

「動作前 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

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

2. Training Effects on Simple Reaction Movements .

脇 田 裕 久 (三重大大学教育学部)

八 木 規 夫 (三重大大学教育学部)

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

これまでに、一般人を対象とした動作前 silent period の出現率は、単純反応の肘関節伸張動作の場合、右14% (S.D.22%)、左18% (S.D.16%)であると報告されている。¹³⁾筆者ら¹⁰⁾は、運動部経験年数が長期化するに従って、動作前 silent period 出現率が增加することを明らかにしてきた。この動作前 silent period の出現は、敏捷性と深い関係にあるといわれている。¹²⁾筆者ら¹¹⁾は、動作前 silent period の出現が反応動作に与える影響を観察し、その結果、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。この結果は、動作を時間的に短縮することを目的とすれば、動作前 silent period の出現しない方が有利であり、動作をより力強くしようとするれば、動作前 silent period の出現した方が有利になることを示唆している。

本研究は、被検者の右上肢(利き上肢)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、トレーニング肢および非トレーニング肢(左上肢)に出現する動作前 silent period の出現率の変動を手掛

りとして、このような敏捷性トレーニングが神経系におよぼす影響を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報に準じて実施した。ただし、検者は、各試行終了後、被検者に動作前 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試行ずつ実施させ、筋電図と力曲線とが同時に記録できるようにした。筋電図は、complete p. s. p. 出現のみに注目し、その出現率を算出した。力曲線は、動作開始時間(光刺激から力曲線の立ち上がりまでの時間)、動作時間(力曲線の立ち上がりからその頂点までの時間)、単位時間当りの筋力上昇率(力曲線の立ち上がり最大角度を計測し、この $\tan \theta$ から求めた値)にわけて分析した(図1)。なお、被検者は、19歳~22歳の健康な右利きの男子大学生4名である。

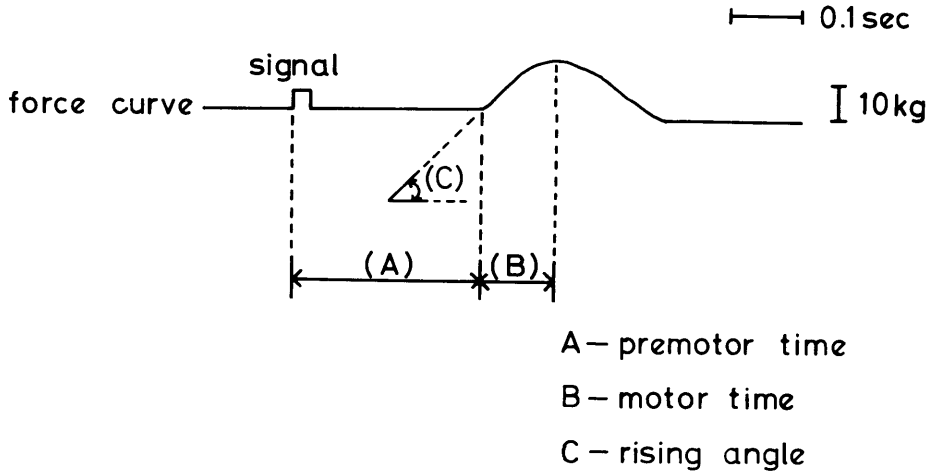


図1 力曲線の分析方法

A：動作開始時間
B：動作時間
C：立ち上がり角度

実験結果

1. complete p. s. p. 出現率について

各被検者の右肘関節伸展時における右上腕三頭筋

の complete p. s. p. 出現率の変動を図2に示した。この出現率の変動は、トレーニング回数が増加するに従って complete p. s. p. 出現率が増加するタイプと減少するタイプに類別することができる。トレ

