

足背屈運動によるヒラメ筋 H 反射抑制機構の姿勢依存性

川西 正行・笠井 達哉*・矢作 晋**

Posture-Dependence of Soleus H-reflex Depression
Induced by Ankle Dorsiflexion.

Masayuki Kawanishi, Tatsuya Kasai and Susumu Yahagi

Abstract

The present study test whether soleus H-reflex depressions from normal subjects during isotonic ankle dorsiflexion is due to reciprocal inhibition and this might be modulated by varying postures (sitting and standing). The main findings of this study are summarized as follows:

1. Effects of different postural conditions on soleus H-reflex depression were as following two observations: ① The onset of H-reflex depression started 40–50 ms before the onset of ankle dorsiflexion in the standing condition, but in the sitting condition, the onset of H-reflex depression just started at the onset of ankle dorsiflexion, ② Amount of H-reflex depression was larger in the standing condition than that in the sitting condition.

2. The EMG activity of quadriceps femoris muscle was clearly observed in the standing condition at the onset and during ankle dorsiflexion, but was not in the sitting condition.

Those results suggest that increasing amounts of reciprocal inhibition are correlated with and dependent upon the preceding postural condition for voluntary movement, i.e., modulation of reciprocal inhibition seems to be dictated by the difference in functional demand between sitting and standing posture.

Key word: Soleus H-reflex, Posture-dependence, Ankle dorsiflexion, Sitting and standing.

1. 緒 言

ヒトが様々な随意運動を遂行する際、われわれの脳はその随意運動を遂行する環境条件の違いに相応して、随意運動指令を様々に変えて効率的な随意運動の遂行を実現している。言い換えれば、われわれの脳はその時の環境条件を巧みに読み込んで、随意運動の遂行に関する脊髄反射機構を制御して効率的な随意運動を遂行している。

このような例は下肢筋を使ってよく調べられている。例えば、足背屈運動においては、主動筋である前脛骨筋には運動開始前からすでに単シナプス反射 (H 反射) の促通現象が起こり、拮抗筋として働くヒラメ筋には抑制が出現することがわかっている^{6, 10, 12, 15)}。そして、前脛骨筋 H 反

* 広島大学大学院国際協力研究科, ** 広島修道大学経済科学部

射の促通動態とヒラメ筋 H 反射の抑制動態に関しては、筋収縮力の違い、運動の強さおよび運動の速さなどの随意運動の遂行要因との関わりから詳細に調べられてきた^{3,5,6,7,10,11,12,13,14,17)}。特に、足背屈運動に伴うヒラメ筋 H 反射の抑制に関しては、随意運動の開始前後の早期に出現する中枢性抑制、それに続いて主動筋の筋放電開始後 100ms 以降に出現する強い抑制 (G1a 感覚入力による拮抗筋抑制) が関わるということがわかっている^{3,5,14)}。また、Sindo ら¹⁷⁾ は、前脛骨筋の筋収縮力を段階的に増大させた場合、ヒラメ筋 H 反射の抑制量も漸増することを報告し、脊髄の相反抑制機構は随意運動指令によって修飾を受けることを示した。

このように、これまでの報告では前脛骨筋とヒラメ筋が主に関わる足背屈運動の遂行に際して、両筋を主動筋と拮抗筋の関係として捉え、その相反抑制機構が随意運動の遂行上どのような条件下で修飾を受けるかについて明らかにされてきた。

このような相反抑制機構は、随意運動の遂行に伴う姿勢条件とどのような関係をもつものなのであろうか。河合ら¹⁰⁾ は、踵部挙上動作の遂行時にヒラメ筋および前脛骨筋の H 反射が相反的な変化を示すことを報告しているが、随意運動遂行時の姿勢の違いが脊髄の相反抑制機構にどのような影響を及ぼすかについては検討されておらず、未だ不明のままである。そこで本報告では、ヒラメ筋の重要な機能の 1 つが姿勢調節筋として働くことから考えて、随意運動を遂行する際の姿勢の違いは、相反抑制機構の発現に重要な影響を与えるのではないかと考え、その影響の有無を検討しようとした。すなわち、座位と立位姿勢で足背屈運動を遂行した時のヒラメ筋 H 反射の変化の動態を検討した。したがって、本報告の目的は足背屈運動を反応時間課題で行った際、姿勢調節筋として重要な役割を果たしているヒラメ筋の運動ニューロンが、座位姿勢条件と立位姿勢条件でどのような活動性の違いを示すかを調べ、この抑制機構の駆動の仕方の違いが姿勢調節の神経生理学的機序とどのような関わりをもつかを明らかにしようとすることである。

