

## 報告

足関節底屈・背屈による対側ヒラメ筋運動  
ニューロン興奮性への促通効果\*

稲田 剛久<sup>1)</sup> 船越 浩志<sup>2)</sup> 東 登志夫<sup>3)</sup>  
榊原 淳<sup>4)</sup> 大城 昌平<sup>4)</sup> 船瀬 広三<sup>3)</sup>

## 要旨

本研究では、足関節の底屈・背屈、及びその収縮強度の違いによる対側ヒラメ筋脊髄運動ニューロン興奮性に対する促通効果を健康成人8名においてH反射法を用いて検討した。その結果、ヒラメ筋運動ニューロン興奮性は底屈・背屈ともに促通され、その効果は収縮強度が増大すると大きくなり、また背屈よりも底屈の方が顕著であった。これらの結果は、収縮遠隔筋の筋紡錘活動による筋感覚入力に対側ヒラメ筋運動ニューロン興奮性に影響を及ぼしたものと考えられる。また、抗重力筋である足関節底屈筋群の特性を考えれば、底屈・背屈による促通量の違いは、主に収縮筋の筋紡錘の量によるものと推察された。

キーワード 遠隔筋収縮、促通手技、H反射

## はじめに

理学療法において、中枢性麻痺の自然回復の促進、運動機能の強化・向上をはかる手段として Facilitation techniques (促通手技) が用いられることは多い。促通手技は、Sherrington 以来の反射の概念による神経生理学を基盤として考えられてきており、脊髄運動ニューロンの興奮性に対するシナプス入力の空間的、あるいは時間的加重の原理を巧みに利用することで、筋活動の促通や抑制を可能にしようとするものである<sup>1)</sup>。例えば、臨床の場で簡便な腱反射増強法として知られている Jendrassik 手技は、下肢の腱反射を測定する際に、同時に上肢の筋を収縮させるもので、最も簡単に実施できる促通手技として広く用いられている。

このような被験筋と直接、協同あるいは拮抗関係にない筋の収縮による促通効果、いわゆる遠隔筋促通効果に

おいては、上肢や顎関節の随意運動に伴う下肢のH反射の亢進や下肢の随意運動に伴う上肢のH反射の亢進などが報告されている<sup>2-7)</sup>。しかし、被験筋に対して、どの筋を遠隔筋として収縮させるかについては、多様な組み合わせ条件が考えられ、これらの条件を系統的に扱った報告は少ない。

最近、我々は上肢遠隔筋収縮による下肢筋H反射、また下肢遠隔筋収縮による上肢筋H反射への促通効果について、それぞれの遠隔筋収縮側や収縮強度の違いから検討した<sup>8)</sup>。また、経頭蓋的磁気刺激法によって第1背側骨間筋より導出した運動誘発電位によって検査される皮質運動野錐体路ニューロン興奮性に対する下肢遠隔筋収縮による促通効果を収縮側の違いから検討した<sup>9)</sup>。

本研究では、拮抗関係にある足関節屈筋と伸筋の遠隔筋収縮による対側ヒラメ筋H反射への促通効果を検証することを目的とし、先行研究における結果と併せて、遠隔筋収縮による運動ニューロン興奮性への促通効果を系統的に検討した。

## 対 象

被験者は健康成人8名(男性7名、女性1名、平均年齢25.8±5.9歳)であった。被験者は神経学的病歴がなく、実験前に十分な研究に関する説明を行い同意を得た者であった。

\* Facilitation of the Contralateral Soleus Motoneuron Excitability Induced by Ankle Flexion

<sup>1)</sup> かたかべ医院 リハビリテーション科  
(〒852-8132 長崎県長崎市扇町2-22)

Takehisa Inada, PT: Katakabe Clinic

<sup>2)</sup> 菊地病院 リハビリテーション部

Hiroshi Funakoshi, PT: Kikuchi Hospital

<sup>3)</sup> 長崎大学医学部保健学科

Toshio Higashi, OT, Kozo Funase, PhD: School of Health Sciences, Nagasaki University

<sup>4)</sup> 長崎大学医学部附属病院

Atsushi Sakakibara, OT, Shouhei Ohgi, PT: University Hospital Attached to School of Medicine, Nagasaki University