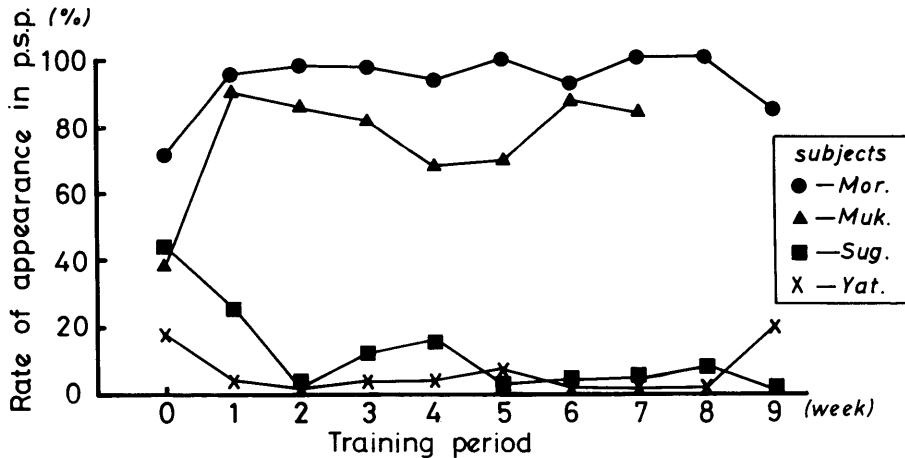


図2 右肘関節伸展動作時における complete p. s. p. 出現率の変化

ーニング回数が増加するに従って complete p. s. p. 出現率の増加傾向を示した subj. Mor. の出現率についてみるとトレーニング前で72%、第1週で96%と著しい増加を示し、その後は各週とも90%以上の高出現率を維持する傾向を示した。また、同様の傾向にある subj. Muk. についてもトレーニング前の38%から第1週の90%の出現率へと急激な増加を示

し、その後の出現率は70~90%の比較的高い範囲にあった。また、トレーニング回数の増加にともなって減少傾向を示した subj. Sug. についてみると、トレーニング前の44%から第2週の2%へと急激な減少を示し、その後は各週15%以下の低い complete p. s. p. 出現率を維持する傾向にあった。また、subj. Yat. についてもトレーニング前の18%の

complete p. s. p. 出現率から第2週の0%の出現率まで急激な減少傾向にあり、その後は第10週の20%を除き、約8%以下の極めて低い出現率であった。