II. 方 法

被験者は、健康な成人男子 8 名 (年齢 21~31 歳) であった。被験者には事前に実験手順を説明し、同意を得た後に実験を実施した。運動課題は単純反応条件下での等張性収縮による足背屈運動であった。被験者は、座位姿勢条件では膝および足関節の角度がそれぞれ 180 度、120 度となるように座り、予告信号後に呈示される反応信号に対し、両足同時による素早い足背屈運動を行うよう教示された (図 1A 参照)。立位姿勢条件では被験者は壁から 20cm 離れた位置に立ち、肩の位置を壁に持たれ掛け、腰部は伸展した状態 (バックサポート状態) で同様の課題を行った (図 1B 参照)。バックサポートのない立位姿勢の状態では足背屈運動が安定して行えず、身体全体のバランスをとる動きが加わり、目的とする運動課題を正確に筋電図上に反映できないと考えられた。そこで、座位姿勢条件に最も近い状態で、足背屈運動の遂行が可能な立位姿勢条件を作るためにこのようなバックサポート状態を設定した。この条件下では、足関節角度 (120 度) も両者で一定に保つことが可能で、安定した反応動作の遂行が可能であった (図 1 の A と B の姿勢の模式図参照)。

筋電図は、足背屈運動の主動筋である左右の前脛骨筋 (TA)、右側の大腿四頭筋 (QF) および右側のヒラメ筋 (Sol) から、双極表面誘導法により時定数 0.03 秒、ハイカット・フィルター 3 kHz で生体増幅器 (日本光電社製、AB-621G) により増幅し、記録した。筋電図の記録は、サンプリング周波数 5 kHz で A/D 変換し、コンピュータで画像表示した。ヒラメ筋 H 反射は、右脛骨神経を膝窩部にて 1 ms の矩形波で電気刺激することから得た。なお、安静時において両

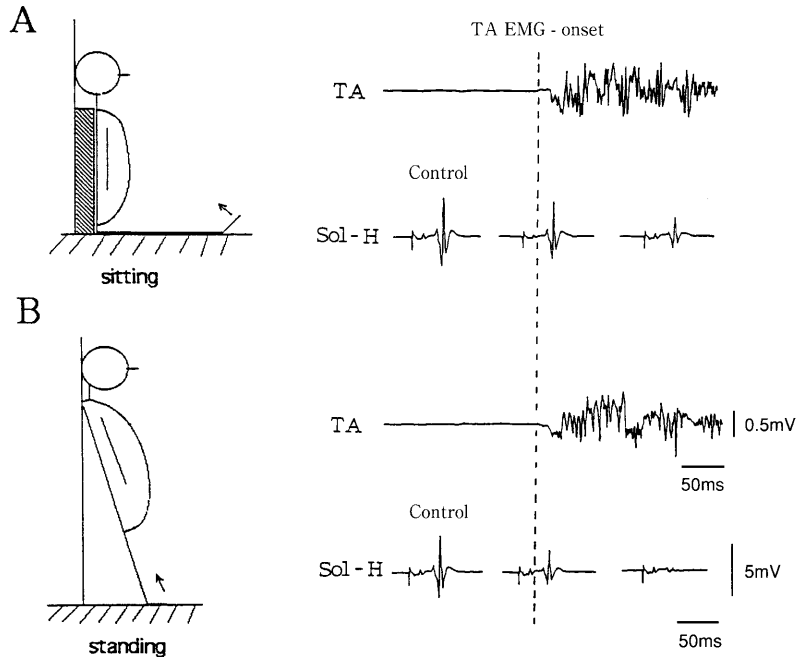


Fig. 1 Typical EMG recordings (upper trace) and soleus H-reflexes (lower traces) corresponding to the EMG onset of TA (vertical dashed line) in the sitting (A) and in the standing (B) condition, respectively. Under both conditions, inhibitions of H-reflex were observed after ankle dorsiflexion. Especially, amounts of H-reflex inhibition were larger in the standing condition than those in the sitting condition.

