先行抑制の運動パターン **presetting** 依存性の検討

笠 井 達 哉*

DEPENDENCE OF PREMOTOR INHIBITION ON PRESETTING OF MOVEMENT PATTERN

TATSUYA KASAI

Many studies have been conducted on the monosynaptic reflex (H-reflex) changes which occur before a voluntary movement in man. Especially, it has been shown that there were the changes of H-reflex prior to the rapid plantarflexion movement which was called the premotor inhibition.

In the present study, the changes in soleus H-reflex prior to a choice reaction time (RT) were studied, giving the special attention to the possible functional difference of motor patterns to generate the premotor inhibition during a period when the physiological mechanisms involved in the movement.

The changes of H-reflex were measured in choice RT experiment in 9 and 6 male subjects under the different two conditions: (a) selection of the response sides (left or right plantarflexion)-the movement pattern was known before the presentation of a response signal; and (b) selection of the movement patterns (plantar or dorsiflexion)-the response side was known before.

The premotor inhibition was observed only in case of (a), and was dependent on a prerequisite for movement patterns. Moreover, the physiological significance of this phenomenon was indeed related to a presynaptic inhibition, and was related to a modulation of alpha-motoneurone excitability by the pyramidal system. Thus, the premotor inhibition might be related to central motor preprogram controlling pre-synaptic inhibition on the reflex pathways.

(J. Physical Fitness Japan 1983, 32 : 278-284)

I. は じ め に

反応動作開始直前に一過性の抑制現象が存在することはよく知られている。矢部らは、動作開始前の筋放電休止期 (**silent period**) の変化からこの抑制現象に関する一連の報告を行っている¹⁵⁾¹⁶⁾²²⁾²³⁾²⁵⁾。それらによると、反応動作開始前の抑制現象は上位中枢の先行性抑制信号の振舞による全身性に認められる現象であるとされている。そしてその発現機序に関しては未だ不明な点が多いが、機能的意義に関して運動の習熟度との関係が論議されている⁶⁾²⁴⁾²⁶⁾²⁷⁾。

この抑制現象の解明に筋放電休止期と同様有効

な方法としてH波の変化をパラメータにするやり方がある。これは刺激呈示から反応動作開始までの潜時 (**latent period**) に下肢ヒウメ筋からH波を記録しそのタイム・コース上での振幅変化を検討するというやり方である¹⁷⁾。筆者はすでにこの方法を使って単純反応動作における先行抑制について報告してきた⁷⁾⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾¹⁸⁾。それらによると、この先行抑制現象は反応動作開始前 (反応動作による筋放電開始時からみて) 50~100 msec の間に存在し、70~80 msec 頃がその抑制は最大である。しかも実際に反応動作を行わない対側肢にも反応肢と同期して先行抑制現象は存在していた。これは先行抑制が全身性の同時抑制であるとする

* 国士館大学体育学部体育心理学研究室

Kokushikan University, Faculty of Physical Education, Laboratory of Motor Behavior, 4-28-1, setagaya, setagaya-ku, Tokyo (154)

根拠となっている、反応動作を行わない部位にも筋放電休止現象が認められる事実とよく対応していた。また反応動作に対する準備状態の影響については、この先行抑制動作に対する末梢性の構え（いわゆる筋放電休止期の出現をみる場合の準備状態）には影響されないで出現した。しかし中枢性の構え（予告刺激の有無）の違いによってはその現われ方に変化が認められた。つまり、予告刺激が与えられない場合に先行抑制はより著明に出現した。これら一連の報告から、単純反応動作を開始する際、その運動指令に先行して上位中枢から一過性の抑制指令も同様に発せられていることが示唆される。しかしこれらの報告にある反応動作は前もって決められた1つの刺激に1つの応答を行うという反応動作である。このことから先行抑制は反応動作に先立って前もって上位中枢内にすでに形成されている運動指令に基づく現象ではないかと推定される。