一方、非トレーニング肢である左肘関節伸展時における左上腕三頭筋の complete p. s. p. の出現率の変動を図3に示した。この出現率の変動は、右肘

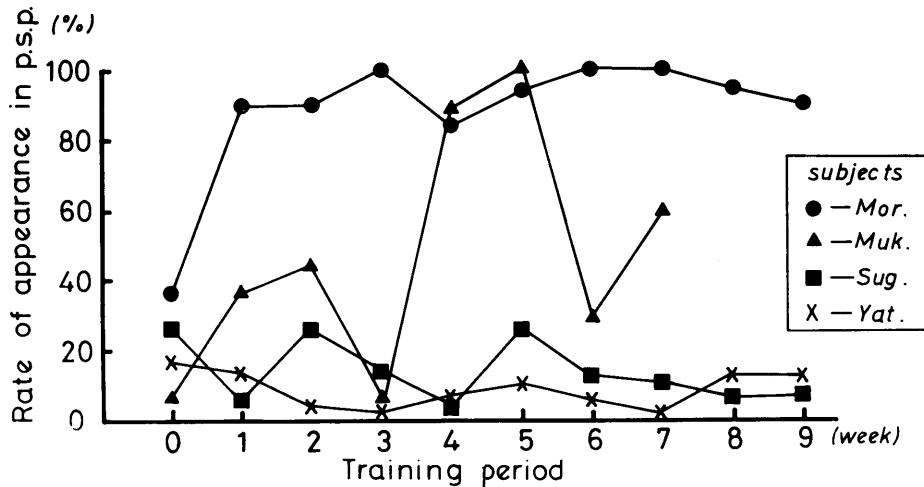


図3 左肘関節伸展動作時における complete p. s. p. 出現率の変化

関節伸展動作時と同様、トレーニング回数が増加するに従って complete p. s. p. 出現率が増加する者、やや減少傾向を示す者、あまり変化しない者とが存在した。トレーニング回数とともに complete p. s. p. 出現率の増加傾向を示した subj. Mor. の出現率についてみると、トレーニング前で36%、第1週で90%と著しい増加傾向を示し、その後は各週84%以上の高出現率を示した。また、類似傾向を示した subj. Muk. については、トレーニング前の6%、第1週の36%、第2週の44%、第4週の88%、第5週の100%とトレーニング回数の増加にともなって complete p. s. p. 出現率は増加したが、第3週の6%、第6週の28%、第7週の58%とその変動は大きかった。また、トレーニング回数の増加にともなって complete p. s. p. 出現率がやや減少傾向を示した subj. Sug. についてみると、トレーニング前の26%、第3週の14%、第6週の12%、第9週の6%の出現率を示した。subj. Yat. については、各週とも16%以下の低い complete p. s. p. 出現率を示し、トレーニング回数が増加しても complete p. s. p. 出現率の変動はみられなかった。

2. 動作開始時間について

各被検者の右肘関節伸展時における動作開始時間の変動を図4に示した。トレーニング回数が増加するに従って動作開始時間の遅延傾向を示した subj.

Mor. についてみると、トレーニング前の183.3msecから第3週の240.6msecまで急激な遅延傾向を示すが、その後は第9週の186.4msecを除き、およそ200~230msecの範囲を変動した。同様の傾向を示した subj. Muk. については、トレーニング前の159.7msecから第4週の214.2msecまでゆるやかな遅延傾向を示し、その後は第7週の195.3msecまで短縮する傾向にあった。また、トレーニング回数が増加するに従って動作開始時間の短縮傾向を示した subj. Sug. についてみると、トレーニング前で175.2msec、第4週で159.2msec、第9週で116.2msecであった。また、subj. Yat. についてみると、トレーニング前の129.0msecから第6週の129.6msecまではほぼ一定の値を示し大きな変動はみられなかったが、第8週で116.3msec、第9週で143.9msecとやや変動する結果を示した。

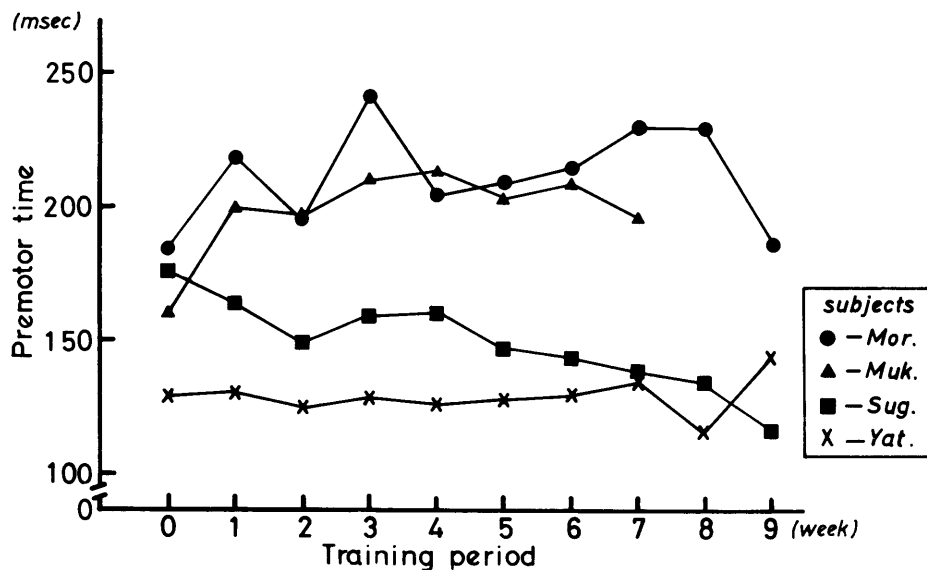


図4. 右肘関節伸展動作時における動作開始時間の変化

3. 動作時間について

各被検者の右肘関節伸展時における動作時間の変動は、図5に示すように一定の傾向は観察されな

った。subj. Mor. についてみると、トレーニング前で84.9msec、第3週で84.6msec、第6週で87.4msec、第9週で93.5msec とほぼ一定の値を示した。subj. Muk. の動作時間は、第3週の137.7msec を