(受付日 2001年5月19日/受理日 2002年3月16日)

## 方 法

図1に実験システム図を示す。実験肢位は、被験者に股関節屈曲70～80°、膝関節屈曲約70°、足関節底屈約10°で、安楽な座位をとらせ、両側下腿は固定装具にて固定した。実験は、まず左固定装具に設置したストレングージを用いて、各被験者の底屈・背屈それぞれにおいて最大随意収縮 (maximum voluntary contraction: MVC) 時の筋力値を測定した。そして、オシロスコープにモニターした反応線を目標線に合わせることでMVCの10, 20, 30, 50%の持続的な随意収縮を保持させ、その際の右ヒラメ筋のH反射を測定した。尚、予め被験者には、遠隔筋収縮の練習を行わせ、指示された筋以外は収縮させないように指示し、実験中はできるだけリラックスした状態を維持するように指示した。

ヒラメ筋H反射の導出は、右脛骨神経を膝窩部にて持続時間1msの矩形波で3秒毎に電気刺激し (日本光電社製電気刺激装置 SEN720 及び同アイソレーター SS102J)、右ヒラメ筋筋腹部に約2cm間隔で添付した表面電極より周波数帯域5Hz～3KHzで筋電位を増幅し (NECメディカルシステムズ製7S12)、各筋力収縮強度条件において16発を記録した。H反射の記録は足関節底屈・背屈の開始後、H反射が安定したことを確認した後開始した。刺激強度は、小さなM波が観察できるM波閾値直上 (最大H反射付近) とし、条件間における刺激の定常性を確保するために、M波の大きさをモニターで随時確認しながら条件間ではほぼ同じ大きさになるように適宜調節した。この際のヒラメ筋試験H反射の大きさは最大M波の20～50%であった。導出し

た筋電位はオンラインでA/D変換し、コンピューターに取り込み16回加算平均した。また、すべてのM波とH反射をもう1台のコンピューターにオンラインで取り込み、その振幅を自動計測した。A/D変換のサンプリングレートは10KHzであった。実験は、底屈・背屈の遠隔筋収縮強度条件を無作為に実施し、安静時のH反射振幅を基準にそれぞれのデータを比較・検討した。

統計処理は、各被験者における16発のH反射の振幅値をそれぞれの被験者で安静時のH反射振幅に対する相対値で表し、底屈・背屈収縮条件それぞれに、被験者と遠隔筋収縮強度を2要因とした2元配置分散分析法によって、被験者と遠隔筋収縮強度の交互作用が有意でないことを確認した上で、全被験者全試行のH反射の振幅値に対する遠隔筋収縮強度と底屈・背屈収縮条件を2要因とした2元配置分散分析法によって解析した。

## 結 果

図2に、実験で記録された安静時及び各実験条件下におけるヒラメ筋H反射の16回加算平均波形の典型例を示した。各条件下においてM波振幅はほとんど変化していないのに対して、対側足関節底屈・背屈によって対側ヒラメ筋H反射振幅は安静時に比較して増大していた。また底屈・背屈ともに収縮強度の増加に伴いH反射振幅は増大した。

表1に、全被験者、全試行での足関節底屈・背屈における対側ヒラメ筋H反射振幅の平均値の変化を示した。安静時に比較してヒラメ筋H反射振幅は遠隔筋収縮強度の増加に伴って有意に増大した ( $F_{3,1016} = 5.684$ ,  $p < 0.001$ )。また、底屈によるH反射振幅の増大は背屈によ