このように前もって決められた1つの刺激に対して1つの決まった応答を行うという単純反応動作に対して、実際の反応動作の中にはいくつかの刺激のうち特定の刺激に対してのみ応答する、いわゆる“go or no-go”の反応動作（弁別反応）や、いくつかの刺激にそれぞれ応答するという選択反応動作などがある。これらを刺激の呈示と反応動作の決定時期という時間的前後関係からみれば、単純反応および弁別反応は行うべき反応動作は刺激の呈示前にすでに決定されている（presetting）のに対し、選択反応では刺激の呈示後に反応動作が決定されるという反応事態の違いがある。そこで、先行抑制がある反応動作の開始に先立ってすでに上位中枢内に形成されている運動指令を反映したものかどうかを検討するためにはこの弁別反応動作と選択反応動作の開始に伴うH波の変化をみていけば有益な手がかりが得られるものと考えられる。弁別反応動作に伴う先行抑制の出現様式についてはすでに報告した¹¹⁾。それによると先行抑制は弁別反応動作事態でも著明に出現した。このことから運動パターンと反応肢が反応に先行して、presetting されている時には先行抑制は常に出現することがわかった。

そこで本報告は、選択反応動作に伴うH波の変化を反応潜時のタイム・コース上に記録しながら

ら、運動パターンは presetting されているが反応肢は反応刺激呈示後に判明するという反応事態（左右肢の選択反応動作）と、反応肢は presetting されているが、運動パターンは反応刺激呈示後に判明するという反応事態（右下肢による背屈か底屈の選択反応動作）において先行抑制はどのような出現の仕方をするものかを調べた。この結果から先行抑制の運動パターン presetting 依存性の有無について検討しようとした。

II. 実験 I 左右肢底屈選択反応動作について

1. 目的

先行抑制が反応動作の開始に先立って行うべき運動プログラムが中枢にすでに presetting されているという状態では、その反応動作が単純反応動作、弁別反応動作にかかわらず著明に認められた。それでは、反応動作は同じであっても左か右かという左右足関節の底屈選択反応動作においてはこの先行抑制現象はどのような現われ方をするものなのであろうか。

ここでとり扱う選択反応事態は、反応刺激呈示後あらかじめ形成されている運動プログラムを左か右かという反応動作を行うべき下肢にその運動指令をプログラムし指令を下すというものである。単純反応動作において非反応肢にも反応肢と一致して先行抑制は存在していた（ゴースト運動）⁵⁾⁸⁾²⁰⁾ことから、この場合両側性に先行抑制が出現する可能性が推測される。しかし、左右肢の選択という反応事態では単純反応動作の場合とは異なって他からの異なった修飾の関与が考えられる。つまり Michie ら¹⁴⁾の報告している片側性促進現象の出現する反応事態であることから、反応肢と非反応肢においては異なったメカニズムが関与し、それが先行抑制の出現にある種の修飾をおよぼしている可能性が考えられる。このことから実験 I として反応肢の選択における先行抑制の現われ方を検討しようとした。

2. 方法

被験者は、神経的疾患のない健康な男子大学生 9名であった。薄暗くしたシールドルーム内で被験者をベッド上に仰臥位にさせた。この状態でH波を記録するために両下肢膝窩部の胫骨神経刺激

点にボルト状の刺激電極を軽く圧迫するように装着した。H波導出のための電気刺激(SEM-7103; 日本光電社製)の強度は、M波閾値の1.1~1.2倍(個人差はあるが約35~120 V)で1 msec durationの矩形波を与えた。この時刺激強度が常に一定であることの規準をM波の波形からコントロールした。不関電極として15×5 cmの長方形銅板を包帯でくるみ100%食塩水にひたしたものを記録電極と刺激電極の中間部に装着し接地した。H波導出の記録電極は、アキレス腱部上方2~3 cmのヒラメ筋上にその電極間距離3~5 cmで装着した。H波は時定数0.03秒で増幅器を通してメモスコープ(ATAC-350; 日本光電社製)上に記録した。

被験者の眼前1.5 mの所に左右10 cmの間隔に光刺激装置を設置した。この光刺激は実験者の「ヨーイ!!!」の口頭による予告刺激後3~5秒のランダムな時間間隔で左か右のどちらかの光が点燈するようになっている。被験者は左の光刺激点燈に対して左足関節の底屈反応を、右の光刺激点燈に対して右足関節の底屈反応動作を行うことが求められた。この時光刺激呈示と同期してH波を反応潜時のランダムな時に得た。このために光刺激呈示と電気刺激呈示の時間間隔(RS-ES interval)を0, 40, 80, 120, 160, 200 msecの6段階に変化させた。それぞれの段階で左底屈反応14回、右底屈反応14回合計168回の試行をランダムに行わせた。測定に入る前に数回の練習を行わせ被験者が十分慣れたところで測定に入った。

