脳血管障害片麻痺患者における 下肢のH波, F波出現様式

*Characteristic Appearances of the H-reflex and F-wave in the Lower Extremity with
Increased Stimulus Intensity in Subjects with Cerebrovascular Disease*

山下 彰^{1,2)} 鈴木 俊明^{1,3)} 文野 住文¹⁾

AKIRA YAMASHITA, RPT^{1,2)}, TOSHIAKI SUZUKI, RPT, DMSc^{1,3)}, YOSHIBUMI BUNNO, RPT¹⁾

¹⁾ Graduate School of Kansai University of Health Sciences: 2-11-1 Kumatori-cho Wakaba, Sennan, Osaka 590-0482, Japan.
TEL+81 72-961-6888 E-mail: yamashita.no.heya@gmail.com

²⁾ Department of Rehabilitation, Bobath Memorial Hospital

³⁾ Clinical Physical Therapy Laboratory, Faculty of Health Sciences, Kansai University of Health Sciences

Rigakuryoho Kagaku 28(5): 563-567, 2013. Submitted Dec. 10, 2012. Accepted Feb. 8, 2013.

ABSTRACT: [Purpose] We examined the characteristic appearances of the H-reflex and F-wave of the soleus with increased stimulus intensity in subjects with hemiparesis caused by cerebrovascular disease (CVD) as a preliminary study to explore the clinical application of these appearances. [Subjects] The subjects were 10 patients with hemiparesis caused by CVD. [Method] With subjects supine, the H-reflex and F-wave were induced and recorded at the soleus with increasing stimulus intensity. Characteristic appearances were classified according to the method used by Suzuki et al. who classified the appearances into four patterns in cases of CVD with upper extremity involvement. [Results] Characteristic appearances of the H-reflex and F-wave of the soleus were classified as type 1 in 1 patient, and type 3 in 9 patients. We were able to classify them as two kinds, A and B, from the characteristic of the wave pattern. [Conclusion] The findings in patients with CVD revealed that the F-wave started appearing with the H-reflex with high-intensity stimuli. In the future, these findings can be used in an objective functional evaluation if combined with the functional evaluation of movement during the assessment of neurological function in physiotherapy.

Key words: cerebrovascular disease, H-reflex, F-wave

要旨:〔目的〕脳血管障害片麻痺患者のヒラメ筋の筋緊張評価における機能の評価指標となりうるかどうかを検証するために、刺激強度を増加させた際のH波、F波の出現様式で検討した。〔対象〕慢性脳血管障害片麻痺患者10名とした。〔方法〕背臥位にて刺激強度をH波が出現する弱刺激からF波が出現する最大上刺激まで増加させた時のヒラメ筋からのH波、F波の出現様式と神経学的検査成績との関連性を分析した。〔結果〕タイプ1が1名、タイプ3が9名で波形の特徴からAとBに分類することができた。H波とF波が混在するタイプ3-A、H波の後方にF波が出現するパターンをタイプ3-Bとした。〔結語〕H波、F波出現様式の変化は理学療法領域において運動機能評価と組み合わせれば客観的な機能評価として発展させることが可能である。

