

# H-反射と緊張性振動反射 (TVR) を用いた 筋緊張異常および相反性機能失調の検討

柳原 章

近畿大学医学部脳神経外科学教室

Reciprocal reflex activity of muscle tone abnormality, studied by  
electromyography together with tonic vibration reflex (TVR)

Akira Yanagihara

Department of Neurosurgery, Kinki University School of Medicine, Osaka, Japan

## ABSTRACT

The reciprocal reflex activity in various muscle tone abnormalities was analyzed using the H-reflex together with tonic vibration reflex (TVR). The H-reflex was elicited by short interval (5-8 ms) double volleys while vibratory stimulation (TVR) of 100 Hz was applied to the synergist (gastrocnemius) or antagonist (peroneus) muscles. On the other hand, the frequency depression (FD) curve of the H-reflex was plotted at a higher frequency (1-50 Hz) stimulation. The patients analyzed in this study totaled 48, consisting of 8 normal subjects, 1 with peroneal damage, 22 with spasticity, 5 with rigidity, 9 with cerebellar-brainstem lesion and 3 with cervical cord lesion.

In the normal subjects, two successive H-reflexes ( $H_1$  and  $H_2$ ) were elicited by short interval double volleys, and attenuated by TVR applied to the gastrocnemius as well as TVR applied to the peroneus muscle. The attenuation rates were 68% in gastrocnemius TVR and 80% in peroneus TVR. The FD-curve showed a medium level in lower frequencies and then rose gently higher frequencies. In the peroneal nerve damage patient, although the H-reflexes of  $H_1$  and  $H_2$  were attenuated by gastrocnemius TVR they were not attenuated by peroneus TVR because of a loss of the reciprocal innervation. The FD-curve showed a normal characteristic configuration because there were no lesions in the upper center. In spasticity, the H-reflex was not attenuated by gastrocnemius nor by peroneus TVR's at a sufficient rate. The rates were 38% in the former and 46% in the latter. The FD-curve showed a higher level at a lower frequency then showed a steep sloping configuration from medium to higher frequencies. In rigidity, the rates was 26% in gastrocnemius TVR and 51% in peroneus TVR. The FD-curve showed a higher level at a lower frequency, then showed a slighter sloping configuration of higher level from medium to higher frequencies. In cerebellar-brainstem lesion, the rates were 25% in gastrocnemius TVR and 49% in peroneus TVR. The FD-curve showed

a higher level in all frequencies then showed a gentle sloping configuration at a higher level from medium to higher frequencies. These findings could be considered as a result of the disturbance of the reflex modulation from the upper center.

The combined examination of the H-reflex and TVR seems to be a useful diagnostic method and may also help in the determination of a therapeutic approach that is most appropriate.

**Key words :** reciprocal reflex activity, muscle tone abnormality, H-reflex, tonic vibration reflex (TVR), frequency depression curve

## 緒 言

脊髄前柱細胞の興奮性（あるいは活動様式）を調べる目的で、Magladery<sup>1,2</sup>がH-反射の回復曲線（recovery curve）を画いて観察する方法を考案し報告して以来、ほとんど世界各国の研究者たちが追試してきたことは余りにも有名である。そもそもH-反射とは、1910年 Hoffmann<sup>3,4,5</sup>によってはじめて報告がなされたもので、一般には矩形波刺激を脛骨神経に与え、腓腸筋あるいはヒラメ筋（普通は両者同時）に興奮を起こさせ、皮膚上に表面電極を貼って電氣的にそれを導出し記録できる脊髄単シナプス反射である。

Magladery は長短種々の時間間隔をもたせた二重刺激を用い、条件刺激に対するH<sub>1</sub>-反射と試験刺激に対するH<sub>2</sub>-反射を記録し、振幅についてH<sub>2</sub>/H<sub>1</sub>の値をパーセント値で求め、縦軸にH<sub>2</sub>/H<sub>1</sub>、横軸に時間間隔を示すグラフの上にプロットして回復曲線を画いたのである。それには、正常人においてこれ以上刺激間隔を短くするとH<sub>2</sub>を誘発し得ない時期があり、それを彼はsilent periodと呼んだ。痙縮や筋緊張亢進を呈する患者ではsilent periodが短縮する傾向が認められたことから、Magladeryは上位運動ニューロンに障害のある患者が、痙縮、固縮あるいは筋緊張亢進を呈するとき、それぞれの度合によってsilent periodが短縮し、回復曲線に過剰期のみられることなどを報告している。これについて実際に臨床面で検討してみると、上位中枢、脊髄、末梢効果器には反射に及ぼす複雑な因子が存在するため、痙縮

や固縮の程度、両者の混合、さらには小脳機能失調などの様相は、回復曲線に必ずしも如実に表現されていないことが解ってきている。H-反射に関してはその後なお研究が重ねられてきたが、痙縮、固縮、小脳障害などの病態をもっとふさわしい形で表現しようとして考案されたもののひとつにH-反射の頻度抑制曲線 frequency depression curve (FD-curve)があげられる。それは各種頻度の繰り返し刺激を与え、応答するH-反射がどのように減衰するかをみる曲線である。この曲線にも複雑な因子が反映することは当然であるが、刺激の頻度が低頻度から中頻度、さらに高頻度まで各シリーズで与えられると、それぞれの頻度に応じてH-反射が促進を起こしたり抑制されたりしている様子が観察され、痙縮、固縮、小脳障害などで特徴を示すのが興味深い。

さて上位中枢の病態を考究したり、骨格筋の相反性神経支配機能を検討する目的で回復曲線だけを用いることにはかなり無理のあることが解ってきている今日、末梢神経系には別な手段で刺激を与え、反応を観察する試みもなされている。Hagbarth<sup>6,7,8</sup>の考案した緊張性振動反射は振動刺激が当該筋の筋紡錘を興奮させ、その結果刺激された筋は強く収縮し、拮抗筋は弛緩するという性質をもっている。従って筋緊張異常を調べたり、相反性神経支配を検討するのに都合がよい。