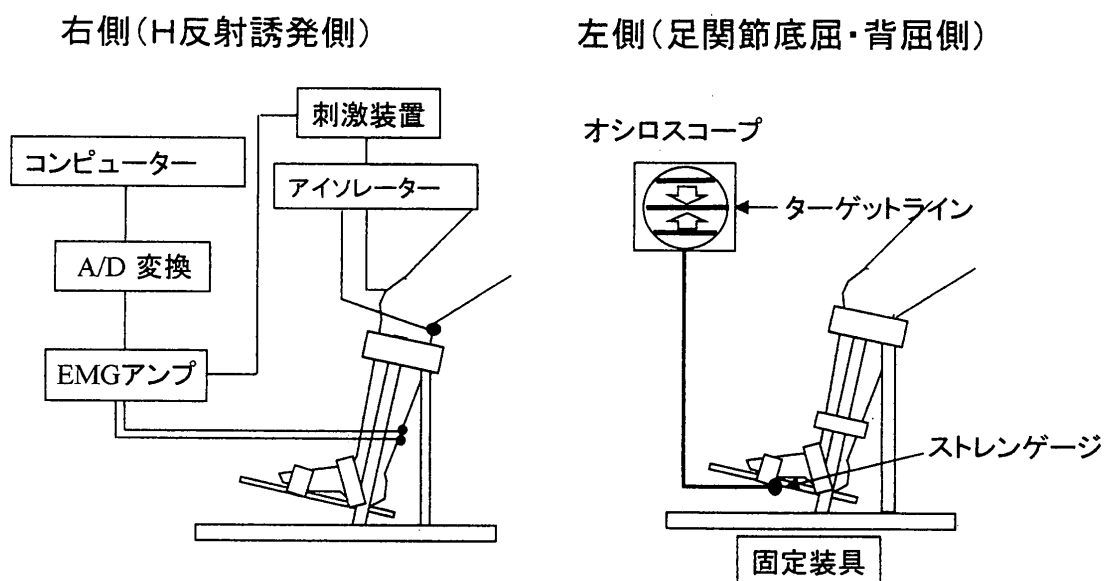


図1 実験システム図

A: ヒラメ筋H反射導出の実験システム

B: 足関節底屈・背屈時における筋出力提示システム

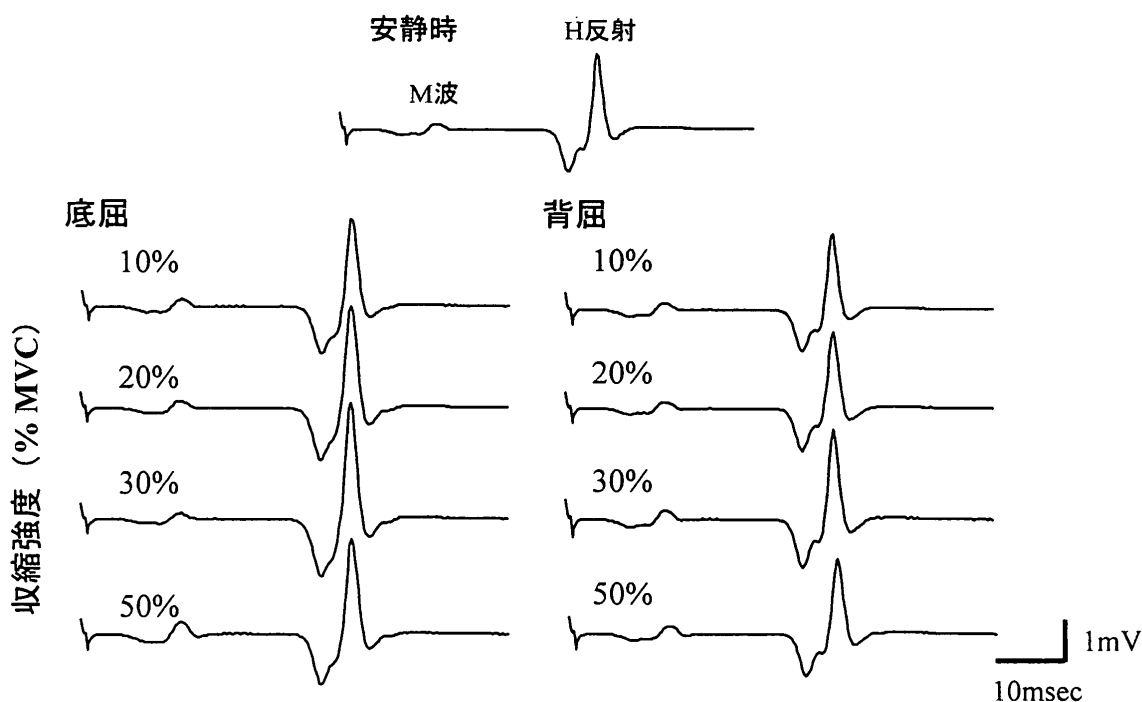


図2 安静時及び各収縮強度における底屈・背屈時のヒラメ筋H反射の加算平均波形（加算回数は各々16回）。

る増大に比べ有意に大きかった ( $F_{1,1016} = 103.286$ ,  $p < 0.0001$ )。交互作用はなかった ( $F_{3,1016} = 0.914$ ,  $p = 0.433$ )。