キーワード: 脳血管障害片麻痺患者, H波, F波出現様式

¹⁾ 関西医療大学大学院 保健医療学研究科 保健医療学専攻:大阪府泉南郡熊取町若葉2-11-1 (〒590-0482)
TEL 072-961-6888

²⁾ ボバース記念病院 リハビリテーション部

³⁾ 関西医療大学 保健医療学部 臨床理学療法学教室

受付日 2012年12月10日 受理日 2013年2月8日

I. はじめに

中枢神経疾患におけるリハビリテーションには神経生理学的アプローチをはじめ様々な手技が用いられ、その治療効果の判定方法も多様である。治療手技の開発や評価判定の一助として、電気生理学的観点からは、誘発筋電図であるH波やF波が用いられている。脊髄の興奮性を評価する目的では、H波もしくはF波のM波に対する振幅比や出現頻度などを用いるのが一般的である。しかし、鈴木ら¹⁾は脳血管障害片麻痺患者の正中神経刺激による母指球筋F波測定時において、F波測定条件である最大上刺激で通常は手内在筋に見られないH波が混在する筋緊張亢進症例を多く認めたと報告している。このことは、F波として分析していても、H波を測定している場合もあることを示している。よって、脳血管障害片麻痺患者の誘発筋電図による電気生理学的評価においては、刺激強度をH波が出現する弱刺激からF波が出現する最大上刺激まで増加させた時に、H波、F波の形状や出現するタイミングが変化する可能性がある。そのため、H波、F波の刺激強度増加における出現様式について検討していく必要性が感じられる。Suzukiら²⁾は上肢脊髄神経機能の興奮性の指標の観点から、筋緊張、腱反射の程度とH波、F波の出現様式の特徴が4つに分類されるパターンを見いだした。このことから、H波、F波は単独の波形だけでなく、その出現様式も重要な評価基準の一つであると言える。さらに、H波およびF波の出現様式は、臨床的な筋緊張・腱反射の程度により異なり、痙縮の客観的機能評価として有用であると考えられる。脳血管障害片麻痺患者では動作時に定型的運動が多くみられる。一方、健常者ではより細かい運動が可能である。このような運動の違いを判別するためには、各々の波形分析をする前に、個々の波形の形状だけでなく、出現するタイミングも分析する必要がある。Suzukiら²⁾の報告は上肢での検討であるが、下肢での検討はされていない。そこでヒラメ筋の筋緊張評価のひとつとして、今回は下肢でも上肢の出現様式と同様なことが言えるか否かを脳血管障害片麻痺患者および健常者における刺激強度増加に伴うH波、F波の出現様式について検討した。

II. 対象と方法

1 対象

対象者は一側のみ病変を有する慢性脳血管障害片麻痺患者10名(男性6名、女性4名、年齢の平均 61.4 ± 7.3 歳)を対象とした。対象者の内訳は脳梗塞3例(右片麻痺1例、左片麻痺2例)、脳出血7例(右片麻痺3例、左片麻痺4例)であり、頭部画像所見による障害部位は頭頂葉領域2例、基底核5例、視床2例、橋1例であった。罹患期間は1年が1例、1～2年が2例、2～3年が1例、3～4年が1例、

6年～7年が2例、15～16年が1例、20年が1例、26年が1例であり、検査内容の理解が得られない高次脳機能障害の症例は対象より除いた。検査足は全例麻痺側である。

コントロール群としては、整形外科的および神経学的に障害のない健常者21名(男性10名、女性11名、年齢の平均 27.4 ± 9.4 歳)を対象とした。利き足は全例右側である。本研究は、当院および関西医療大学の倫理委員会(処理番号11-11)で承認を受けた後、被験者に実験の目的、方法、危険性を十分に説明し同意書を得た上で実施した。

2 方法

H波およびF波は、被験者をベッド端より足部を出した膝関節最大伸展位での背臥位にて右側ヒラメ筋より筋電計Viking Quest (Nicolet)を用いて導出した。刺激条件は脛骨神経(膝窩部中央)に対する0.5 Hzの刺激頻度と0.2 msの持続時間になるよう設定した。刺激強度をH波が出現する弱刺激からF波が出現する最大上刺激まで増加させるものとした。刺激電極のうち、2極の表面刺激電極を用いた陰極部は膝窩下方へ配置し、ディスプレイパッド電極をクリップ式電極にて挟み、陽極部を膝蓋骨より上方の部分に配置した。H波、F波記録条件は探査用の皿型表面電極が下腿内側2/3にあるヒラメ筋単独部位の筋腹上に、基準電極が内果上に配置された状態とした。周波数帯域は20 Hz～3 KHz、振幅感度は $200 \mu\text{V/D}$ 、掃引速度は5 ms/Dとし、H波、F波出現様式について検討した。