そもそも骨格筋に緊張異常を示す疾患では、その原因が脳、脊髄、末梢のいずれにある場合を問わず、何らかの障害が生ずるものである。

私は、筋緊張異常を分析し、それと同時に付

随する相反性機能の変化をみることを目的としてこの研究を行った。すなわち H-反射を用いて脊髄前柱細胞の興奮性を検討し、同時に振動刺激を筋に与えて相反性神経支配機能の態様をも検討したのである。その手段として極めて短い間隔 (5~8 ms) の二重刺激による  $H_1$  と  $H_2$  の誘発を行い、これによって発射帯と閾下縁の拡がりを観察、同時に協同筋や拮抗筋に振動刺激を加えて発射帯と閾下縁に及ぶ影響をも観察した。

### 対象と方法

本研究の対象として正常者 8 例、外傷性腓骨神経損傷 1 例、痙縮 22 例 (おもに痙縮型の筋緊張異常を示す脳腫瘍 6 例、くも膜下出血 4 例、慢性硬膜下血腫 4 例、被殻出血 3 例、もやもや病 2 例、脳動静脈奇形 2 例、多発性脳挫傷 1 例)、固縮 (おもに固縮型の筋緊張異常を示すパーキンソン症候群) 5 例、脳幹-小脳障害 (痙縮と固縮とがいろいろな形で混合した型) 9 例、頸髄障害 (脳幹以上に損傷のないもの) 3 例、合計 48 例を検査した (Table 1)。

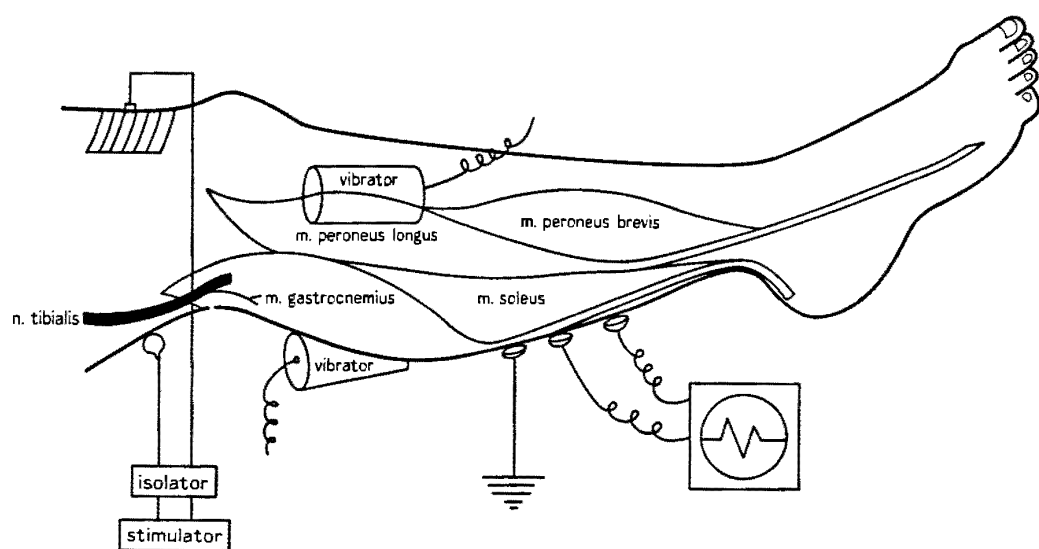
なお検査施行にあたってはその内容及び安全

**Table 1** Materials used in this study (n=48)

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| Normal                          | 8  |
| Peroneal nerve damage           | 1  |
| Spasticity                      | 22 |
| Rigidity                        | 5  |
| Brainstem and cerebellar lesion | 9  |
| Cervical cord lesion            | 3  |

性を十分説明し協力の得られたものにつき検索した。

H 波の誘発、記録に用いた各々の電極及び、振動器の固定位置は、Figure 1 に示すとおりである。被験者はベッド上安静仰臥位にて膝関節の角度を約 120 度、足関節の角度を 100~120 度に保持し常温下で皮膚温が低下しないよう留意して検査を施行し記録電極として、*m. gastrocnemius* 又は *m. soleus* の皮膚上に直径 7 mm の円盤状表面電極に電極糊をつけて約 3 cm の間隔で絆創膏で 2 個はりつけ、そして膝窩において脛骨神経に矩形波刺激 (幅 0.5 ms) を M 波出現の閾値で (同じ強さの刺激) 5~10 ms の間隔をおいて 2 発与えた。第 1H-反射 ( $H_1$ )、第 2H-反射 ( $H_2$ ) を誘発しながら *m.*



**Fig. 1** The H-reflex recording from the lower extremity

A pair of 7mm diameter disk electrodes was placed on the skin over the calf muscle (*gastrocnemius* and *soleus* muscles) 3cm apart. The stimulation electrode covered with 1cm cotton ball was pressed at the tibial nerve with rubber strap in the popliteal fossa. Hagbarth-type vibrators are fixed to *gastrocnemius* and *peroneus* muscles, thus vibratory stimulation (100Hz) was provided to each muscle.

gastrocnemius およびその拮抗筋である m. peroneus のそれぞれの筋腹上に固定した Haggbarth 型振動器でそれぞれに 100 Hz の振動刺激を与え、ポラロイドカメラで5回重ねて記録し、H<sub>1</sub> および H<sub>2</sub> に現れる影響を検討した。波形の計測は Figure 2 のように H<sub>1</sub> の始めより H<sub>2</sub> の終わりまでの長さとした。そしてその振れの大きさに及ぶ振動刺激の影響を観察した。なお刺激頻度は先行する刺激の影響が次の反応に及ばないように4秒に1回とした。

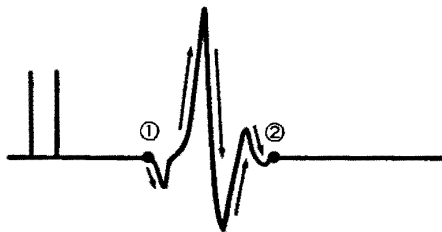
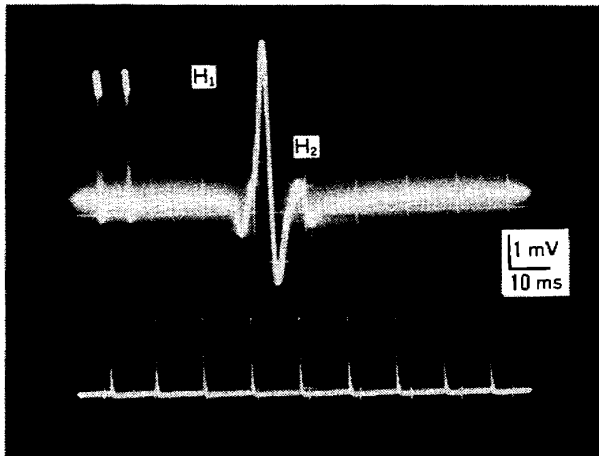
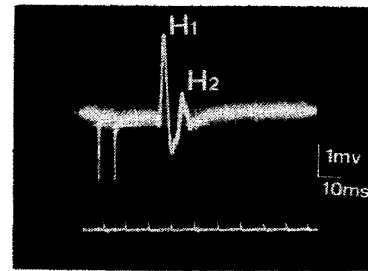