メモスコープ上に記録されたH波と反応動作によるEMGから、H波はそのピークからピークまでの振幅を、EMGの活動開始までの潜時をEMG-RTとして1 msec単位で計測した。H波の振幅変化を知るために、測定開始直前およびRS-ES intervalの変更時、そして測定終了直後に光刺激呈示のみで反応動作は行わないように指示した状態でH波をそれぞれ5~10回ずつ測定した。それらの平均値の間に差のないことを検討してからこれらのすべてのH波を平均(100%)し同時に標準偏差を求めた。この平均値をH波振幅の規準値としてそれぞれ反応潜時のH波振幅との比を求め考察の対象とした。また、反応潜時のタイム・コース上のH波の位置はH波の潜時(約30

msec)とRS-ES intervalの時間を加えたものをEMG-RTから差し引くことから得た。つまり、反応動作によるEMGの放電開始によって示される反応動作の開始時点を基点とした。

3. 結果

図1は、左右の底屈選択反応動作における反応潜時のH波の変化を記録したものである。最上段のトレースは左右肢のH波のコントロールを示している。左側のトレースは左下肢足関節の底屈反応動作の場合、右側のトレースは右下肢足関節の底屈反応動作の場合である。

図2は図1の結果をもとに反応動作の開始時点

Fig. 1. H-reflex recordings of both soleus muscles prior to occurrence of EMG onset. Filled triangles indicate the EMG onset at ankle plantarflexion. Control H-reflex records were obtained at rest. L-Res.; left ankle plantarflexion. R-Res.; right ankle plantarflexion.

Fig. 2. Pre-motor inhibition revealed prior to the EMG occurrence of the presetting motor response (plantarflexion). Amplitudes of the soleus H-reflexes of both legs (ordinate) are plotted during the latent period prior to voluntary response and expressed as a percentage of control H-reflex. Negative values indicate that H-reflex occurs before the EMG onset and positive values after (abscissa). Control records (cont.) obtained at rest shows 100% (ordinate). The vertical bars represent one standard deviation of the mean above and below the mean values. A and B shows H-reflex changes in case of left leg response. C and D shows those in case of right leg response. A and C indicate H-reflex changes of left soleus muscle. B and D indicate H-reflex changes of right soleus muscle.

を基準にタイム・コース上にH波の変化をプロットした一例を示した。図中AとBは左足関節の反応動作の時のH波の変化（Aは反応肢，Bは非反応肢）を示し，CとDは右足関節の反応動作の時のH波の変化（Cは非反応肢，Dは反応肢）を示している。これより，先行抑制現象は反応肢に関係なく出現した。しかも右足関節の反応動作の場合は特に著明に出現した(D)。そして，非反応肢には特に著明とは言えなかった(C)。左足関節の反応動作の場合，反応肢の先行抑制は著明でなかった(A)が，非反応肢には先行抑制が著明に出現していた(B)。他の7例においても同様の結果(ただし一例はH波の著明な変化を示さなかった)を示したことから先行抑制は左右下肢の底屈選択反応動作事態においても出現するといえた。

III. 実験 II 右下肢足関節による背屈，底屈選択反応動作について

1. 目的

今までの著者の報告と実験Iの結果から，先行抑制は運動パターンが presetting されている反応事態では常に出現した。つまり，先行抑制はある反応動作において運動パターンが preprogram されている時には常に出現するといえる。このことから先行抑制は反応動作を発現する運動制御過程の中に前もってすでに組み込まれている1つの制御系の中で駆動するものと考えられる。この考え方を証明するためには，運動パターンが presetting されていない反応事態において先行抑制は出現しないことをみればよいことになる。そこで，実験

IIとして反応肢は **presetting** されているものの下肢足関節の背屈か底屈かという運動パターンは **presetting** されていない反応事態における先行抑制の出現の仕方について検討した。

2. 方法

被験者は神経的疾患のない健康な男子大学生6名であった。実験Iで使用した光刺激呈示装置を光が上か下かに点燈するように設置した。実験者の口頭による“ヨーイ”の予告刺激後2～5秒のランダムな時間間隔で上か下かの光刺激を呈示した。この時、被験者は上の光が点燈した時は背屈反応動作を、下の光が点燈した時は底屈反応動作を行うように教示した。H波のとり方、測定回数、データーの処理方法等はすべて実験Iの場合