条件（座位とバックサポート立位）ともに前脛骨筋とヒラメ筋に background EMG は見られなかった。

反応時間課題と H 反射を組み合わせる場合、H 反射の誘発によって随意運動の遂行に伴う筋活動の出現（筋電図反応時間）に遅延が起こる⁹⁾。そこで本実験では、H 反射を導出する側と反対側の前脛骨筋の筋活動出現時点を随意運動の開始時点として採用することとした。左右同時動作に伴って生じる反応動作の左右差は、事前の練習で数 ms 内に減少し、誤差を無視できる範囲内であった。H 反射を導出するための電気刺激強度は、両姿勢条件とも安静時の最大 H 反射振幅に近いところに設定した。その理由は、このような姿勢条件では H 反射の動揺が大きくなりがちであること、そして、抑制現象の観察では大きめの H 反射を指標とした方が有利なことによる¹⁹⁾。この際、両姿勢間で安静時の H 反射（コントロール H 反射）の大きさがほぼ同じ大きさになるように細心の注意を払った。この条件下ではほとんどの場合 M 波も同時に出現しており、この M 波の変化をモニターしながら、電気刺激条件が常に一定となるように刺激条件をコントロールした。結果として、各被験者の試験 H 反射の大きさは、最大 M 波の 25～50% の範囲内であった。電気刺激は反応信号呈示から適当な時間間隔で与え、導出したヒラメ筋 H 波はランダムに記録した。

III. 結 果

図 1 の右側の筋電図記録は、座位姿勢条件（A）と立位姿勢条件（B）での実際の H 反射の

記録例を示した。両条件ともにコントロール時に比べて、足背屈運動開始以降でH波の抑制が観察された。さらに、立位姿勢条件では座位姿勢条件に比べて運動開始後の抑制量が大きかった。そこで、座位姿勢条件と立位姿勢条件における足背屈運動がヒラメ筋H反射に及ぼす影響の違いをタイムコース上で検討した結果を図2に示した。Aは得られたH反射の振幅を足背屈

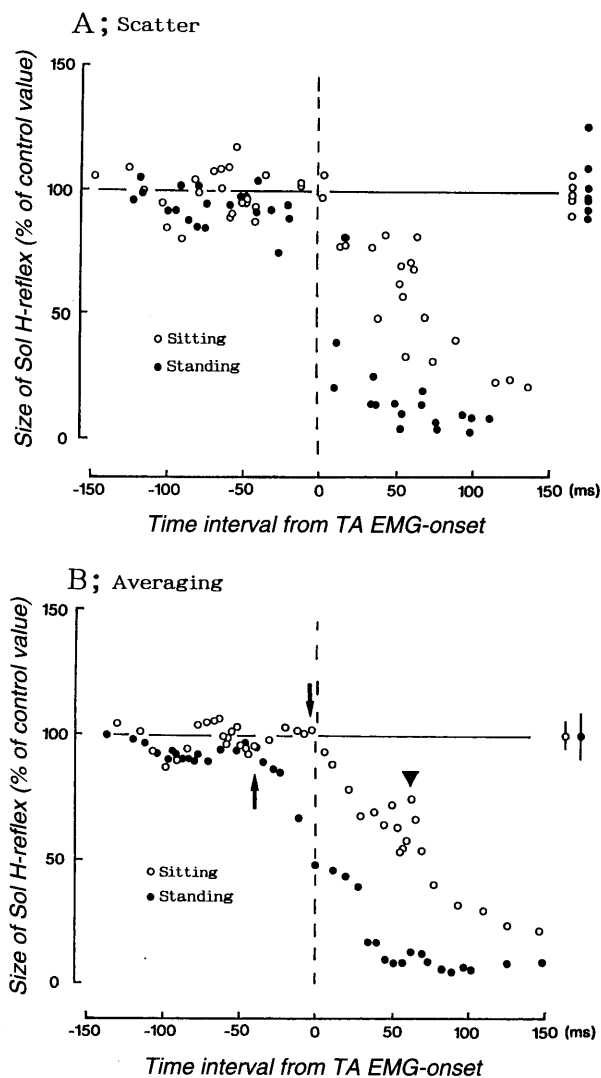


Fig. 2 Changes in excitability of Sol H-reflexes in the sitting and in the standing condition. (A) Scatter plot of changes in Sol H-reflexes as a function of reciprocal inhibition with respect to the EMG onset of TA (0; vertical dashed line). Filled circles show excitability changes of the standing condition and open circles show those of the sitting condition. (B) Sol H-reflexes data as shown in A were smoothed with a 5-points moving average. The abscissa shows the time interval between the Sol H-reflex and the EMG onset of TA (0ms; negative values for preceding H-reflexes), and the ordinate shows the scale of Sol H-reflexes (% of the value at rest). Arrows show the onset of Sol H-reflex depression in both condition. A triangle shows a reduction of H-reflex depression before secondary H-reflex inhibition. Amplitude calibration are shown to the right side with standard deviations (filled circle is the standing and open circle is the sitting condition, respectively).