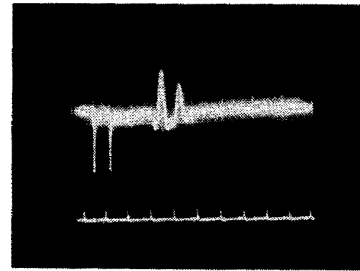
Fig. 2 Examples of the record

The amplitudes of H-reflexes were measured from the beginning of H<sub>1</sub> (①) to the end of H<sub>2</sub>(②).

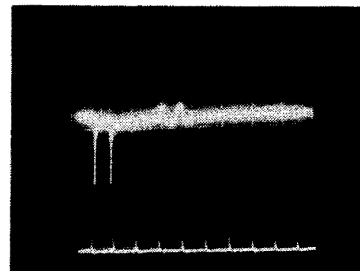
更に1, 2, 4, 8, 10, 20, 30, 40, 50 Hz の単発反復刺激をM波出現の閾値で脛骨神経に与え、1発目のH波を100%とし、2発目から10発目までのH波がそれぞれ何%を示すかを観察、 $(H_{1(\%)}) + H_{2(\%)} + \dots + H_{9(\%)} + H_{10(\%)}) / 10$  の値を各頻度刺激について求め、横軸に Hz 縦軸に%値を示すように作られたグラフ上にプロットして FD-curve を作製した (Fig. 4).



control



gastrocnemius vibrated



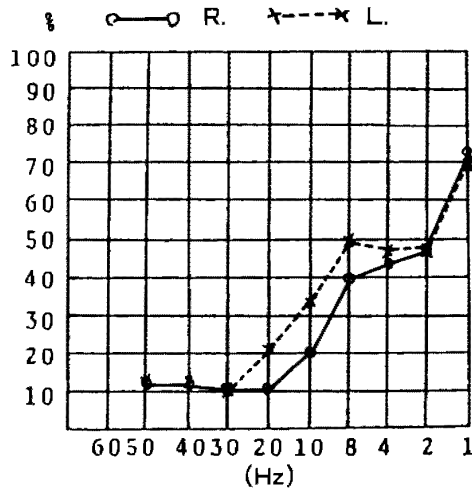
peroneus vibrated

Fig. 3 The H-wave recorded from the calf muscle of the normal person Top; H<sub>1</sub> and H<sub>2</sub> recorded with 8ms interval double volleys (without vibration). Middle; H<sub>1</sub> and H<sub>2</sub> attenuated with gastrocnemius 100Hz vibration. Bottom; H<sub>1</sub> and H<sub>2</sub> attenuated with peroneus 100Hz vibration.

## 成 績

1. 正常例：代表例を示す。第1, 第2刺激にそれぞれ対応する H<sub>1</sub>, H<sub>2</sub> が記録されている。協同筋, 拮抗筋にそれぞれ振動刺激を加えると H<sub>1</sub>, H<sub>2</sub> の振幅は強い抑制を受けている (Fig. 3)。この抑制率をパーセント値で示すならば、抑制率 (%) =  $100 - [(振動刺激中 (H_1 + H_2)) / 振動刺激前 (H_1 + H_2)] \times 100$  となる。

代表例の抑制率は協同筋に振動刺激を加えた場合47%, 拮抗筋に振動刺激を加えた場合83%であった。8例の平均ではそれぞれ  $67.9 \pm 15.4\%$ ,  $80.3 \pm 11.5\%$  であった。



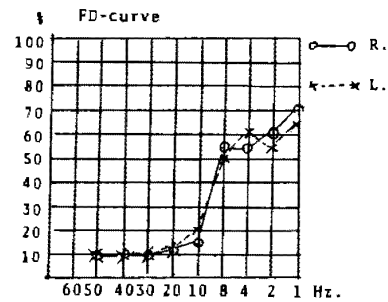
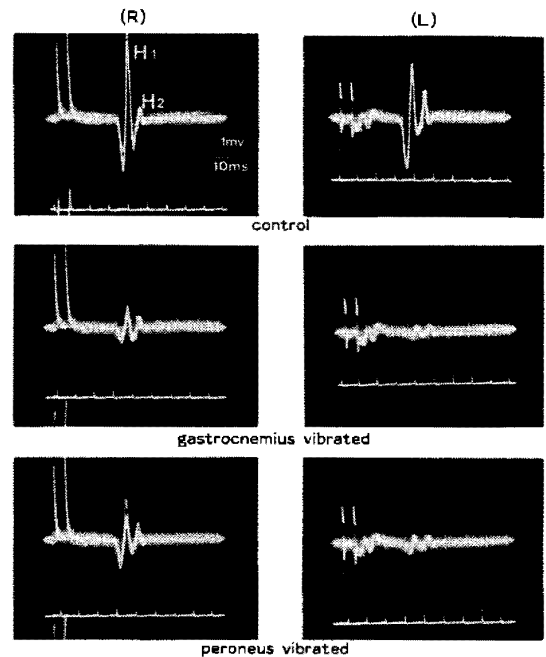
**Fig. 4** Normal FD-curves  
 Lower frequency (from 1 to 8Hz); 70~40%level. Medium frequency (from 8 to 20Hz); 40~10%level. Higher frequency (over 20Hz); 20~10%level.

FD-curve は、通常低頻度刺激部分（以下頻度部分とする）（1 Hz 以上 8 Hz 未満）では70~40%level, 中頻度部分（8 Hz 以上 20 Hz 未満）では 40~10%level, 高頻度部分（20 Hz 以上）では 20~10%level と下降を示している (Fig. 4, Table 2).