と同様であった。ただし、H波は右下肢ヒラメ筋のみから導出した。

3. 結果

図3に底屈反応動作(A)と背屈反応動作(B)における反応潜時でのH波の変化をタイム・コース上にプロットした一例を示した。残り5名の被験者も同様の傾向を示した。

これより、底屈反応動作の場合のみについてみると(A)、先行抑制の存在は認められなかった。また、すでに報告したように¹⁰⁾ 反応動作の開始(EMGの出現時、横軸の0の点)に先行してH波導出筋が主働筋となる反応動作である底屈反応ではH波の増大が、H波導出筋とは拮抗筋関係になる反応動作である背屈反応においてはH波は抑

Fig. 3. Disappearance of pre-motor inhibition revealed prior to motor programming response. Corresponding graphs A and B show the time course of premotor inhibition obtained varying positions of elicited H-reflexes during latent period. The inset EMG records of soleus (S) and tibialis anterior (T) muscles show an examples of H-reflex changes in case of plantar (A) and dorsiflexion (B). Filled triangles indicate the EMG onset at ankle plantarflexion (A) and dorsiflexion (B). The upper plotted graph (A) indicate that the pre-motor inhibition disappears. Calibration; 1 mV and 50 msec. Remainder of legends as for Fig. 2.

制されることが認められた。

IV. 考 察

実験 I, II および筆者が今まで報告してきた結果より, 先行抑制はその反応動作の主働筋に反応の運動パターンが前もって presetting されている時に出現することが多い。そして, 反応の運動パターンが前もって presetting されている状態であれば, その反応事態が単純であろうと弁別であろうとまた選択反応動作であろうとそうした反応様式の違いにはあまり強く影響されないといえる。

先行抑制に関与する神経生理学的背景はシナプス前抑制だとされており³⁾¹⁹⁾, 反回抑制(recurrent inhibition)は反応動作による筋の収縮中に駆動され, 直接には関与しないと考えられる¹²⁾。シナプス前抑制の機能的意義は今だ完全に明らかになってはいないが⁴⁾ 神経的障害者(例えばパーキンソン病)などの報告から²¹⁾, 運動の発現に際しては動的にはたらく神経機序というよりは固定化したもののよう考えられる。また, 動物を使ったシナプス前抑制の運動ニューロンへの直接的な結合を調べた報告では, 大脳皮質の電気刺激によって脊髄にシナプス前抑制を示す電位変化が認められている。そしてこのメカニズムがある種の反射の出現を修飾しているという¹³²⁾。これらの報告から, 随意運動に先行して出現する先行抑制はその神経生理学的背景としてシナプス前抑制が関与し, その発現は動的というよりも静的で固定化されたものであるから, ある反応動作がその発現に先行して presetting されている時のみに作動すると考えられる。つまり Abdelmouméne らの報告¹⁾にもあるように, 大脳皮質のある特定の部位に preprogram された運動が遂行される時のみ作動すると推察される。そしてシナプス前抑制を惹起する介在ニューロンは, 先行抑制の発現に際しては上位からの運動指令に強く依存し³⁾, Kots ら¹³⁾の言う“tuning”を脊髄レベルで惹起し, その強弱によって先行抑制の出現が修飾されるものと考えられる。

V. ま と め

左右の底屈選択反応動作という反応肢の選択反応事態と背屈か底屈かという片足による運動パ

ターンの選択反応事態において, 反応潜時にH波を記録しその振幅変化から先行抑制の出現に関わる神経生理学的機序について検討した。得られた結果は以下のごとくであった。

1. 反応肢の選択反応, つまり運動パターンが presetting された状態では先行抑制は出現した。

2. しかし, 背屈か底屈かという運動パターンの選択反応では先行抑制は出現しなかった。

以上の結果から, 先行抑制に関わるシナプス前抑制は反応に先行して運動パターンが presetting されている時のみ駆動するものと推察した。このことから, シナプス前抑制を惹起する介在ニューロンは上位中枢に preprogram された運動指令に強く依存して発動すると推察した。

本研究の一部は昭和57年度文部省科学研究補助金一般研究C(課題番号: 57580075)によった。本論文の要旨は第32回日本体育学会(神戸)と第37回日本体力医学会大会(出雲)において報告した。

(受付 昭和57年12月23日)

文 献

- 1) Abdelmouméne, M., Besson, J.-M. and Aléonard, P. (1970): Cortical areas exerting presynaptic inhibitory action on the spinal cord in cat and monkey. *Brain Res.*, **20**, 327-329.
- 2) Andersen, P., Eccles, J.C. and Sears, T.A. (1962): Presynaptic inhibitory action of cerebral cortex on the spinal cord. *Nature (London)*, **194**, 740-741.
- 3) Delwaide, P.J. (1973): Human monosynaptic reflexes and presynaptic inhibition. —An interpretation of spastic hyperreflexia—. *New Developments in Electromyography and Clinical Neurophysiology*, edited by Desmedt, J.E., Vol. 3, pp. 508-522, Karger, Basel.
- 4) Granit, R. (1970): The basis of motor control. Academic Press, London and New York, pp. 159-162.
- 5) 伊藤正男(1979): 随意運動のメカニズム. *自然* **34**(9), 88-97.
- 6) 笠井達哉, 館山 昭(1980): 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**(10), 745-749.