出現様式はSuzukiら²⁾の上肢のH波、F波出現様式同様4つのタイプに分類した。具体的には以下のようなものである。

刺激強度の増加に伴いH波は認めずにF波が出現するパターンをタイプ1、一度出現したH波が消失しF波が出現するパターンをタイプ2、まずH波のみ出現し、その後H波波形のなかにF波が出現するパターンをタイプ3、刺激強度の増加に伴いH波が出現し、F波は出現しないパターンをタイプ4とした。以上の分類を用いて、健常者と脳血管障害片麻痺患者とヒラメ筋のH波、F波出現様式の特徴を比較検討した。

神経学的検査には静止時筋緊張、腱反射、修正アシュワーススケール(MAS)を用いた。検査部位として、静止時筋緊張には検査に用いたヒラメ筋内側筋腹、筋腱移行部を触診により総合的に、腱反射にはアキレス腱反射を、MASには足関節背屈運動の抵抗感を、各々評価した。各検査の判定基準は静止時筋緊張を亢進、低下、正常域の3段階、腱反射は亢進(高度、中等度、軽度)、低下、正常域の5段階とした。これらの基準を用いて、健常者と脳血管障害片麻痺患者におけるH波、F波出現様式の特徴、患者におけるその特徴と神経学的検査成績との関係を検討した。

III. 結 果

健常者でのヒラメ筋のH波、F波出現様式の特徴は21名ともにタイプ3に分類された。

また、波形の特徴から下肢においては、タイプ3にはさらに以下の2つのパターンが見いだされた。刺激強度の増加に伴いH波が出現し、その後、H波波形とF波波形が混在して出現するパターンをタイプ3-A、刺激強度の増加に伴いH波が出現し、その後H波波形の減衰を認めるが、消失せずにH波の後方にF波が出現するパターンをタイプ3-Bとした。タイプ3-Aには9名、タイプ3-Bには12名が該当した。

脳血管障害片麻痺患者におけるH波、F波出現様式の特徴と神経学的検査成績について見ると、タイプ1では、筋緊張の亢進、腱反射の低下、MASが1であった。タイプ2は該当なしであった。タイプ3のうち、静止時筋緊張の亢進タイプ3-A（3名）、タイプ3-B（6名）で見られたが、その他の神経学的検査結果の内訳は以下のように異なっていた。タイプ3-Aでは腱反射低下、MAS2が1例、腱反射高度亢進、MAS2が1例、腱反射高度亢進、MAS2が1例、腱反射高度亢進、MAS3が1例で見られた。タイプ3-Bでは腱反射高度亢進、MAS3が1例、腱反射高度亢進MAS2が2例、腱反射軽度亢進、MAS2が1例、腱反射軽度亢進、MAS1+が2例で見られた。タイプ4は該当なしであった。

患者においてはタイプ3-A、タイプ3-BのH波とF波とで出現する閾値の差およびM波の出現時と最大強度時との差が健常者と比較して高い傾向にあった（図1、表1）。タイプ3の特徴が見られる健常者21名、患者9名におけるH波とF波の出現閾値の差、M波と最大M波の出現強度の差、最大M波からF波が出現するまでの閾値の差を表1に数値で示した。

IV. 考 察

本研究の目的は脳血管障害片麻痺患者の客観的機能評

価としてH波、F波の出現様式の変化を臨床応用する前段階として、刺激強度増加に伴うヒラメ筋のH波とF波の出現様式を脳血管障害片麻痺患者および健常者で検討した。鈴木ら¹⁾は脳血管障害片麻痺患者の上肢のF波測定時において、最大上刺激で通常は手内在筋に見られないH波が混在する筋緊張亢進症例を多く認めたと報告している。脳血管障害片麻痺患者の誘発筋電図による電気生理学的評価においては、刺激強度をH波が出現する弱刺激からF波が出現する最大上刺激まで増加させた時に、H波、F波の形状や出現するタイミングが変化する可能性がある。

健常者でのヒラメ筋のH波、F波出現様式の特徴はタイプ3-Aと3-Bの2つのパターンを見いだした。脳血管障害片麻痺患者におけるH波、F波出現様式の特徴と神経学的検査成績について見ると、タイプ1では、筋緊張