2. 外傷性腓骨神経損傷の1例：抑制率は、協同筋に振動刺激を加えた場合、患側（右）61%, 健側（左）83%, 拮抗筋に振動刺激を加えた場合、患側46%\*, 健側77%であった。すなわち健側に比し患側において振動刺激による抑制が减弱していた。FD-curve は、ほとんど正常型の曲線を示し、レベルも正常のそれに似ており左右差は認められなかった (Fig. 5, Table2).

3. 痙縮：右中頭蓋底髄膜腫により左下肢痙縮を認める42歳男性を代表例として示す。抑制率は協同筋に振動刺激を加えた場合、患側（左）38%, 健側（右）78%であり、また拮抗筋に振動刺激を加えた場合、患側24%, 健側100%であった。FD-curve は、患側で低頻度部分において抑制が著しく减弱しており曲線のレベルが著明に挙上していた (Fig. 6).

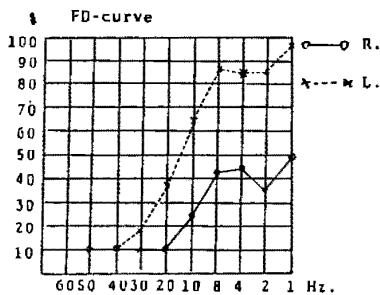
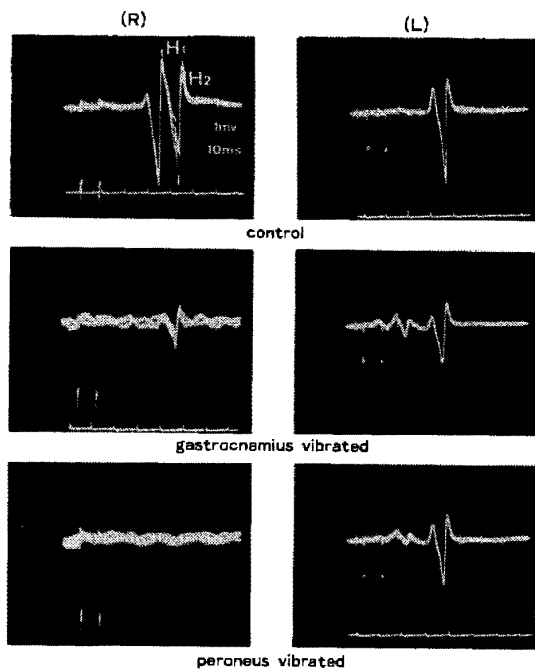
本対象群では、H波の出現しなかったもの2例、両下肢ともに痙縮を認めたもの2例、片方の下肢のみに痙縮を認めたもの18例であり痙縮



**Fig. 5** Peroneal nerve damage, 17-year-old male  
 Affected side(R): The H-reflexes poorly attenuated with peroneus vibration. Intact side(L): The H-reflexes normally attenuated with peroneus vibration. FD-curve: almost normal.

を認めH波を導出できた計22肢における抑制率の平均は協同筋に振動刺激を加えた場合37.6±31.1%\*, 拮抗筋に振動刺激を加えた場合46.4±26.8%\*\*であった。FD-curve では、低頻度部分において抑制の减弱した傾向が認められ、低頻度部分の曲線のレベルが著明に挙上していた (Table 2).

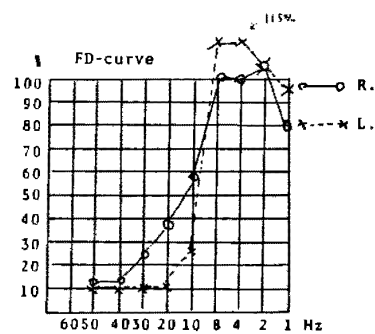
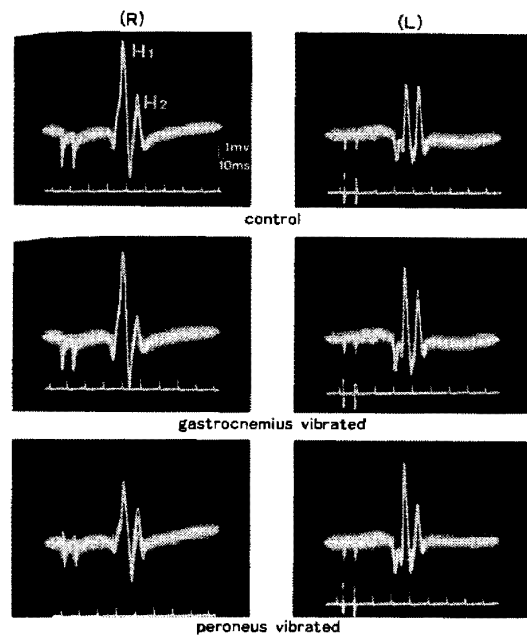
4. 固縮：両下肢に固縮を認める（軽度ではあるが痙縮の成分も含まれるように考えられるが、主として固縮と判断される）27歳女性で錐体外路症候 (Parkinsonian syndrome) を呈し基底核・中脳梗塞を認める患者を代表例として示す。抑制率は協同筋に振動刺激を加えた場



**Fig. 6** Spastic patient, 42-year male  
The left side affected with spasticity, and the H-reflexes poorly attenuated by synergetic and antagonist vibratory stimulation. The FD-curve on the left side with a higher level in lower frequency decreased steeply to medium and higher frequencies.

合, 右8%, 左-8%であり, 拮抗筋に振動刺激を加えた場合, 右27%, 左-9%であった。FD-curve では, 低頻度部分において抑制が著しく減弱しており曲線のレベルが著明に挙上していた (Fig. 7)。