運動開始時点を経点としてコントロール H 反射との比でプロットしたものであり、B はこれらを 5 点移動平均法で平滑化して示したものである。その結果、座位姿勢条件では足背屈運動開始時点から H 反射の抑制が始まり、時間経過とともにその抑制量が大きくなっていくことが観察された。そして、足背屈運動開始後 50ms 頃に一時的にこの抑制が促進側に傾き (図 2B 中の ▼印)、以後再び強い抑制が出現した。これらの結果は Morin & Pierrot-Deseilligny¹⁴⁾ が座位姿勢ですでに調べた報告と同様の結果であった。それに対して、立位姿勢条件では足背屈運動開始時点のおよそ 40ms 前から H 反射の抑制が始まり、以後その抑制は顕著に増大していった。

ところで、本実験では試験 H 反射の大きさを最大 H 反射振幅近くに設定した。これまでの報告では、主動筋の筋放電出現前後の抑制が観察されない場合として、試験 H 反射の大きさが大きすぎたことが原因として挙げられている⁵⁾。また、脊髄反射機構を H 反射を使って検討する際、使用する試験 H 反射の大きさの違いは結果の出現動態に重要な意味を持つこともすでにわかっている^{1,2)}。そこで、前述の現象が本当に神経生理学的機序を反映したものなのか、あるいは、ただ単に試験 H 反射の大きさに依存した現象なのかを検討するために、同一被験者内で試験 H 反射を大きくした場合と小さくした場合について比較・検討した結果を図 3 に示した。試験 H 反射の大きさに違いがあったにもかかわらず、足背屈運動開始前後の時間経過にしたがって、両姿勢条件での H 反射の抑制量に前述と同様の違いが認められた。この被験者の場合、両条件とも足背屈運動開始前から抑制が出現した。すなわち、立位姿勢条件の方が座位姿勢条件に比べて抑制開始時点が早く (図 3 の矢印)、その抑制量も大きかった。このことは、足背屈運動開始前後に出現する抑制現象は、試験 H 反射の大きさの違いに関係しない普遍的な神経生理

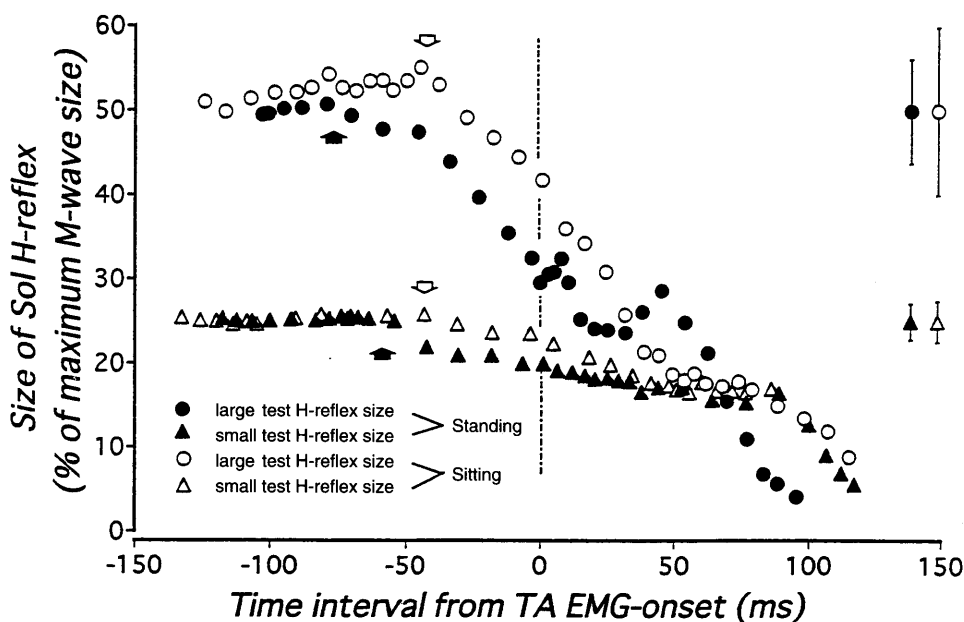


Fig. 3 Changes in excitability of Sol H-reflexes in the sitting and in the standing condition by different test H-reflex sizes (ordinate; as a percent of maximum M-wave size). Symbols and scales are the same illustrations as shown in Fig.2. Circles show the results of large test H-reflex size and triangles show the results of small test H-reflex size, respectively. Both results are similar to those shown in Fig.2.