図1 健常者と症例とのタイプ3の刺激閾値もしくは刺激強度での分析方法の例

- ①はH波出現からF波出現までの閾値差を示す。
- ②はM波出現から最大M波の出現までの刺激強度を示す。
- ③は最大M波の出現からF波出現までの閾値差を示す。

表1 健常者と患者でのタイプ3におけるH波とF波の出現閾値差、M波と最大M波出現強度差、最大M波からのF波出現閾値差の比較

	健常者A	症例A	健常者B	症例B
H波とF波出現域値差	28.6	44.8	46.4	61
	10.3	13.6	12.7	14
M波と最大M波の出現域値差	19.8	34.9	33.9	45.3
	9.6	11.3	11.8	15.1
最大M波からF波出現域値	2.9	2.2	7.8	7.4
	2.6	1.9	6.3	8.2

Aはタイプ3-A、Bはタイプ3-Bを示す。
上段は平均値、下段は標準偏差を示す。
数値の単位はmAである。

の亢進、腱反射の低下、MASが1であった。タイプ2は該当なしであった。タイプ3のうち、静止時筋緊張の亢進タイプ3-A（3名）、タイプ3-B（6名）で見られたが、その他の神経学的検査結果の内訳は以下のように異なっていた。タイプ3-Aでは腱反射低下、MAS2が1例、腱反射高度亢進、MAS2が1例、腱反射高度亢進、MAS2が1例、腱反射高度亢進、MAS3が1例で見られた。タイプ3-Bでは腱反射高度亢進、MAS3が1例、腱反射高度亢進MAS2が2例、腱反射軽度亢進、MAS2が1例、腱反射軽度亢進、MAS1+が2例で見られた。タイプ4は該当なしであった。患者においてはタイプ3-A、タイプ3-BのH波とF波とで出現する閾値の差およびM波の出現時と最大強度時との差が健常者と比較して高い傾向にあった。

これまでのH波、F波出現様式としてはSuzukiら²⁾の上肢での検討がある。Suzukiらは上肢脊髄神経機能の興奮性の指標の観点から、筋緊張、腱反射の程度とH波、F波の出現様式の特徴が4つに分類されるパターンを見いだした。これに対し、本研究では、健常者の結果は全例タイプ3であり、出現様式の特徴からタイプ3-Aと3-Bの2つのパターンを見いだした。脳血管障害片麻痺患者では10名中1名のみタイプ1であったが、9名がタイプ3であり、健常者と同様にタイプ3-Aと3-Bの2つに分類できた。

Suzukiら²⁾の上肢での検討と本研究結果と同じ点はタイプ分類3と1にわけることができることである。異なる点はタイプ分類3を波形の特徴からさらに2つのパターンにわけることができたことである。

H波の導出は、一般に安静時では、下肢からは比較的容易であるが、上肢（手内在筋）からは困難であるといわれている^{3,4)}。しかし、導出筋に収縮を促すと、上肢の筋からもH波が導出しやすくなる^{5,6)}。上肢のH波とF波の出現様式の健常者におけるSuzukiら²⁾のタイプ1が出現するとの結果は、安静時でH波が記録できないとされる手内在筋より導出していることによると視察される。

本研究で見られたヒラメ筋からのH波は、刺激強度増加に伴うにつれて完全には消失せず、残存していた。また、F波は、刺激強度増加に伴って出現した。ヒラメ筋から導出されるF波の特徴は、H波の残存した状態でその後方に波形が混在して出現していた。木村ら⁷⁾は、F波は、数個の運動単位電位から構成されており、しばしば単一の運動単位波形を識別でき、振幅がM波の1ないし5%にすぎず、波形も多相性で一定せず、試行後毎の潜時のばらつきが大きいと報告している。健常者においてもヒラメ筋でH波の残存した状態では、波形の形状が一定しないF波のような波形と形状の一定している波形が混在していた。H波とF波の判別を明確に行うことが、困難であったのはこのことによるものと思われる。また、

タイプ3の出現様式の特徴としては、H波とF波とで出現する閾値の差が健常者と比べて患者で高かった。この特徴から、患者ではF波は、Ia線維および α 運動ニューロンの興奮性が高いために出現しにくくなると考えられる。