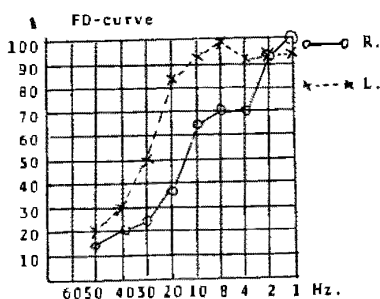
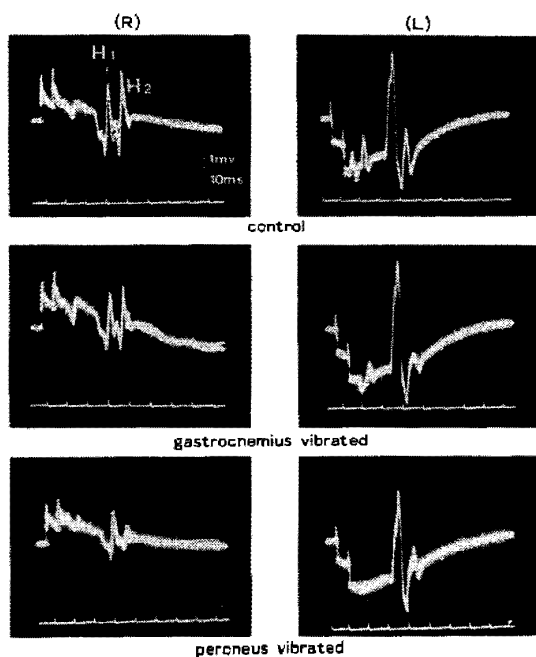
本対象群では, H波の出現しなかったもの1例, 両下肢ともに固縮を認めたもの3例, 片方の下肢のみに固縮を認めたもの1例であり固縮を認めH波を導出できた計7肢における抑制率の平均は協同筋に振動刺激を加えた場合 $26.4 \pm 23.6\%^{**}$ , 拮抗筋に振動刺激を加えた場合 $51.0 \pm 31.0\%^{**}$ であった。FD-curve では, 低頻



**Fig. 7** Rigidity patient, 27-year-old female  
Two successive H-reflexes poorly attenuated with vibration (synergist and antagonist TVR's) observed on both sides. The FD-curve showed a higher level at a lower frequency and decreased steeply at medium to higher frequencies.

度部分において抑制の減弱した傾向が認められ, 中頻度から高頻度にかけて緩やかな曲線がみられた (一部に急峻な曲線もみられた) (Table 2)。

5. 脳幹-小脳障害: 歩行障害を主訴とするオリブ核・橋・小脳変性症 (OPCA) の48歳男性を代表例として示す (OPCAにおける筋緊張異常は患者によってそれぞれ痙縮, 固縮, 小脳障害など混合の割合は違っておりばらつきは多いが, ここでは小脳失調を示す本症例を掲げた)。抑制率は協同筋に振動刺激を加えた場合, 右28%, 左10%であり, 拮抗筋に振動刺激を加

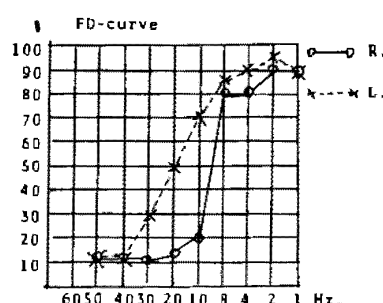
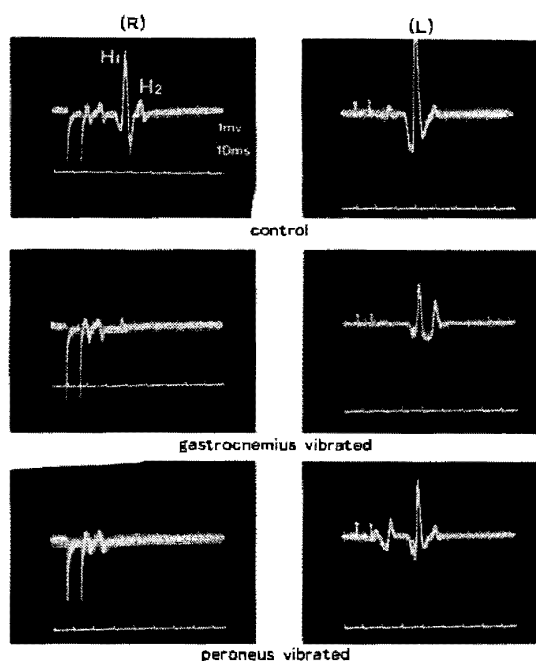


**Fig. 8** Patient with OPCA, 48-year-old male  
Two successive H-reflexes very poorly attenuated with vibration (synergist and antagonist TVR's). The FD-curve with a higher level at a lower frequency decreased at medium to higher frequencies.

えた場合、右54%、左15%であった。FD-curveでは、全頻度部分において抑制が著しく減弱しており高いレベルを示した (Fig. 8)。

本対象群において、H波の出現しなかったもの3例、両下肢ともに失調症状を認めたもの2例、片方の下肢のみに失調症状を認めたもの4例であり失調症状を認めH波を導出できた計8肢における抑制率の平均は協同筋に振動刺激を加えた場合 $25.2 \pm 11.0\%^{**}$ 、拮抗筋に振動刺激を加えた場合 $48.6 \pm 24.2\%^{**}$ であった。FD-curveでは、全頻度部分において抑制が著しく減弱しており、中～高頻度において曲線のレベルが挙上していた (Table 2)。

#### 6. 頸髄障害 (大脳、小脳や脳幹網様体に損



**Fig. 9** Patient with C5/6 and 6/7 disks herniated, 64-year-old female  
Two successive H-reflexes poorly attenuated with vibration (synergist and antagonist TVR's) on the leftside, and normally attenuated on the right side.

The FD-curve of higher level at a lower frequency decreased steeply at higher frequencies.

傷がなく筋緊張亢進の性格は中枢諸核の損傷をもつものと相違すると考える)：C<sub>5</sub>/C<sub>6</sub>、C<sub>6</sub>/C<sub>7</sub> disk hernia の64歳女性を代表例として示す。抑制率は協同筋に振動刺激を加えた場合、患側(左) 38%、健側(右) 100%であり、拮抗筋に振動刺激を加えた場合、患側30%、健側100%であった。FD-curveでは、低～中頻度部分において抑制が著しく減弱しており高いレベルを示した (Fig. 9)。

