発達障害研究所)

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

3. The Silent Period Observed in the Contralateral Limb.

Hirohisa Wakita

Norio Yagi

Kyonosuke Yabe

研究目的

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起こすと、動作に先行して主動筋に^{2) 4) 5) 6) 8) 11) 12) 13) 14) 15) 16) 17) 18) 19)}一過性の筋放電の休止期が出現する。この動作前 Silent Period の出現 mechanism は、大脳皮質前頭葉、小脳、脳幹抑制領域からの遠心性 impulse の関与があり、一種の中枢性抑制現象であると考えられている。⁶⁾しかし、動作前 Silent Period は、運動肢主動筋にのみ出現する現象ではなく、対側肢の同名筋にも出現することが認められている。¹⁹⁾また、対側肢の Silent Period 出現時期が運動肢主動筋の動作前 Silent Period 出現時期とほぼ一致することから、この現象は、相反性抑制現象によるものでないことが積極的に証明されている。¹⁹⁾さらに、対側肢にみられる Silent Period は、右肘関節の伸展をおこなった際の左腕に出現することが容易であり、その出現頻度の差から利き手が判定できるとしている。

本研究は、光刺激に対してできるだけ素早く肘関節を伸展させる単純反応動作を用いて、被検者の右上肢を training した場合、右肘関節伸展動作時および左肘関節伸展動作時におけるそれぞれの対側肢に出現する Silent Period の出現率がどのように変動するかを観察し、この右上肢の training が、対側肢の神経系に及ぼす影響について究明しようとするものである。

実験方法

実験方法ならびに実験手順については、第1報¹⁴⁾に準じて実施した。ただし、検者は、各試行終了後に運動肢主動筋の動作前 Silent Period 出現の有無を知らせた。右上肢については、1回に50試行の肘関節伸展動作によるトレーニングを週3回の頻度で7~9週にわたって実施させた。さらに、左右両上肢については、週1回の頻度でそれぞれ50試行ずつの肘関節伸展動作を実施させた。筋電図は、対側肢に出現する Complete P. S. P. のみに注目し、その出現率を算出した(図1)。

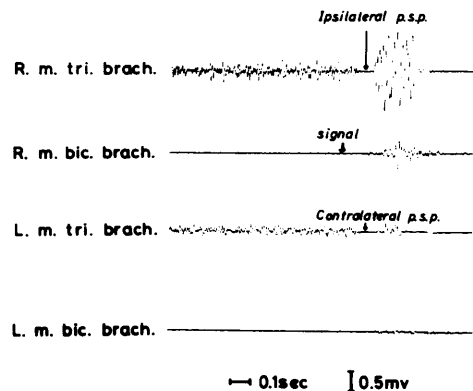


図1. 運動肢主動筋(右腕)の動作前 Silent Period と対側肢(左腕)にみられる動作前 Silent Period の出現例
筋電図は上段より、右上腕三頭筋、右上腕二頭筋、左上腕三頭筋、左上腕二頭筋

なお、被検者は、19～22歳の健常な右利き男子大学生4名である。

実験結果

1. 右肘関節伸展動作の場合

右肘関節伸展動作時における左上腕三頭筋の Complete P. S. P. 出現率の変動を図2に示した。

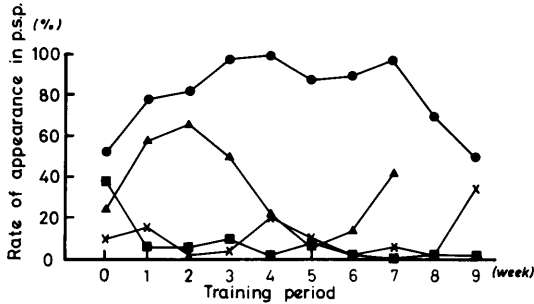


図2. 右肘関節伸展動作時における左上腕三頭筋の Complete P. S. P. 出現率の変化 (図中の印は被検者 ●—Mor., ▲—Muk., ■—Sug., ×—Yat. を示す)