学的現象であるといえる。しかも、この抑制は足背屈運動を行う際の姿勢の違いに依存して、その出現動態が修飾を受けることを示していた。

そこで、図4は図2で認められたH反射の抑制現象を簡略化してわかりやすく示すために、全被験者8名の結果を足背屈運動遂行の時間経過の中で40ms間隔毎に区切り、その区間のH反射の平均値と標準偏差を示したものである。図2の結果と同様、座位姿勢条件では、足背屈運動開始頃からH反射の抑制が始まり、時間経過とともにその抑制量が大きくなることが観察された。立位姿勢条件では足背屈運動開始の40~50ms前からH反射の抑制が始まり、以後その抑制は顕著に増大していった。立位姿勢条件でのこれらの抑制量は、座位姿勢条件のそれに比べて、特に動作開始後20ms付近からは有意に増大していた(20ms: $p < 0.05$, 60ms: $p < 0.05$, 100ms: $p < 0.01$)。

このように両姿勢条件下でヒラメ筋H反射の抑制に違いが生じた原因を運動学的に調べるために、両姿勢条件下で前脛骨筋、大腿四頭筋およびヒラメ筋の筋電図の出現動態の違いを検討した。図5は実際の筋電図記録例である。前脛骨筋とヒラメ筋の筋電図記録では、両姿勢条件下で顕著な違いは認められなかったものの、大腿四頭筋の関与の仕方が立位姿勢条件下では座位姿勢条件下に比べて明らかに大きくなっていた(図5の▲印)。この事実は、座位姿勢条件に比べて立位姿勢条件下では、同じ足背屈運動を遂行する上で、大腿部の関与が必然的に増大することを示していた。

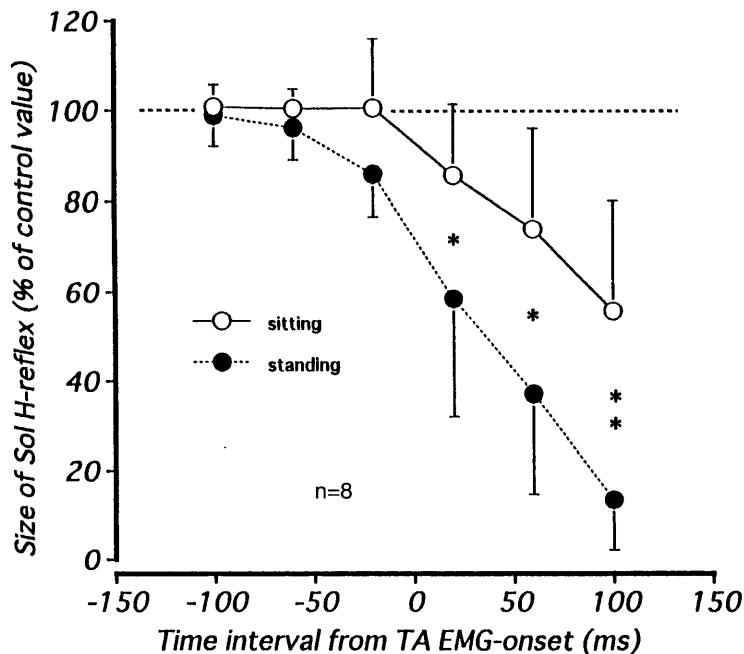
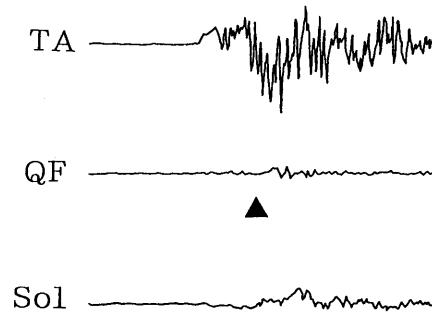


Fig. 4 Changes in excitability of Sol H-reflexes from pooled data obtained from eight subjects. Each circle represents the grand mean for all subjects evokes between 20 ms of the indicated time. Bars show standard deviations. Open circles represent the mean of sitting condition and filled circles represent the mean of standing condition, respectively. The abscissa and ordinate are similar illustration as shown in Fig.2 and 3. Asterisks show significant levels (*; $P < 0.05$, **; $P < 0.01$).