## 考 察

H反射は、筋紡錘1次終末から発するIa線維を経皮的に電気刺激することによって、その筋紡錘を含む筋を支配する脊髄運動ニューロンプールに含まれる運動ニューロンを単シナプス性に興奮させ、その遠心性信号を筋電図として捉えたものである。したがって、H反射の振幅はプール内で反射性に発火興奮する運動ニューロン数の増減に依存した変化を示し、その変化は脊髄運動ニューロン興奮性の変化を示すことになる。運動ニューロンには上位中枢からの下行性入力や末梢からの感覚性入力、髄節内経路からの入力収斂しており、これらの影響を受けて変化する。H反射の持つこのような特性を利用して、ヒトの脊髄反射機構や随意運動中における同機構の動態の解析などに広く用いられている<sup>10-13)</sup>。本研究では、足関節底屈・背屈による対側ヒラメ筋運動ニューロン興奮性への促通効果が観察され、その効果は底屈時においてより顕著なものであった。

H反射振幅を用いて条件間の比較検討を行う場合、刺激の定常性が確保されていたかどうか重要である。たとえH反射振幅に条件間での違いが認められたとしても、刺激条件が変化していれば同等に比較することはできないからである。そこで本研究では、刺激強度をわずかにM波が観察できるM波閾値直上（最大H反射付近）とし、条件間における刺激の定常性を確保するために、

表1 安静時H反射振幅に対する各遠隔筋収縮強度における底屈・背屈時のヒラメ筋H反射振幅平均値の変化

収縮条件	収縮強度 (%MVC)			
	10%	20%	30%	50%
底屈	119.4 ± 24.7	125.7 ± 35.9	129.5 ± 30.0	131.0 ± 31.3
背屈	107.3 ± 21.6	109.3 ± 18.0	110.1 ± 21.5	113.6 ± 26.7

対照を100%として百分率表示。

(mean ± SD)

M波の大きさをモニターで随時確認しながら条件間でほぼ同じ大きさになるように適宜調節した。したがって、本研究の結果示された、遠隔筋収縮条件（底屈・背屈）及び遠隔筋収縮強度におけるヒラメ筋H反射振幅の変化量の違いは、試験H反射の刺激強度に依存したのではないと考える。

遠隔筋促通の機序については、当初腱反射での促通効果が示されたことから、被験筋における筋紡錘の感受性の増強によるものと解釈され、 $\gamma$ 系活動の亢進が主たる原因とされてきたが、H反射にも同様の促通が見られること<sup>2-7)</sup>、局所麻酔による $\gamma$ 運動神経の選択的ブロックを行った直後においてもH反射の促通が認められたこと<sup>14-17)</sup>、下肢の虚血により筋紡錘からの求心性入力をブロックしてもH反射の促通は継続すること<sup>18)</sup>などから、その機序は $\gamma$ 系を介した促通効果のみでは説明できないことが近年明らかになってきている。しかしながら一方で、負荷運動を行う収縮筋群を支配する神経をブロックすると、被験筋の運動ニューロン興奮性への促通効果が見られないこと<sup>19)</sup>や、収縮筋に含まれる筋紡錘の数量がより促通効果に優位に影響を及ぼしているこ

と<sup>20)</sup>から、その機序には収縮筋の筋紡錘活動による筋感覚入力存在が必要であることが伺える。足関節底屈筋群が筋紡錘を多く含む抗重力筋であること<sup>21) 22)</sup>を考慮すれば、本研究で示された底屈時における対側ヒラメ筋反射への促通効果が背屈時よりも顕著であったことは、収縮筋に含まれる筋紡錘の量が影響しているものと考えられる。そうであるならば、底屈・背屈の収縮強度の増大に伴う促通効果も筋紡錘からの入力増大に伴うものであることが推察できる。また、脳血管障害等における中枢性麻痺においては、下肢では伸筋(抗重力筋)よりも屈筋における麻痺が強いといった臨床像を示すことから<sup>23)</sup>、伸筋では屈筋に比べ皮質脊髄路の投射が強い可能性が指摘されている<sup>24)</sup>。したがって、このような要因も今回の結果に影響している可能性が考えられる。