この出現率の変動は、一定の傾向がみられず、各被検者によって異なる変化を示した。subj. Mor. は、トレーニング前の52%から第4週の100%までトレーニング回数の増加に従って対側肢の Complete P. S. P. 出現率は増加し、この高出現率は第7週まで持続する。しかし、その後第8週で70%、第9週で50%と対側肢の Complete P. S. P. 出現率は低下した。subj. Muk. は、トレーニング前の24%から第2週の66%までトレーニング回数の増加にともなう対側肢の Complete P. S. P. 出現率は増加した。しかし、その後第5週の6%まで出現率は低下し、第7週の42%へと再び増加する傾向にあり、著しい変動を示した。subj. Yat. は、第9週の34%を除いて各週とも20%以下の低い対側肢の Complete P. S. P. 出現率であった。subj. Sug. は、トレーニング前の38%を除き各週とも10%以下の極めて低い対側肢の Complete P. S. P. 出現率であった。

2. 左肘関節伸展動作の場合

左肘関節伸展動作時における右上腕三頭筋の Complete P. S. P. 出現率の変動を図3に示した。この出現率の変動は、右肘関節伸展動作時における左上腕三頭筋の Complete P. S. P. 出現率と同様に一定の傾向がみられず、被検者ごとに異なる変化を示した。subj. Mor. は、トレーニング前の70%から

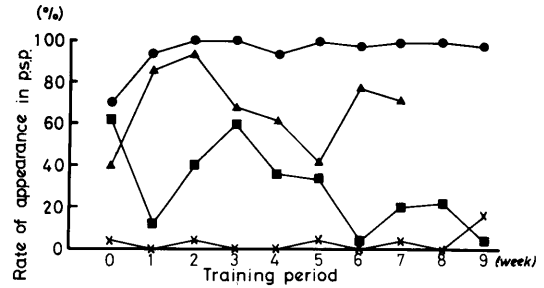


図3. 左肘関節伸展動作時における右上腕三頭筋の Complete P. S. P. 出現率の変化 (図中の印は被検者 ●—Mor., ▲—Muk., ■—Sug., ×—Yat. を示す)

ら第1週の94%まで急激な増加を示し、その後は、94%以上の高い対側肢の Complete P. S. P. 出現率を示した。subj. Muk. は、トレーニング前の40%から第2週の94%まで増加するが、その後第5週の42%まで低下し、第6、第7週ではそれぞれ78%、72%の出現率を示した。subj. Sug. は、トレーニング前の62%、第3週の60%、第6週の4%、第9週の4%と変動しながらもトレーニング回数の増加とともに対側肢の Complete P. S. P. 出現率が減少する傾向にあった。subj. Yat. についてみると、第9週の16%を除き、いずれの週とも4%以下の極めて低い対側肢の Complete P. S. P. 出現率であった。

3. 左右肘関節伸展動作時における対側肢の Silent Period 出現率の比較

トレーニング前の右肘関節伸展動作時における左上腕三頭筋の Complete P. S. P. 出現率は、subj. Mor. 52%、Muk. 24%、Sug. 38%、Yat. 10%であり、左肘関節伸展動作時における右上腕三頭筋の Complete P. S. P. 出現率は、subj. Mor. 70%、Muk. 40%、Sug. 62%、Yat. 4%であり、subj. Yat. を除く被検者の対側肢に出現する Complete P. S. P. 出現率は、いずれも左上腕三頭筋に比較して右上腕三頭筋の値が大きかった。

また、右肘関節伸展動作時における左上腕三頭筋の Complete P. S. P. 出現率の全トレーニングの平均値は、subj. Mor. 81% (S. D. 18.3%)、Muk. 35% (S. D. 21.8%)、Sug. 7% (S. D. 10.7%)、Yat. 11% (S. D. 10.3%) であり、左肘関節伸展動作時における右上腕三頭筋の Complete P. S. P. 出現率の全トレーニングの平均値は、subj. Mor. 95% (S. D. 9.2%)、Muk. 68% (S. D. 19.3%)、