全例でタイプ3が出現した1つ目の理由として、以下の要因が考えられる。木村ら⁷⁾は、H波は、筋紡錘の多いヒラメ筋、橈側手根屈筋や大腿四頭筋から良く導出可能で、特にヒラメ筋からは100%誘発が可能であるとしている。そしてH波は、興奮する前角細胞の数が多く、かつ同一ニューロンが刺激に対して発火すると述べている。これらの性質は、全例におけるヒラメ筋からのH波の出現を容易にするものである。また、発生には α 運動線維を逆行性に伝導するM波と順行性に伝導してくるH波を構成する活動電位との間で衝突する閉鎖現象が生じる。つまり、見かけ上の最大H波は必ずしもIa線維からの入力によって反射性に発火する全ての運動ニューロン活動を示しているとは限らない⁸⁾。したがって、ヒラメ筋から導出されるH波は、閉鎖現象により発火されていない運動単位を含んで出現している可能性がある。これらのことから、ヒラメ筋H波はその強度が最大の際に全ての運動単位が興奮している場合としていない場合の2つにわけられる。よって、本研究におけるヒラメ筋H波は刺激に対して興奮していない運動単位が前角細胞で再興奮し、F波を出現させる要因となったものと考えられる。

タイプ3が出現した2つ目の理由としてはStrakowskiら⁹⁾はヒラメ筋より導出したF波の平均潜時がH波よりも1.76 ms遅かったとの観察に関係している。このことは、H波を構成しているIa線維の方がF波を構成している α 運動ニューロンよりも伝導速度が速く、先にH波が筋へ伝導され、F波が逆行性から順行性に筋へ伝導されるためと考えられる。平均潜時の差は運動単位の経路がH波とF波で異なっている可能性があることを示している。もし同じであれば、H波で興奮した運動単位とF波で興奮した運動単位が発火すると、必ず衝突(collision)してH波が消失し、F波しか出現しなくなるためである。F波は全ての運動ニューロンを興奮させていることからH波よりも強い興奮性を持つと考えられる。

脳血管障害片麻痺患者のタイプ1では慢性期でも下肢への上位中枢の興奮性が低下し、筋緊張が全体的に低下している場合はH波が出現せずF波のみ出現することがわかった。タイプ3は筋緊張の亢進が全例で、腱反射の亢進が8例で、MASのスコア2以上が7例であった。よって脳血管障害片麻痺患者においてタイプ3の出現は筋緊張、腱反射亢進と強く関連しており、筋緊張の程度が曖昧に高い症例を反映していると言える。しかしながら、タイプ分類のみの評価では健常者も患者も同じタイプ3を示すことになってしまう。よって、健常者のタイプ3

と症例のタイプ3を詳細に分析する必要がある。健常者のタイプ3との鑑別を行うにはH波出現閾値とF波出現閾値の差、M波出現強度とM波の最大強度出現から、最大M波からF波出現までの閾値差の3つの分析項目が必要であると考えられる。H波出現閾値が患者で高かったことは、F波出現まではH波の興奮性が高いためF波が出現しにくいことによるかもしれない。また、M波出現時の強度と最大強度との差が患者で高かったのは、全ての α 運動ニューロンが興奮するまでの強度が高いことによると思われる。M波の最大値出現からF波出現までの閾値差は健常者と患者との間で認められなかった。よって、最大上刺激でF波が出現することは、健常者と患者は同程度の閾値を持つことが考えられる。タイプ2が出現しなかったのは、対象症例の筋緊張が曖昧に高く、Ia線維の発火頻度が高いためであると思われる。逆に筋緊張が低い症例ではこのタイプが出現する可能性がある。タイプ4が出現しなかった理由としては、H波とF波の発生機序の相違から以下の事が考えられる。H波は単一シナプスを經由して α 運動ニューロンへ伝導される。対するF波はシナプスを經由することなく、 α 運動ニューロンへ伝導される。F波では、細い運動ニューロンの反回性放電によるものと末梢神経遠心性線維の逆向性活動からの遅い筋反応によるものが生まれる¹⁰⁻¹³⁾。F波の発生は、運動ニューロンの興奮性と抑制性シナプス後電位によって単独で調節され、Ia線維のシナプス前抑制の影響を受けない。したがって、シナプス前で抑制されている影響と全ての検査で筋緊張が高度亢進していないことがタイプ4の出現につながらなかったのかもしれない。