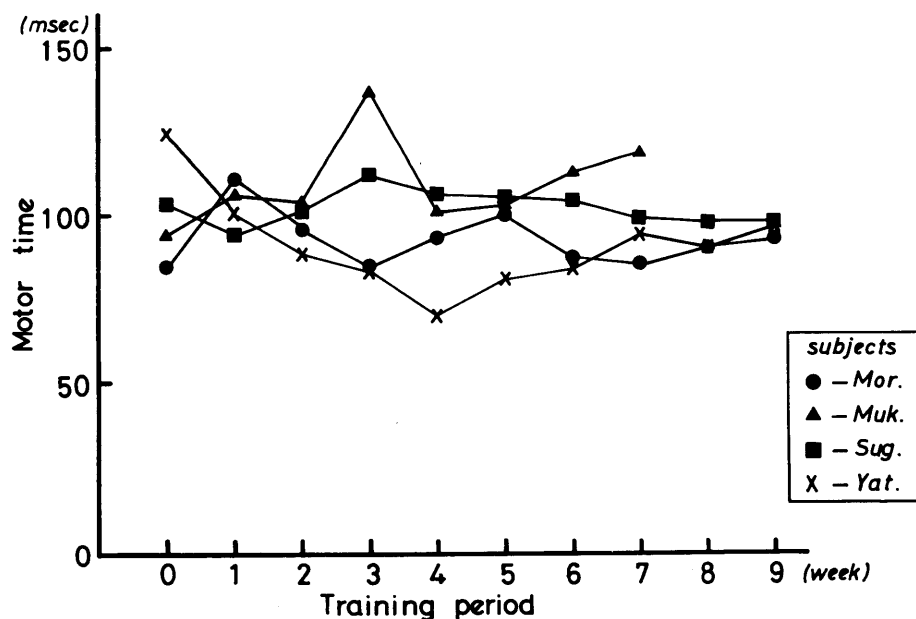


図5. 右肘関節伸展動作時における動作時間の変化

を除きトレーニング前の94.3msecから第7週の119.4msecまで遅延する傾向にあった。subj. Sug.

の動作時間は、トレーニング前で103.5msec、第3週で112.1msec、第6週で104.7msec、第9週で

98.3 msec とほぼ一定の値を示した。subj. Yat. の動作時間は、トレーニング前の124.7msec から第4週の70.0msec まで短縮するが、その後は第9週の97.1msec まで遅延する傾向にあった。

4. 単位時間当りの筋力上昇率について

本実験における単位時間当りの筋力上昇率は、力

曲線の最大立ち上がり角度を計測し、この $\tan \theta$ から算出した。各被検者の右肘関節伸展時における単位時間当りの筋力上昇率の変動を図6に示した。

subj. Mor. についてみるとトレーニング前で 239kg/sec、第4週の 416kg/sec とトレーニング回数が増加するに従って単位時間当りの筋力上昇率は増大した。その後、第6週では 226kg/sec と一時小さな値