ところで、本研究と同様に拮抗関係にある屈筋と伸筋を収縮させた場合のヒラメ筋H反射への遠隔筋促通効果については富田らによる報告がある<sup>4)</sup>。この報告は、異なる3段階の収縮力で、右側の股関節・膝関節・足関節をそれぞれ屈曲・伸展させた計18種類の等尺性収縮を行わせた場合の対側ヒラメ筋H反射振幅の変化を検討し、足関節底屈及び膝関節伸展条件の一部にのみ促通効果が観察されたと報告している。したがって、その結果は底屈・背屈の両方において促通が認められた我々の結果とは若干異なる結果を示している。しかし、この背屈時の促通効果の違いについては、我々が個々の条件においてそれぞれ128発の波形を対象に統計処理をしているのに対し、富田らの報告においては加算して得られた7例のデータのみを対象としているため、その平均値において背屈条件ではH反射振幅の増大が認められながらも統計的有意差が検出されなかったものと思われる。

本実験では、遠隔筋収縮としての足関節底屈・背屈による対側ヒラメ筋運動ニューロンへの促通効果を観察したわけであるが、同様にH反射を用いた我々の先行研究<sup>8)</sup>における結果、すなわち上肢筋収縮による下肢筋運動ニューロンへの促通効果、及び下肢筋収縮による上肢筋運動ニューロンへの促通効果を考え合わせると、脊髄運動ニューロン興奮性に対する遠隔筋収縮の効果においては、収縮を行う遠隔筋が被験筋に対して対側であるか同側であるかによる促通効果量の違い、あるいは含有筋紡錘量の違いに依存すると思われる促通効果量の違いが観察できる。一方、経皮的磁気刺激法を用いた皮質運動野興奮性に対する遠隔筋収縮の効果を検証した我々の先行研究においては<sup>9)</sup>、運動野錐体路ニューロンの興奮性に対して、遠隔筋収縮が同側であっても対側であってもその促通効果量に違いはないことが観察された。つまり、脊髄レベルでは遠隔筋収縮による筋感覚入力量の違いやラテラルティに依存した促通効果の差異が認められるが、大脳皮質レベルでは筋感覚入力増大による促通