A; Sitting



B; Standing

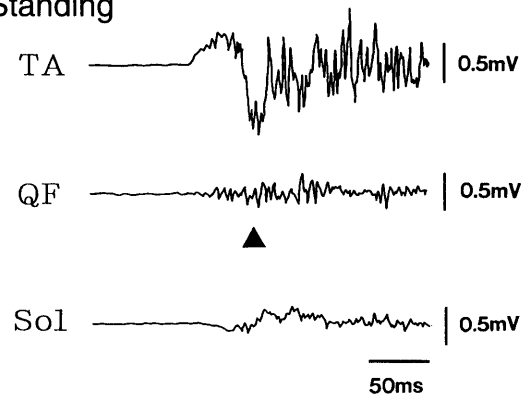


Fig. 5 Typical EMG activity records of ankle dorsiflexion in the sitting (A) and in the standing (B) condition. Those records show EMG activities of TA(upper trace), QF(middle trace) and Sol(lower trace). The discharge of QF EMG was larger in the standing condition than those in the sitting condition (see EMG activities indicated by filled triangles in the figure).

IV. 考 察

単純反応動作条件下での足背屈運動を、座位姿勢条件と立位姿勢条件（バックサポート状態）で行わせ、その時の姿勢条件の違いがヒラメ筋運動ニューロンの活動性にどのような影響を及ぼすかについて、H 反射の振幅変化を指標にして検討した。座位姿勢条件では足背屈運動開始と同時に H 反射の抑制が始まり、しかも、運動開始から 50ms 頃に一過性の促進現象が出現し、以後時間経過とともにその抑制量は増大した。立位姿勢条件では足背屈運動開始の 40～50ms 前から H 反射の抑制が始まり、時間経過とともにその抑制量は顕著に増大していった（図 2 と図 4）。しかも、両姿勢条件下で観察された H 反射の抑制は、量的には立位姿勢条件下で有意に大きかった。そして、立位姿勢では座位姿勢に比べて、同じ足背屈運動を遂行する上で大腿部の関与が増大していた（図 5）。

座位姿勢条件で足背屈運動を遂行する際、前脛骨筋の筋活動開始前後にヒラメ筋 H 反射の抑制が開始され、一過性の促通現象の出現後、100ms 以降に強い抑制が起こることはすでに報告されている。すなわち、Morin & Pierrot-Deseilligny¹⁴⁾ は、これらの抑制と促通の機序について、巧みな実験条件を設定して解析した。その結果、最初に出現する抑制は上位中枢から発せられる運動指令によって駆動される G1a 抑制性介在ニューロンによって惹起する抑制であり、足背屈運動を行った結果として一過性に生じるヒラメ筋の伸展反射による促通がこれに続く。以後、足背屈運動の遂行によって生じた前脛骨筋の筋紡錘から上行してきた G1a インパルスが、前述の G1a 抑制性介在ニューロンを介して強い抑制をヒラメ筋運動ニューロンに生じさせる。いわゆる相反抑制である¹⁸⁾。これらの結果は、等尺性筋収縮の条件下で得られた結果であったが、本実験のように等張性筋収縮の条件下でも、同様の現象が観察されたことから、これらのメカニズムは両条件下で同様に駆動されるものと考えられる。

しかし、このような H 反射を指標とした脊髄反射機構の検討では、試験 H 反射の大きさや筋収縮力の大小が結果に大きく影響する。そこで本実験では、筋収縮力は常に最大の等張性筋収縮であったことから影響は小さいと考え、試験 H 反射の違いによる影響を検討した。その結果、試験 H 反射が大きくても小さくてもこの抑制現象の出現はほとんど影響を受けなかった (図 3)。すなわち、その抑制量は立位姿勢条件下で座位姿勢条件下に比べて常に大きくなった。したがって、この抑制回路は、従来から報告されているように、その時の運動の遂行条件や運動ニューロンプールの条件に依存すると同時に、足背屈運動を遂行する時の姿勢条件にも強く依存して出現する神経機構であることが強く支持される⁸⁾。