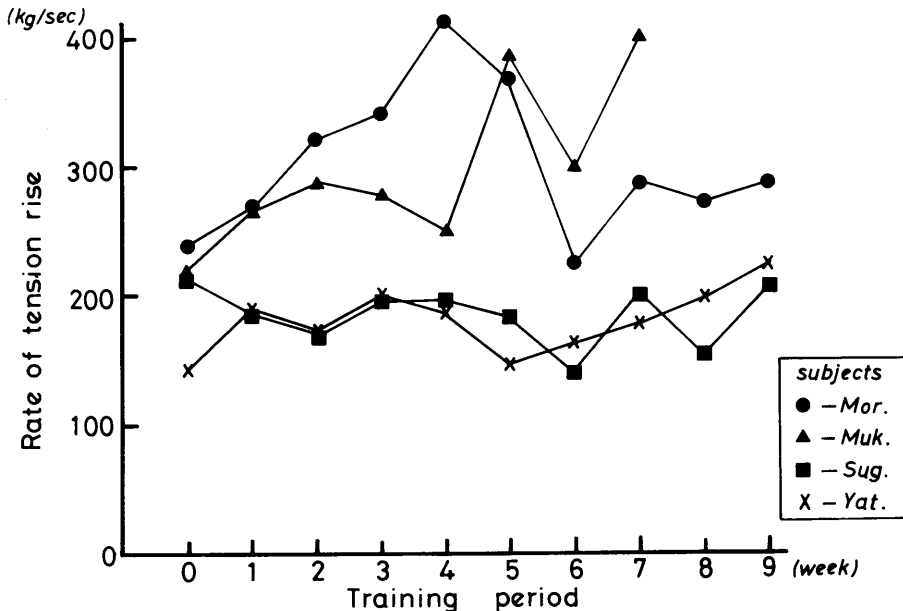


図6. 右肘関節伸展動作時における筋力上昇率の変化

を示したが、第7週以後ではおよそ280kg/sec とほぼ一定の値を示す傾向にあった。subj. Muk. についてみると、トレーニング前で219kg/sec、第3週で 278kg/sec、第7週で399kg/sec とトレーニング回数が増加するに従って単位時間当りの筋力上昇率は増大した。また、subj. Sug. についてみると、トレーニング前で214kg/sec、第2週で170kg/sec とトレーニング回数の増加にともなって単位時間当りの筋力上昇率は減少したが、第6週の140kg/sec、第8週の156kg/secを除き、第3週から第9週までおよそ200kg/sec のほぼ一定の値を示した。subj. Yat. についてみると、トレーニング前の142kg/sec から第3週の201kg/sec までトレーニング回数の増加に従って単位時間当りの筋力上昇率は増大する傾向にあったが、その後第5週の146kg/sec まで減少し、その後再び第9週の228kg/sec まで増大する傾向を示した。

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筋放電の休止期が出現^{6), 8), 9)}する。これまでに報告されてきた complete p. s. p. 出現率は、乳幼児の上肢屈伸動作を対象とした場合、上腕二頭筋に約10%であり¹⁾成人の単純反応動作における肘関節伸展動作時の場合、右上腕三頭筋に14% (S. D. 22%)、左上腕三頭筋に18% (S. D. 16%) と報告されている。¹³⁾筆者ら¹⁰⁾は、complete p. s. p. 出現率と運動部所属年数との関係について観察し、右肘関節伸展時におけるこの出現率は、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、運動部所属年数

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。本研究では、in-complete p. s. p. を除いた complete p. s. p. の出現率についてのみ注目し、その出現率を求めた。本研究における被検者のトレーニング前の complete p. s. p. 出現率は、右上肢の場合 subj. Mor. で72%、subj. Muk. で38%、subj. Sug. で44%、subj. Yat. で18%、左上肢の場合はそれぞれ36%、6%、26%、16%であり、これまでの成人を対象とした報告¹³⁾にみられる出現率より高い値を示している。このことは、subj. Mor. を除いていずれも運動部に長期間所属しており、先の報告¹⁰⁾と一致した結果を示した。