本対象群では、H波の出現しなかったもの1例、両下肢ともに頸髄圧迫症状を認めたもの1

**Table 2** Attenuation rate and the level of FD-curve

|  | Attenuation rate          |                      | FD-curve  |  |
|--|---------------------------|----------------------|---|--|
|  | gastrocnemius vibrated(%) | peroneus vibrated(%) | (% level)                                       | configuration  |
| Normal<br>(n=16)                         | 67.9±15.4                 | 80.3±11.5            | Low : 70-40<br>Medium : 40-10<br>High : 20-10   |  |
| Peroneal nerve damage<br>(n=1)           | 61                        | 46*                  | Low : 70-50<br>Medium : 50-20<br>High : 20-10   | Normal curve.  |
| Spasticity<br>(n=22)                     | 37.6±31.1*                | 46.4±26.8**          | Low : 100-70<br>Medium : 70-10<br>High : 20-10  | Higher level at a lower frequency.<br>Steep sloping from medium to higher frequencies.           |
| Rigidity<br>(n=7)                        | 26.4±23.6**               | 51.0±31.0**          | Low : 120-80<br>Medium : 100-20<br>High : 20-10 | Higher level at a lower frequency.<br>Slighter sloping from medium to higher frequencies.        |
| Brainstem and cerebellar lesion<br>(n=8) | 25.2±11.0**               | 48.6±24.2**          | Low : 110-90<br>Medium : 90-50<br>High : 50-10  | Higher level in all frequencies.<br>Gentle sloping from medium to higher frequencies.            |
| Cervical cord lesion<br>(n=3)            | 53.7±14.0                 | 53.7±21.0*           | Low : 100-80<br>Medium : 80-10<br>High : 20-10  | Higher level at lower to medium frequencies.<br>Steep sloping from medium to higher frequencies. |

Each value is mean±SD, \*p<0.05, \*\*p<0.01 compared to each control

例, 片方の下肢のみに頸髄圧迫症状を認めたものの1例であり頸髄圧迫症状を認めH波を導出できた計3肢における抑制率の平均は協同筋に振動刺激を加えた場合53.7±14.0%, 拮抗筋に振動刺激を加えた場合53.7±21.0%\*であった。FD-curveでは, 低~中頻度部分において抑制の乏しい傾向が認められ, 曲線のレベルが挙上していた(有意差検定はMann-Whitney検定を用いた。\*p<0.05, \*\*p<0.01)。

以上を集約しTable 2とした。

### 考 察

H-反射(Hoffmann反射)は, 通常下肢の腓腹筋や, ヒラメ筋より導出される短潜時の脊髄単シナプス反射(筋固有反射)であり, Paul A. Hoffmann<sup>3,4,5</sup>により初めて報告されたものである。

Magladery<sup>1,2</sup>は, H波の回復曲線を考案し, upper motorneuron lesion(上位運動ニューロンの障害)がある場合には, まず第1にsilent periodが短縮すること, 第2にそのような症例では回復曲線に過剰期のあることを報告した。その研究成果は次第に評価を高めてゆき, 痙縮や固縮などを呈する筋緊張の異常亢進あるいは反対に筋緊張の病的低下を示す小脳機能障害に至るまで, 実に広い範囲にわたる神経筋系の病態を論じる手段になってきている。

しかし一方では, silent periodの短縮や過剰期の出現は, 足関節, 膝関節の角度や被検者の姿勢においてもいくらかの影響を受けることがわかってきた。つまりH波に及ぶ促進や抑制は上位中枢だけの影響を受けるものではないことが指摘されるようになってきた。末梢において筋紡錘, ゴルジ腱受容器, 皮膚受容器に加わ



った刺激も回復曲線に及ぶことが考えられるので、上位運動ニューロンの病態をもう少し如実に示す検査法が必要になってくるのである。

かかる故に、私はH波を観察するに当たって複数の手段を用いたのである。先ず、きわめて短い間隔で二重刺激を与えて  $H_1$  と  $H_2$  を誘発し、それによって発射帯と閾下縁の広がりを観察、それに振動刺激を加えて（協同筋の収縮、拮抗筋の弛緩を生ぜしめ）、相反性神経支配機能を吟味したのである。

さらに私は痙縮、固縮および小脳障害の場合の筋緊張度を観察する目的で頻度抑性曲線を用いたのである。

本研究においては痙縮を呈した症例で2例、固縮で1例、脳幹一小脳障害で3例、脊髄障害で1例、計7例においてはH波を導出し得なかった。この原因についてはいろいろ考えることができるであろうが、筋緊張異常を長期に亘って持ち続けていると運動不全や循環の問題も関与し、筋線維の栄養障害も起こるのであろう。また、長期間の臥床は筋線維の運動不全がもとで筋紡錘の atrophy を惹起するということも考えられる。これが前柱細胞の興奮にかかっているバイアスの効果を減衰させていることも考えられる。中枢神経系の障害時は尖足位になっていることが多く、アキレス腱は短縮し、m. gastrocnemius も自然短縮するという結果を招いている。そのため Golgi 腱受容器はやや緊張過多の状態におかれ、Gib 線維を上行する抑制性インパルスが増加してシナプスが興奮の状態におかれている、などがH波を導出し得なかった原因と考えられるであろう。

緊張性振動反射とは機械的刺激を骨格筋に与えたときに起こる現象をいうのであるが Hagbarth<sup>6,7,8</sup>、井奥<sup>9,10,11,12</sup> 本間<sup>13,14</sup> らはそのメカニズムを、振動刺激によって筋紡錘が興奮し環ラセン終末から  $G_{Ia}$  線維を上がって脊髄に入ったインパルスが、当該筋の運動ニューロンを発火させ、その支配する筋を収縮させる、そしてこのインパルスは、多シナプスを介して拮抗筋を支配する運動ニューロンを抑制する為に弛

緩すると説明している。

相反性神経支配機能というのは一種の反射機構からなるもので、反射によって相互の機能を妨げることなく一方の筋の収縮がなされると、その拮抗筋は弛緩するという機構である。そのためには、促進と抑制により相反性に対側の運動ニューロンに働きかけるメカニズムが自動的になされているのである。簡単に説明すると拮抗筋に対して抑制的に働くのは、筋紡錘から発する  $G_{Ia}$  線維を上行する求心性インパルスであり、当該筋に抑制的に働くのは、Golgi 腱受容器からの  $G_{Ib}$  のインパルス、筋紡錘からの  $G_{II}$  のインパルス、皮膚受容器からのインパルスなどが働くという仕組みになっている。これらは正常の状態では脊髄内で合理的になされるのであるが、そのためには上位中枢からの制御で円滑な動作ができるようになっていることはさらに大切なことである。私は相反性神経支配機能が筋緊張異常の際にどのように変調をきたしているかをみる目的で振動刺激を用いて H-反射を観察したのである。この研究では、正常例を基準として、病的な場合には H-反射の振幅がどの程度緊張性振動反射の影響を受けるかをみた。