また、多くの症例でタイプ3-Aよりタイプ3-Bの方で閾値差が大きいことから、タイプ3-Bの方がより上位中枢の興奮性が高いことがわかった。しかしながら、健常者もタイプ3-Aよりタイプ3-Bの方で閾値差が大きいことから、出現様式だけでなく、今後の詳細な検討も必要であると言える。

本研究の下肢のH波、F波出現様式の特徴は、健常者で全てH波とF波が混在したタイプ3であり、波形の特徴からさらにタイプ3-Aと3-Bの2種類にわけることができた。脳血管障害片麻痺患者においては、10名中9名でタイプ3であり、健常者と同様にタイプ3-A(3名)と3-B(6名)を認めた。

誘発筋電図評価では波形分析による量的な変化の把握がなくとも、出現様式を見ることでH波とF波の波形の質的な変化を評価できることがわかった。よって、理学

療法領域におけるH波とF波の出現様式による波形の特徴から脊髄の興奮状態の質的改善効果を量的に計測する機械を用いて評価できる。

以上のように、本研究結果に見られた脳血管障害片麻痺患者および健常者におけるH波、F波出現様式の変化について考察することにより、脳血管障害片麻痺患者におけるパターンを理解できた。今後、脳血管障害片麻痺患者における出現様式と個々の波形分析を検討していく必要があるものの、本研究における分析方法は理学療法領域において運動機能評価と組み合わせて客観的な機能評価として発展させることが可能である。

引用文献

- 1) 鈴木俊明：脳血管障害片麻痺患者の痙縮の病態生理と持続的筋伸張を用いた治療効果に関する筋電図学的検討。藤田学園学会誌, 2002, 21(1): 277-279.
- 2) Suzuki T, Saitoh E, Tani M, et al.: Characteristic appearances of the H-reflex and F-wave with increased stimulus intensity in patients with cerebrovascular disease. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 2002, 42: 67-70.
- 3) 田中勲作：H反射—ヒトにおける神経生理学研究の一技法。日生理誌, 1986, 48: 719-734.
- 4) 藤原哲司：筋電図マニュアル。金芳堂。京都, 1989, pp67-71.
- 5) 三木威勇, 時実利彦：筋電図入門(第3版)。南山堂。東京, 1967, pp165-167.
- 6) 藤善 将, 鈴木俊明：つまみ力とH波との関係。作業療法, 1995, 14(4): 303-307.
- 7) 木村 淳, 幸原伸夫：神経伝導検査と筋電図を学ぶ人のために。医学書院。東京, 2007, pp67-78.
- 8) 矢部京之助, 大築立志, 笠井達哉：入門 運動神経生理学 ヒトの運動の巧みさを探る, 脊髄反射法。市村出版。東京, 2003, pp60-72.
- 9) Strakowski JA, Redd DD, Johnson EW, et al.: H-Reflex and F wave latencies to soleus normal values and side-to-side differences. *Am J Phys Med Rehabil*, 2001, 80(7): 491-493.
- 10) Milanov IG: F-wave for assessment of segmental motoneurone excitability. *Electromyogr Clin Neurophysiol*, 1992, 32(1-2): 11-15.
- 11) Fisher MA: H reflexes and F waves fundamentals, normal and abnormal patterns. *Neurol Clin*, 2002, 20(2): 339-360.
- 12) Fisher MA: F-waves-physiology and clinical uses. *Scientific World Journal*, 2007, 7: 144-160.
- 13) Mesrati F, Vecchierini MF: F-waves neurophysiology and clinical value. *Neurophysiol Clin* 2004, 34(5): 217-243.