- 7) 笠井達哉(1977): 随意動作前後およびイメージ再生時の誘発筋電図(H波)の変化について. スポーツ心理学研究, **4**, 14-19.
- 8) 笠井達哉, 中原凱文(1979): 随意動作開始前のH波の変化. 体力科学, **28**, 299-306.
- 9) 笠井達哉(1980): 構えとH波. 島村宗夫・中村隆一編「運動の解析—基礎と臨床応用」, pp. 81-90, 医歯薬出版, 東京.
- 10) 笠井達哉(1980): 下肢底屈・背屈同時動作開始前の抑制現象. 体育の科学, **30**(3), 209-213.
- 11) 笠井達哉(1982): 足関節底屈反応動作(GO or NO-GO) 開始前の抑制現象. 体力科学, **31**, 266-268.
- 12) Katz, R., Pierrot-Deseilligny, E. and Hultborn, H. (1982): Recurrent inhibition of motoneurons prior to and during ramp and ballistic movements. Neuroscience Letters, **31**, 141-145.
- 13) Kots, Ya. M. and Zhukov, V. I. (1971): Supraspinal control of the segmental centres of the muscle-antagonists in man-III. "Tuning" of the spinal apparatus of reciprocal inhibition in the period of organization of voluntary movement. Biofizika, **16**, 1085-1091.
- 14) Michie, P.T., Clarke, A.M., Sinden, J.D. and Dluce, L.C.T. (1975): Lateral facilitation of Hoffmann-reflexes prior to voluntary movement in a choice reaction time task. Appl. Neurophysiol., **38**, 191-196.
- 15) 三田勝己, 青木 久, 矢部京之助(1978): 随意動作に先行する silent period の出現と静的準備状態の関係. 医用電子と生体工学, **16**(6), 390-395.
- 16) 三田勝己, 青木 久, 矢部京之助(1980): 随意動作に先行する silent period の出現条件の検討. 体力科学, **29**, 169-176.
- 17) 三田勝己, 青木 久, 矢部京之助(1982): 反応動作開始における運動ニューロンの興奮水準の変化過程. 医用電子と生体工学, **20**, 162-169.
- 18) 中原凱文, 笠井達哉(1978): 誘発筋電図に関する実験的研究(2): 発声動作前後のH波の変動性について. 体力科学, **27**, 19-24.
- 19) Pierrot-Deseilligny, E. and Lacert, P. (1973): Amplitude and variability of monosynaptic reflexes prior to various voluntary movements in normal and spastic man. New Developments in Electromyography and Clinical Neurophysiology, edited by Desmedt, J. E., Vol. 3, pp. 539-549, Karger, Basel.
- 20) Requin, J. (1969): Some data on neurophysiological processes involved in the preparatory motor activity to reaction time performance. Acta Psychologica, **30**, Attention and Performance II, edited by Koster, W.G., pp. 358-367.
- 21) 柳沢信夫(1976): パーキンソン病の脊髓反射. 文部省特定研究「難病」班—難病の発症機構に関する基礎的研究, 昭和50年度研究業績集, pp. 440-443.
- 22) 矢部京之助, 村地俊二(1975): 随意動作に先行する silent period の役割. 日本生理学雑誌, **37**, 91-98.
- 23) 矢部京之助(1976): 対側肢にみられる silent period の発現機構. 体育学研究, **21**, 11-17.
- 24) 矢部京之助, 村地俊二, 田巻義孝(1975): 随意動作の習熟. 臨床脳波, **17**, 406-413.
- 25) 矢部京之助, 三田勝己, 青木 久, 塚原玲子, 見松健太郎(1982): 姿勢変化にともなう動作前 silent period の出現. 臨床脳波, **24**, 401-405.
- 26) 脇田裕久, 水谷四郎, 東海政義, 三田勝己, 青木 久, 矢部京之助(1979): 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.
- 27) 脇田裕久, 長井健二, 八木規夫, 矢部京之助(1981): 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.