極めて短い間隔(5~8 ms)で矩形波刺激(0.5 ms 幅)を2発与え、 $H_1$  と  $H_2$  を記録しながら協同筋や拮抗筋に 100 Hz の振動刺激を加えている。 $H_1$  は第1刺激によって発火したH波であり、 $H_2$  は第2刺激によって発火したものであることは言うまでもないが、正しく言えば脊髄運動ニューロンプールの中で第1刺激によって起こった EPSP (発火に至らない) に次に到来した刺激による EPSP が重畳して発火したものである。すなわち  $H_1$  は発射帯の量を  $H_2$  は閾下縁の量を反映するものといえるであろう。ここで振動刺激がH波にどのような影響を与えるかについて考案を加えると、H波を誘発しながら腓腹筋の筋腹に振動刺激を加えると、H波の振幅は抑制を受け減衰することが観察された。H波が減衰する現象は、Hagbarth<sup>6,7,8</sup>、De Gail<sup>15</sup>、山中ら<sup>16</sup> によって指摘されて

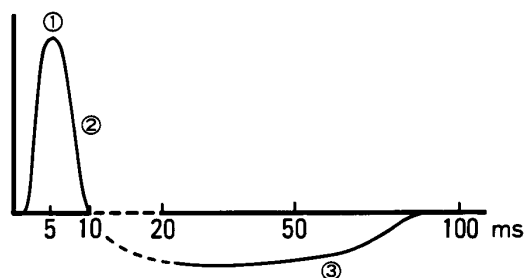
いる。これについては筋紡錘発射増加によって起こる occlusion<sup>7</sup>, presynaptic inhibition, などの他, 藤森<sup>17</sup> は, hyperpolarization という現象のあることも考えねばならないとしている。しかもこの研究は経皮的に筋に振動刺激を加えているのであるから, 皮膚受容器からの影響, Golgi 腱受容器などの影響も考えねばならない。

筋トーンを分析する試みとして井奥<sup>18</sup> は反復刺激を末梢神経に与えて, その応答としてでてくる H 波を記録し各刺激頻度ごとに 1 発目から 10 発目までの H 波の振幅の平均がそれぞれの 1 発目の何%にあたるかを計算し, 横軸に Hz, 縦軸に%を示すように作られたグラフ上にプロットして曲線を作製, 脊髓運動ニューロンの興奮性が一目で解るようにした。私はこの FD-curve を検査することによって, 筋緊張異常の中に含まれる痙縮や固縮の成分を観察するとともに, 相反性神経支配機能の失調が脊髓運動ニューロンの異常興奮とどのような関連をもっているかについて検討した。

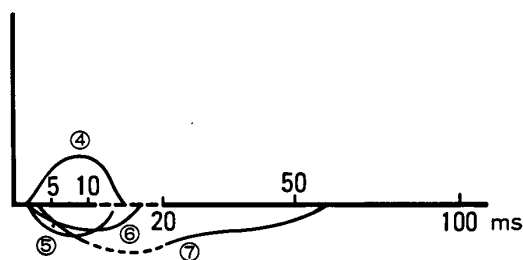
### 1. 正常例 (Figs. 3, 4)

短間隔 2 発刺激での  $H_1$  と  $H_2$  を観察し, 協同筋に振動刺激を加えると,  $H_1$ ,  $H_2$  の振幅はともに強い抑制を受けている ( $H_1$  の抑制の方が強い)。これは振動刺激によって協同筋が収縮することにより GIb や GII の上行性インパルスが増し, 加えて皮膚受容器が興奮し強いインパルスを発し, 脊髓内でそれらが抑制的に働いたものと考えられる。そのほかに振動刺激で発生した上行性インパルスによる occlusion, presynaptic inhibition, hyperpolarization などのメカニズムも考慮する必要はあると考える。 $H_1$  に対する抑制効果が  $H_2$  に対する抑制効果より大きいことについては, 現在の段階ではまだ説明のできない部分が残されているが, 発射帯の発火には強い抑制が及ぶと言えるであろう。

抑制について Eccles<sup>19</sup> は, 閾下縁にある EPSP に対しては, Renshaw 細胞, Golgi 腱受容器, 拮抗筋よりの GIa などからの IPSP



A: motor neuron fired  
 ① spike potential  
 ② negative afterpotential  
 ③ afterhyperpolarization



B: motor neuron unfired  
 ④ EPSP [by impulse from GIa]  
 ⑤ IPSP [by impulse from GIb]  
 ⑥ IPSP [by impulse from GIa antagonist]  
 ⑦ IPSP [by impulse from Renshaw cells]

Fig. 10 Membrane potential Schematic presentation. after Eccles (modified).

効果が加わるとしている (Fig. 10). この場合, 拮抗筋は振動刺激によって弛緩するわけであり, 従って拮抗筋の GIa からおよんで来る抑制が弱くなるため, IPSP の time course からみて  $H_2$  に及ぶ抑制は余り強くはないと考えることもあるいはできるであろう。つぎに拮抗筋 (この場合 m. peroneus) に振動刺激を加えると,  $H_1$ ,  $H_2$  ともに抑制を受けている。協同筋に振動刺激を加えた場合に比べると  $H_2$  への抑制効果が大きい。これは, 拮抗筋が収縮し GIa の求心性インパルスが増加しそのために発火帯, 閾下縁に対して強く抑制的に働いたと考えることができるであろう。つまり協同筋, 拮抗筋に別々に振動刺激を加えた場合の H-反射の抑制効果はそれぞれ意義を異にするが, いずれも発火帯, 閾下縁の両者が抑制を受けることが観察される。ここで短間隔 2 発刺激で誘発される  $H_1$ ,  $H_2$  それぞれにかかる抑制について検

討することが望ましいのはいうまでもないが実際に検討してみると、 $H_1$ 、 $H_2$  を波形の上できちんと区切って識別することは困難である。従って本研究においては  $H_1+H_2$  に対する抑制率を観察する方法しか用いられないのである。

FD-curve は、正常者の場合高頻度の反復刺激を受けたとき、H波が強く抑制を被ることから低頻度部分 (1 Hz 以上 8 Hz 未満) では 70~40%level, 中頻度部分 (8 Hz 以上 20 Hz 未満) では 40~10%level へと下降し、高頻度部分 (20 Hz 以上) では 20~10%level へと下降するのである。これは、井奥<sup>18</sup> の記載とほぼ同じであり、正常例では反復刺激を受けるとH波の抑制は刺激の頻度が増すほど強くなるのである。