Sug. 29% (S. D. 22.1%), Yat. 3% (S. D. 4.9%) であった。subj. Yat. を除く他の被検者の対側肢に出現する Complete P. S. P. 出現率は、左上腕三頭筋に比較して、右上腕三頭筋の値がいずれも5%水準で有意に大きな値を示した。全被検者における対側肢に出現する Complete P. S. P. 出現率の平均値は、右上腕三頭筋で48% (S. D. 39.1%)、左上腕三頭筋で33% (S. D. 33.9%) であり、左上腕三頭筋に比較して、右上腕三頭筋の Complete P. S. P. 出現率が大きな値を示したが、両者の間には、有意な差が認められなかった。

一方、図4は、右肘関節伸展動作時における左上

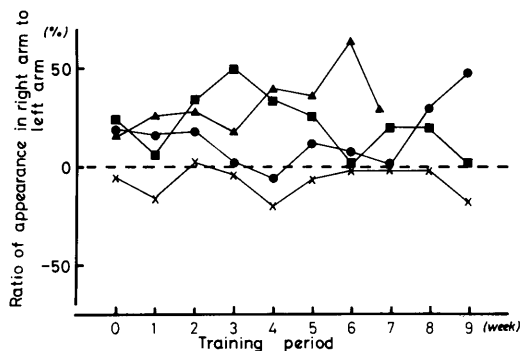


図4. 左上腕三頭筋に対する右上腕三頭筋の Complete P. S. P. 出現の割合 (図中の印は被検者 ●—Mor., ▲—Muk., ■—Sug., ×—Yat. を示す)

腕三頭筋に出現する Complete P. S. P. 出現率を基準として、右上腕三頭筋の Complete P. S. P. 出現率の変化を示したものである。subj. Mor., Muk., Sug. については、いずれの週においても左上腕三頭筋に比較して、右上腕三頭筋の Complete P. S. P. 出現率が大きい値を示した。しかし、subj. Yat. については、他の被検者とは異なり、左上腕三頭筋の Complete P. S. P. 出現率の方が大きい値であった。

論 議

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過性の筋放電休止期が出現する。この動作前 Silent Period は、運動肢の主動筋にのみ出現する現象ではなく、対側肢の同名筋にも出現することが認められている。これは、上位中枢より運動肢主動筋を支配する運動ニューロンに促進性 impulse が送られ、同時に対側肢 (非運動肢) の同名筋を支配する

運動ニューロンに抑制性 impulse が送られていることを示唆するものと考えられている。この対側肢にみられる Silent Period と類似した現象として、相反性抑制現象が考えられる。しかし、対側肢に出現する Silent Period の発現機構は、①対側肢の拮抗筋に同期性放電のないこと、②運動肢主動筋の同期性放電よりも対側肢同名筋に出現する Silent Period が先行していることなどから、相反性抑制現象によるものでないことが明らかにされてきた。さらに、対側肢の Silent Period 出現時期が運動肢主動筋の動作前 Silent Period の出現時期とほぼ一致することから、この現象は、相反性抑制現象によるものでないことがより積極的に証明されている¹⁹⁾。

このような対側肢に出現する Silent Period は、右肘関節伸展時の左腕に57% (S. D. 22.6%)、左肘関節伸展時の右腕に37% (S. D. 10.9%) であり、利き手の肘関節伸展動作をおこなった場合に対側肢抑制現象の出現しやすいことが指摘されている。本実験結果は、右肘関節伸展動作時の左腕に33% (S. D. 33.9%)、左肘関節伸展動作時の右腕に48% (S. D. 39.1%) であり、先の報告とは異なる結果であった。このような傾向は、トレーニング前およびトレーニング期間中とも4名の被検者のうち3名に観察され、特に、これらの被検者では左上腕三頭筋に比較して右上腕三頭筋の Complete P. S. P. 出現率が有意に大きな値を示した。この点については、右肘関節伸展動作を用いた単純反応動作のトレーニングが、右上肢における神経系の制御機構を高度に分化させ、そのことが左肘関節伸展動作時における右上肢の抑制現象の出現頻度を多くしたことも考えられる。しかし、先の報告の被検者は、6名であり、本実験では4名といずれの実験も被検者数が少なく、結論を導くためには、さらに例数を増加して検討する必要があるものと考えられる。