本研究は、これらの被検者を対象として、週平均3回の頻度で7～9週間の肘関節伸展動作による単純反応のトレーニングを実施した。その結果、complete p. s. p. 出現率は、subj. Mor., Muk. のように増加傾向を示すタイプと subj. Sug., Yat. のように減少傾向を示すタイプにわかれた。本実験における complete p. s. p. 出現率の変化の著しいトレーニング前と第2週の動作開始時間を比較すると、complete p. s. p. 出現率の増加した subj. Mor. では188.3msec (S. D. 33.81msec) から195.0msec (S. D. 19.51msec)、subj. Muk. では159.7msec (S. D. 20.00msec) から196.5msec (S. D. 15.27msec)へと遅延する傾向を示した。また、complete p. s. p. 出現率の減少した subj. Sug. では175.2msec (S. D. 20.90msec) から148.6msec (S. D. 15.33msec)、subj. Yat. では129.0msec (S. D. 17.99msec) から125.0msec (S. D. 10.75msec)へと短縮する傾向にあった。また、筋収縮速度の指標である単位時間当りの筋力増加率をみると、complete p. s. p. 出現率の増加した subj. Mor. では239.2kg/sec (S. D. 21.30kg/sec) から323.8kg/sec (S. D. 10.83kg/sec)、subj. Muk. では219.0kg/sec (S. D. 15.74kg/sec) から289.9kg/sec (S. D. 9.54kg/sec)へと著しく増大する傾向にあった。一方、complete p. s. p. 出現率の減少した subj. Sug. では213.7kg/sec (S. D. 29.68kg/sec) から170.2kg/sec (S. D. 10.31kg/sec)へと減少する傾向がみられた。しかし、subj. Yat. では141.6kg/sec (S. D. 10.82kg/sec) から174.5kg/sec (S. D. 12.65kg/sec)へとやや増大する傾向にあった。これまでに動作前 silent period の出現は、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、素早く筋収縮速度を高めることに関与しているといわれている。¹³⁾筆者ら¹¹⁾は、complete p. s. p. の

出現した試行と出現しなかった試行を比較し、complete p. s. p. の出現した試行では動作開始時間を遅延させる反面、単位時間当りの筋力上昇率を大きくし、筋収縮速度を増大させる作用のあることを明らかにしてきた。これらの報告から、検者の「光刺激に対してできるだけ素早く肘関節を伸展させよ」という指示に対して、動作開始時間をできるだけ短縮させようと努力した者と、検者が各試行終了後に動作前 silent period 出現の有無を被検者に知らせたことから、動作前 silent period の出現に注目し、筋収縮速度の増大に努力した者とがいることを示唆している。従って、「光刺激に対してできるだけ素早く肘関節を伸展させよ」という指示に対して、被検者の意識が動作開始時間あるいは筋収縮速度のいずれに重点を置くかによって、complete p. s. p. 出現率はかなり変化するものと思われる。

一般に、筋力や筋持久力のトレーニングを課すと、最大筋力あるいは作業回数が増加し、機能の向上がみとめられる^{3),7)}。しかし、本研究における敏捷性トレーニングでは、動作前 silent period 出現率が増加傾向を示す者(2名)、減少傾向を示す者(2名)に分かれる結果を示した。Gatev¹¹⁾は、発育とともに動作前 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 出現率が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⁵⁾は、敏捷性の高い運動選手の動作前 silent period の持続時間は短いと報告し、これ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、鍛練者において短いためと推察している。さらに笠井ら⁴⁾は、刺激に対して下方向へ押すという急速な反応動作を用いて30回(1回30試行)の練習を与え、上腕三頭筋に出現する動作前 silent period 出現率とその持続時間の変化を観察した。その結果、動作前 silent period 出現率は、第8回目までは上昇するが、それ以後では次第に低下した。また、その持続時間は、出現率と対応するかのように変化し、第4～第8回目までは延長するが、その後では短縮したと報告している。これらの結果をもとに、彼らは、動作の敏捷な切り換えが可能になった者では最終的に中枢内で消費される時間がゼロ近くになり、動作前 silent period が出現しなくなる可能性のあることを指摘している。従って、動作前 silent period 出現率の減少傾向を示した者については、①先に述べたように動作開始