図 5 の筋電図記録で示したように、立位姿勢では座位姿勢に比べて足背屈運動を遂行する時に大腿四頭筋がより強く関わるようになる。大腿四頭筋からの G1a 入力、ヒラメ筋には単シナプス性に促通効果をもつ⁴⁾。したがって、座位姿勢に比べて立位姿勢で大腿四頭筋の筋放電が大きかったことから、立位姿勢時では座位姿勢時に比べてヒラメ筋 H 反射に対して強い促通効果が及ぶはずである。しかし、本実験で得られた結果はその反対で、より強い抑制であった。このことは、座位姿勢に比べて立位姿勢では中枢からの強い下行性抑制機構が働くことを示唆している。したがって、座位姿勢条件と立位姿勢条件ではその背景となる姿勢調節機構の関与が大きく異なった条件下にあり、その条件下で同じ足背屈運動を遂行していることになっているものと考えられる。すなわち、同じ随意運動を遂行する場合でも姿勢条件が異なると、その随意運動の遂行に関わる姿勢調節機構の駆動の仕方が異なってくることを示唆している。

以上のことから、姿勢条件の違いが足背屈運動を遂行する際のヒラメ筋 H 反射の活動性に及ぼす影響についてまとめてみると以下のように考えられる。

1 つは、ヒラメ筋 H 反射の抑制現象の開始は座位姿勢条件よりも立位姿勢条件で早期に出現することである。これは、立位姿勢条件の場合、随意運動を遂行する前に脳内の上位運動中枢で姿勢に関する情報を事前に読み込み、その時の姿勢の状態と随意運動の遂行によって生じる影響 (随意運動の遂行の結果として必然的に生じる外乱) とを予測し、それに相応した運動指令を発している結果によるものと考えられる。しかし、座位姿勢条件の場合では姿勢の乱れは生じないのでそのような必要性はない。したがって、このような姿勢の違いによる運動指令の質的違いに相応して、両者の抑制の発現時期に 40~50ms の違いが生じたものと考えられる。

もう 1 つは、ヒラメ筋 H 反射の抑制量が座位姿勢条件よりも立位姿勢条件の方で大きかったことである。座位姿勢条件では身体の重量が臀部と下肢に分散している。バックサポートでの立位姿勢条件では、身体の重量は肩と足底部に分散してかかっているが、主に姿勢筋に重心の大部分が加わっている。したがって、座位姿勢条件に比べて、姿勢筋にかかる身体重量の大き

い立位姿勢条件の場合は、必然的に足背屈運動開始後に生じる外乱が大きくなる。そこで、姿勢の乱れを小さくするために、事前に姿勢筋（この場合はヒラメ筋）の抑制量を大きくすることで対処しているものと考えられる。その事実として、足背屈運動の遂行に関わる筋電図記録による運動学的解析では、姿勢条件の違いによって前脛骨筋の共同筋である大腿四頭筋の筋放電量は、立位姿勢条件で顕著に大きくなっていた（図 5）。これは、前述の足背屈運動の遂行に伴って必然的に生じる外乱の大きさの違いを示す証拠である。

V. 要 約

足背屈運動の結果生じるヒラメ筋運動ニューロンの抑制現象が、姿勢条件の違いによりどのような修飾を受けるかを H 反射を指標に検討した。その結果、以下のことがわかった：

1. 姿勢条件の違いによる足背屈運動のヒラメ筋運動ニューロンに及ぼす影響は、① H 反射の抑制の開始時点が、立位姿勢条件では足背屈運動開始時点より 40～50ms 早く始まり、座位姿勢条件では足背屈運動開始とほぼ同じ時点から始まった。② H 反射の抑制量は、立位姿勢条件の方が座位姿勢条件より大きかった。

2. 足背屈運動を行った際の大腿四頭筋の筋放電は、座位姿勢条件ではほとんどみられず、立位姿勢条件では顕著に出現した。

以上のことから、立位および座位姿勢条件下でみられた足背屈運動の動作開始前後にみられるヒラメ筋 H 反射の抑制は、先行研究の報告の通り上位運動中枢からの下行性運動指令が GlA 抑制性介在ニューロンに到達した結果生じたものと考えられる。そして、この中枢性抑制は、立位姿勢条件下では運動開始以前の早期から出現し、姿勢依存性が顕著に認められた。また、足背屈運動開始 100ms 以後に出現するヒラメ筋 H 反射の抑制量は、座位姿勢より立位姿勢条件下で大きくなり、これも強い姿勢依存性を示した。これは姿勢の違いによって生じる外乱の大きさに依存した結果と考えられる。立位姿勢条件での足背屈運動では、主運動に関わる筋（前脛骨筋）へのコントロールとは別に、GlA 抑制性介在ニューロンへの中枢性指令を介して、姿勢筋（ヒラメ筋）に対してもその時に必要な姿勢調節に関わる適切な運動指令を出して、身体全体を巧みにコントロールしていることが推察された。