効果にそのような依存性は認められず、筋感覚入力量が両側性に統合されていることが伺われる。

今後は、さらに様々な遠隔筋収縮条件での実験を行い、より系統的な研究を行い、理学療法における促通手技効果の総合的な評価・治療につなげていきたいと考えている。

## 文 献

- 1) 中村隆一: Facilitation techniquesにおける神経生理学の知識. *リハ医学* 19(1): 41-45, 1982.
- 2) 河野 顕: H波の臨床応用上の基本的問題に関する研究. 第二報 Jendrassik 氏腱反射増強法に関連して. *千葉医会誌* 4: 377-383, 1966.
- 3) 藤原孝之, 石川友衛: 神経筋促通手技中のH波の変化. *総合リハ* 10(11): 1009-1014, 1982.
- 4) 富田 浩, 柳沢 健: 一側下肢筋の等尺性収縮が対側ヒラメ筋H波に及ぼす影響. *理学療法学* 20(4): 253-255, 1993.
- 5) 林 明人, 田中勳作: 遠隔筋の随意運動に伴うヒラメ筋H反射の促通動態. *臨床脳波* 33: 384-388, 1991.
- 6) Zehr EP, Stein RB: Interaction of Jendrassik maneuver with segmental presynaptic inhibition. *Exp Brain Res* 124: 474-480, 1999.
- 7) 宮原隆雄: ヒトのヒラメ筋H反射の噛みしめによる変調. *口病誌* 58: 670-686, 1989.
- 8) 榊原 淳, 東登志夫・他: 遠隔筋収縮による運動細胞興奮性の促通効果—収縮強度及び収縮側による違い—. *作業療法* 20(1): 45-51, 2000.
- 9) 田平隆行, 草野加奈・他: 遠隔筋収縮が運動野錐体路ニューロン興奮性に及ぼす影響—促通手技の理論的根拠に関する基礎的研究—. *作業療法*: 印刷中.
- 10) Funase K, Higashi T, *et al.*: Evident difference in the excitability of the motoneuron pool between normal subjects and patients with spasticity assessed by a new method using H-reflex and M-response. *Neurosci Letter* 203: 127-130, 1996.
- 11) Funase K, Higashi T, *et al.*: Inter-individual difference of motoneuron pool excitability assessed by H-reflex are associated with the presynaptic inhibition of Ia afferents. *Adv Exerc Spores Physiol* 4: 71-75, 1998.
- 12) Funase K, Miles TS: Observations on the variability of the H-reflex in human soleus. *Muscle & Nerve* 22: 341-346, 1999.
- 13) Higashi T, Funase K: Motoneuron pool excitability of hemiplegic patients: Assessing recovery stages by using H-reflex and M-response. *Arch Phys Med Rehabil* 82: 1604-1610, 2001.
- 14) Clare MH, Landau WM: Fusimotor function. Part 5—Reflex reinforce under fusimotor block in normal subjects—. *Arch Neurol* 10: 123-127, 1964.
- 15) Gassel MM, Diamantopoulos E: The Jendrassik maneuver I—The pattern of reinforcement of monosynaptic reflexes in normal subjects and patients with spasticity or rigidity—. *Neurology* 14: 555-560, 1964.
- 16) Gassel MM, Diamantopoulos E: The Jendrassik maneuver. II. An analysis of the mechanism. *Neurology* 14: 640-642, 1964.
- 17) Landau WM, Clare MH: Fusimotor function Part 4—Reinforcement of the H reflex in normal subjects—. *Arch. Neurol* 10: 117-122, 1964.
- 18) Bussel B, Morin C, *et al.*: mechanism of monosynaptic reflex reinforcement during Jendrassik manoeuvre in man. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 41: 40-44, 1978.

- 19) Delwaide PJ, Toulouse P: Function of monosynaptic reflexes by voluntary contraction of muscles in remote parts of the body. *Brain* 104: 701-719, 1981.
- 20) Dubner B, Sessel BJ, *et al.*: *The Neural Basis of Oral and Facial Function*. New York, Plenum, 1978.
- 21) Maier A: Difference in muscle spindle structure between pigeon muscles used in aerial and terrestrial locomotion. *Am J Anat* 168: 27-36, 1983.
- 22) Baker D, Milburn A: Development and regeneration of mammalian muscle spindles. *Sci Prog Oxf* 69: 45-64, 1984.
- 23) Burke D: Spasticity as an adaptation to pyramidal tract injury. *Adv Neurol* 47: 401-423, 1988.
- 24) Morita H, Crone C, Christenhuis D, Petersen NT, Nielsen JB: Modulation of presynaptic inhibition and disynaptic reciprocal Ia inhibition during voluntary movement in spasticity. *Brain* 124: 826-837, 2001.

〈Abstract〉

**Facilitation of the Contralateral Soleus Motoneuron  
Excitability Induced by Ankle Flexion**

Takehisa INADA, RPT  
*Katakabe Clinic*

Hiroshi FUNAKOSHI, RPT  
*Kikuchi Hospital*

Toshio HIGASHI, OT, Kozo FUNASE, PhD  
*School of Health Sciences, Nagasaki University*

Atsushi SAKAKIBARA, OT, Shouhei OHGI, RPT  
*University Hospital Attached to School of Medicine, Nagasaki University*

We investigated here the effect of both the intensity plantar and dorsi flexor muscle contractions on the contralateral soleus motoneuron excitability. Major findings in the present study were, 1) the soleus motoneuron excitability was significantly increased with an increase in intensity of the remote muscle contractions, and 2) the effect of plantarflexion induced a significantly more increase in the motoneuron excitability than dorsiflexion. Taking the function of the ankle extensor into account as the typical antigravity muscle, it is suggested that the difference of the amount of muscle spindle in the contracted muscle may induce the difference in facilitatory effect on the motoneuron excitability.