時間を短縮させることに注目したことによる、②トレーニングが最終段階に達し、動作前 silent period の持続時間が極めて短縮されたことによる、あるいは③生得的な要因によることなどが考えられるが、いずれについても明確ではなく、今後検討されなければならない問題である。

一方、トレーニングを課さなかった左上肢の complete p. s. p. 出現率の変化をみると、増加したものは subj. Mor., Muk., 減少したものは subj. Sug., 変化のみられなかったものは, subj. Yat. という結果を示した。右上肢と左上肢の complete p. s. p. 出現率の変動を比較すると, subj. Mor. では右上肢で第1週目、左上肢で第3週目、subj. Muk. では右上肢で第1週目、左上肢で第5週目まで増加傾向を示し、その後はほぼ一定の出現率を示している。また、subj. Sug. では左右上肢ともトレーニング前から第9週目にむかって徐々に complete p. s. p. 出現率が低下した。subj. Yat. では右上肢の出現率が第8週目に向って低下したのに対し、左上肢ではあまり著しい変化がみとめられなかった。この結果は、右上肢の単純反応動作のトレーニングが左上肢の動作前 silent period 出現率を変化させ、しかもその出現率の変化は、右上肢の complete p. s. p. 出現率が増加する場合にはそれに対応して左上肢の出現率も増加し、右上肢の出現率が減少する場合はそれにつれて左上肢の出現率も減少することを示している。このことについては、対側肢の活動様相に関する報告の中に交叉性教育、連合運動などがあり²⁾ 一側肢の筋力トレーニングを行なうと、その効果が対側肢にも及ぶもので、その発現機構は、中枢性促進効果であるといわれている。従って、本研究においても一側肢の敏捷性トレーニングの効果が対側肢にも影響を及ぼし、動作前 silent period 出現率に変化を与えたものと思われる。

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、動作に先行して主動筋に 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、右上肢および左上肢に出現する動作前 silent period の出現率の変動を手掛りとして、このような敏捷性トレーニングが神経系におよぼす影響を究明しようとした。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(トレーニング肢)に出現する complete p. s. p. 出現率は、トレーニング回数が増加するに従って、出現率が増加するタイプと減少するタイプとが存在した。

2) 左肘関節伸展動作時(非トレーニング肢)に出現する complete p. s. p. 出現率は、トレーニング回数が増加するにつれて、右上肢の出現率が増加した者では左上肢も増加し、右上肢の出現率が減少した者では左上肢も減少、もしくはほぼ一定となる傾向にあった。

3) 右肘関節伸展動作時の動作開始時間は、トレーニング回数が増加するにつれて、complete p. s. p. 出現率が増加する者では遅延する傾向にあり、出現率が減少する者では短縮する傾向がみられた。

4) 右肘関節伸展動作時の動作時間は、トレーニング回数が増加しても complete p. s. p. 出現率の増減に関係なく、一定の傾向が観察されなかった。

5) 右肘関節伸展動作時の単位時間当りの筋力上昇率は、トレーニング回数が増加するにつれて、complete p. s. p. 出現率が増加する者では増大する傾向にあり、出現率の減少する者では小さくなる傾向がみられた。

参 考 文 献

- 1) Gatev, V., "Role of Inhibition in the Development of Motor Coordination in Early Childhood," Develop. Med. Child Neurol., 14: 336-341, 1972.
- 2) Green, J. B., "An Electromyographic Study of Mirror Movement," Neurol. 17: 91-94, 1967.
- 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「神経及び筋活動の切替機構からみたパフォーマンスの向上」第5回バイオメカニクス国内セミナー予稿集, p.34, 1980.
- 6) 猪飼道夫「動作に先行する抑制機構」日本生理誌, 17: 292-298, 1955.
- 7) 猪飼道夫, 石井善八, 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, 渡辺和彦, 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, 1974.
- 9) 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: 390-395, 1978.

- 10) 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.
- 11) 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.
- 12) 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.
- 13) 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.