文 献

- 1) Crone, C., Hultborn, H. and Jespersen, B. (1985) Reciprocal Ia inhibition from proneal nerve to soleus motoneurons with special reference to the size of the test reflex. *Exp. Brain Res.* 59: 418-422.
- 2) Crone, C., Hultborn, H., Mazieres, L., Morin, C., Nielsen, J. and Pierrot-Deseilligny, E. (1990) Sensitivity of monosynaptic test reflexes to facilitation and inhibition as a function of the test reflex size: a study in man and the cat. *Exp. Brain Res.* 81: 35-45.
- 3) Gottlieb, G.L., Agarwal, G.C. and Stark, L. (1970) Interaction between voluntary and postural mechanisms of the human motor system. *J. Neurophysiol.* 33: 365-381.
- 4) Hultborn, H., Meunier, S., Morin, C. and Pierrot-Deseilligny, E. (1987) Assessing changes in presynaptic inhibition of Ia fibers: a study in man and the cat. *J. Physiol. (Lond.)* 389: 729-756.
- 5) Kagamihara, Y. and Tanaka, R. (1985) Reciprocal inhibition upon initiation of voluntary movement. *Neurosci. Lett.* 55: 23-27.
- 6) Kasai, T. and Komiyama, T. (1988) The timing and amount of agonist facilitation and antagonist inhibition of varying ankle dorsiflexion force in man. *Brain Res.* 447: 389-392.
- 7) Kasai, T. and Komiyama, T. (1991) Antagonist inhibition during rest and precontraction. *Electroenceph. Clinic. Neurophysiol.* 81: 427-432.

- 8) Kasai, T., Kawanishi, M. and Yahagi, S. (1998) Posture-dependent modulation of reciprocal inhibition upon initiation of ankle dorsiflexion in man. *Brain Res.* 792: 159-163.
- 9) 笠井達哉, 小宮山伴与志 (1989) 誘発筋電図記録時の随意筋収縮開始時点の同定法—負荷運動速度の違いについて—. 国士館大学体育研究所報 8: 1-9.
- 10) 河合一武, 小宮山伴与志, 笠井達哉 (1992) 踵部挙上動作時の姿勢調節にかかわる下腿筋群の活動様式. *体育学研究* 37: 145-158.
- 11) 河合一武, 小宮山伴与志, 古林俊晃 (1994) 運動条件の違いが主動筋 H 反射の促通に与える影響. *体力科学* 43: 352-360.
- 12) 小宮山伴与志, 笠井達哉 (1988) 筋収縮力の違いが主動筋促通及び拮抗筋抑制に与える影響. *体育学研究* 33: 135-144.
- 13) 小宮山伴与志, 笠井達哉 (1993) 単純及び選択反応課題遂行時の主動筋 H 反射の促通動態. *体力科学* 42: 189-220.
- 14) Morin, C. and Pierrot-Deseilligny, E. (1977) Role of Ia effects in the soleus motoneurons inhibition during a tibialis anterior voluntary contraction in man. *Exp. Brain Res.* 27: 509-522.
- 15) Pierrot-Deseilligny, E. and Lacert, P. (1973) Amplitude and variability of monosynaptic reflexes prior to various voluntary movements in normal anspastic man. in Desmedt J. E. (Ed), *New Developments in Electromyography and Clinical Neurophysiology*, 3 (Karger: Basel): 538-549.
- 16) Simoyama, M. and Tanaka, R. (1974) Reciprocal Ia inhibition at the onset of voluntary movements in man. *Brain Res.* 21: 334-337.
- 17) Sindo, M., Harayama, H., Kondo, N., Yanagisawa, N. and Tanaka, R. (1984) Changes in reciprocal Ia inhibition during voluntary contraction in man. *Exp. Brain Res.* 53: 400-408.
- 18) Tanaka, R. (1974) Reciprocal Ia inhibition during voluntary movements in man. *Exp. Brain Res.* 21: 529-540.
- 19) 田中励作 (1986) H 反射—ヒトにおける神経生理学研究の一技法. *日本生理誌* 48: 719-734.
- 20) Kawanishi, M., Yahagi, S. and Kasai, T. (1999) Neural mechanisms of soleus H-reflex depression accompanying voluntary arm movement in standing humans. *Brain Res.* 832: 13-22.

—平成 11 年 9 月 22 日 受理—