筆者らは、先に単純反応動作による敏捷性トレーニングを課し、運動肢主動筋に出現する動作前 Silent Period 出現率がトレーニング回数の増加にともなって、増加する者と減少する者とに分かれることを報告してきた。運動肢主動筋に出現する動作前 Silent Period と Performance の関係は、動作開始時間を遅延させるが、単位時間当たりの筋力上昇率を増大し、筋収縮速度を高める作用のあることが明らかにされている¹³⁾。先の報告においては、運動肢主動筋の動作前 Silent Period 出現率がトレーニングにともなって増加した被検者では筋収縮速度が増大し、出現率が減少した被検者では動作開始時間が短縮する傾向

が認められ、これまでの報告と一致した結果を得ている。また、筋力や筋持久力のトレーニングを課すと、最大筋力や作業回数が増加し、機能の向上が認められる。^{3) 7) 2)} Gatev は、発育にともなう動作前 Silent Period の出現がみられることから、この抑制現象が動作の発達過程の協調性を知る手掛りになると結論づけている。この報告によれば、動作前 Silent Period 出現率の増加した者ではトレーニング効果があり、減少した者ではトレーニング効果がなかったことになる。しかし、川初は、⁵⁾ 敏捷性の高い運動選手の動作前 Silent Period の持続時間が短いことを、笠井らは、⁴⁾ 30回の急速な反応動作によって、動作前 Silent Period 出現率が後半に減少し、その持続時間も短縮することを報告している。これらの報告は、動作の敏捷な切り換えが可能になった者では、中枢内で消費される時間が最終的にゼロ近くになり、動作前 Silent Period の出現がなくなる可能性のあることを示唆している。これらのことから、敏捷性トレーニングによって動作前 Silent Period が増加した場合においても減少した場合においてもそのトレーニング効果があるものと推察した。

本実験は、光刺激に対してできるだけ素早く右肘関節を伸展させる反応動作を週3回の頻度で7~9回にわたってトレーニングさせ、その時の対側肢に出現する動作前 Silent Period 出現率の変動を観察した。その結果、右肘関節伸展動作時の左上腕三頭筋の Complete P. S. P. 出現率の変動は、subj. Mor. と Muk. では増加傾向を示し、subj. Sug. では減少傾向にあり、Subj. Yat. では顕著な変化がみとめられなかった。本実験で取り扱った被検者は、先に示した単純反応動作による敏捷性トレーニングを課し、運動肢主動筋に出現する動作前 Silent Period 出現率を観察した報告と同一被検者であり、¹⁵⁾ しかもこの運動肢主動筋の反応動作時に対側肢について同時記録したものである。本実験における対側肢に出現する動作前 Silent Period 出現率の増減傾向は、運動肢主動筋に出現した動作前 Silent Period 出現率と非常に類似した傾向を示した。このことは、トレーニングを課した運動肢主動筋の動作前 Silent Period の出現が対側肢の動作前 Silent Period の出現に影響をもつものであり、動作前 Silent Period 出現メカニズムが大脳皮質前頭葉、小脳、脳幹抑制領域からの遠心性 impulse の関与する現象であること⁶⁾ をふまえるならば、この抑制現象が一種の中枢性抑制現象であることをさらに裏付けるものである。

一方、本実験における非トレーニング肢である左

肘関節伸展動作時の右上腕三頭筋の Complete P. S. P. 出現率の変動は、右肘関節伸展動作時の左上腕三頭筋の Complete P. S. P. 出現率の変動と類似した変化過程を示した。筆者らは、先に、トレーニング肢の運動肢主動筋に出現する Complete P. S. P. 出現率が増加する場合にはそれに対応して非トレーニング肢の出現率も増加し、トレーニング肢の運動肢主動筋に出現する Complete P. S. P. 出現率が減少する場合にはそれにつれて非トレーニング肢の出現率も減少することを報告してきた。本実験の対側肢に出現する動作前 Silent Period の出現変動についても同様の結果を得た。このことについては、一側肢のトレーニングを行うと、その効果が対側肢に及ぶという一種の中枢性促進効果によるものであると考えられる。

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、対側肢の同名筋に Silent Period が出現する。本実験は、被検者の右上肢についてのみ、光刺激に対してできるだけ素早く肘関節を伸展させる単純反応動作のトレーニングを課し、右肘関節伸展動作時および左肘関節伸展動作時におけるそれぞれの対側肢に出現する Silent Period 出現率の変動を手掛りとして、このような運動肢主動筋の敏捷性トレーニングが対側肢の神経系におよぼす影響を究明しようとした。本実験結果は、次のようである。

1) 右肘関節伸展動作時における左上腕三頭筋の Complete P. S. P. 出現率は、トレーニング回数の増加にともなう、増加するタイプ、変動するタイプ、減少するタイプ、変動しないタイプが存在した。

2) 左肘関節伸展動作時における右上腕三頭筋の Complete P. S. P. 出現率は、各被検者とも右肘関節伸展動作時における左上腕三頭筋の Complete P. S. P. 出現率と類似した変動過程を示した。

3) 右肘関節伸展動作時における左上腕三頭筋の Complete P. S. P. 出現率の全被検者の平均値は、33% (S. D. 33.9%) であり、左肘関節伸展動作時における右上腕三頭筋の出現率は、48% (S. D. 39.1%) であった。左右の対側肢に出現する Complete P. S. P. 出現率の比較では、3名の被検者において、左上腕三頭筋に比較して右上腕三頭筋の出現率が有意に大きな値を示した。

引用・参考文献

- 1) Agarwal, G. C. and G. L. Gottlieb, "The muscle silent period and reciprocal inhibition in man", J. Neurol. Neurosurg. Psychiat. 35, 72-76, 1972.
- 2) Gatev, V., "Role of inhibition in the development of motor co-ordination in early childhood", Med. Child Neurol., 14: 336-41, 1972.
- 3) Hettinger, Th. Physiology of strength, Charles C. Thomas, 1961.
- 4) 笠井達哉、館山昭「動作開始前 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.
- 5) 川初清典、身体運動における巧みさの科学、杏林書院、1982、Pp. 128.
- 6) 猪飼道夫「動作に先行する抑制機構」日本生理誌、17: 292-98, 1955.
- 7) 猪飼道夫、石井喜八、中村淳子「血流量からみた筋持久力 I-IV」体育の科学15: 201-206、281-287、334-340、404-410, 1965.
- 8) 猪飼道夫・矢部京之助・山本高志・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: 127-33, 1974.
- 9) Kroll, W., "Isometric cross-transfer effects under conditions of central facilitation", J. Appl. Physiol. 20, 297-300, 1965.
- 10) Shaver, L. G., "Cross transfer effects of training and detraining on relative muscular endurance", Amer. Corr. Ther. J. 42: 49-56, 1973.
- 11) 三田勝己・青木久・矢部京之助「随意動作に先行する Silent Period の出現と静的準備状態との関係」医用電子と生体工学、16: 390-95, 1978.
- 12) 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: 227-36, 1979.
- 13) 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.
- 14) 脇田裕久・水谷四郎・矢部京之助「動作前 Silent Period の出現率について-第1報 運動種目間の比較-」三重大学教育学部研究紀要(自然科学)、33: 117-123, 1982.
- 15) 脇田裕久・八木規夫・矢部京之助「動作前の Silent Period の出現率について-第2報 単純反応動作のトレーニングによる効果-」三重大学教育学部研究紀要(自然科学)、33: 125-132, 1982.
- 16) Yabe, K., "Electromyographic silent period preceding a rapid voluntary movement", in komi. P. V. (Ed.), Biomechanics V-A, Univ. Park Press: Baltimore, 1976, pp. 75-81.
- 17) Yabe, K., "Premotion silent period in rapid voluntary movement", J. Appl. Physiol., 41: 470-73, 1976.
- 18) 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.
- 19) 矢部京之助「対側肢にみられる Silent Period の発現機構」体育学研究、21: 11-17, 1976.