#### 2. 外傷性腓骨神経損傷の1例 (Fig. 5)

患側では抑制率が協同筋、拮抗筋どちらに振動刺激が与えられた場合でも抑制率が軽度であった。協同筋に振動刺激を加えた場合は、拮抗筋側から当然及ぶであろう  $G_{Ia}$  の求心性抑制性インパルスが神経損傷により伝わらなくなっていることが考えられる。拮抗筋に振動刺激を加えた時の抑制は (本来拮抗筋は収縮し、 $G_{Ia}$  の抑制は強まるのであるが)、損傷のために相反抑制が障害されているため  $H_1+H_2$  の抑制が軽度である。従って抑制率は、拮抗筋に振動刺激を加えた場合の方が協同筋にそれを加えた場合より軽度である。これをみると拮抗筋の  $G_{Ia}$  からの抑制性インパルスは他の抑制性インパルスより強いと考えられる。

FD-curve では左右差はなく、ほぼ正常の曲線を描いている。これは脊髄運動ニューロンの興奮性が正常であることを反映していると考えられる。しかもこの現象をみると掲げたのは1例であるが、FD-curve を作る目的で反復刺激を加えた場合、拮抗筋からの影響は非常に少ないということが考えられ非常に興味ある結果である。

#### 3. 痙縮 (Fig. 6)

中枢性痙縮性麻痺を示す症例における検討では、 $\alpha$ -系の興奮が抗進し、そのために骨格筋

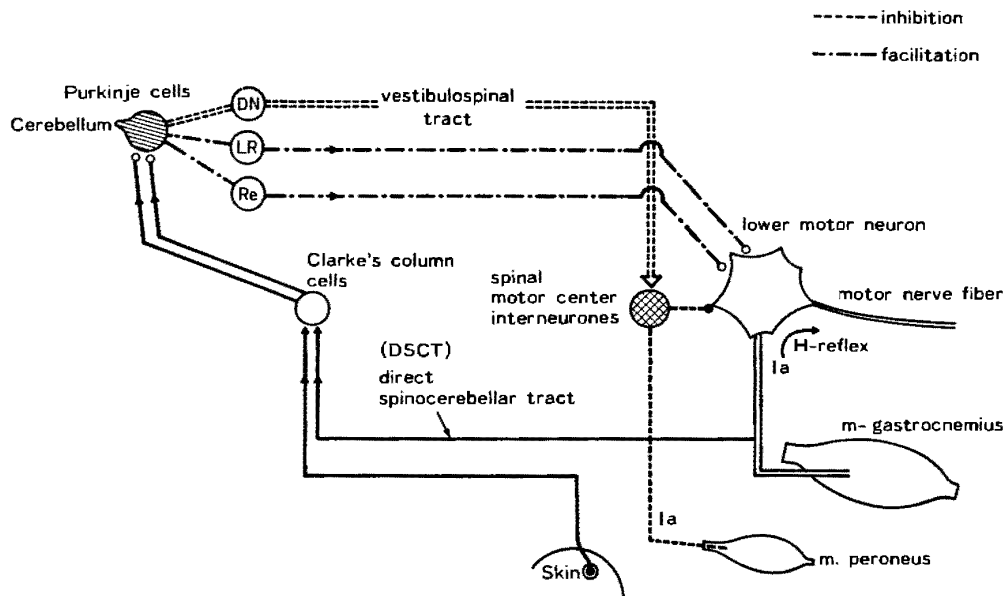
(筋紡錘ではない) の過緊張を示したものと考える。協同筋、拮抗筋どちらの振動刺激においても抑制は軽度であった。痙縮では、伸側においても屈側においても、筋トーンスは非常に亢進しており、協同筋に振動刺激を加えた時、拮抗筋の筋トーンスは少ししか緩和されない。また拮抗筋に振動刺激を加えた時は、協同筋の筋トーンスは少ししか緩和されないのが見受けられた。 $G_{Ib}$ 、 $G_{II}$ 、皮膚受容器よりの抑制も甚だ弱いと考えられるようである。FD-curve において低頻度部分の抑制が軽度であることも以上の考察から説明できるであろう。

#### 4. 固縮 (Fig. 7)

固縮は痙縮と異なり黒質や線条体の病変が強いが、腱反射の亢進、病的痙縮性反射は認めない。痙縮と異なる点は、 $\gamma$ -系が過興奮の状態におかれているということで、このことは骨格筋において歯車現象 (あるいは鉛管現象) を生ずるようになっている (痙縮にはかかる現象はない)。つまり、筋紡錘を支配する  $\gamma$ -系の影響が非常に強いのである。すなわち筋紡錘を支配するガンマー板状線維やガンマートレイル線維からのバイアスが大きくかかり、筋紡錘自体強く緊張している状態におかれているのである。しかも、協同筋、拮抗筋ともにほとんど同じ条件でバイアスが大きくかかっているものと考えられ、どちらかの筋に振動刺激を加え、その拮抗筋に相反性抑制を試みても効果があがらないものと考えられる。すなわち  $H_1$ 、 $H_2$  への効果も上がっていないのが観察された。Renshaw の抑制もそのような意味であまり働いていない様に思われた。FD-curve では低頻度部分において抑制が軽度であり、このことは、Renshaw 抑制の欠落が大きく関与しているのではないかと考える。

#### 5. 脳幹—小脳障害 (Fig. 8)

痙縮と固縮の成分はいろいろな割合で混合した筋緊張亢進を示す。協同筋、拮抗筋どちらの振動刺激においても抑制は軽度であった。脊髄レベルで行われていると考える presynaptic inhibition や Renshaw 抑制が脳幹、小脳の障



**Fig. 11** Supraspinal influence on H-reflex activity  
(with the cerebellum Purkinje cell as the central figure)  
Re: reticular nuclei LR: lateral reticular nuclei DN: Deiters' nuclei  
after Tábořiková.

害のために低下していると考えて不自然ではないと思われるが、脊髄反射の亢進することを抑制、ひいては筋トーン亢進を抑制するために重要な役割を保有する器官として重要視せられるもののひとつに小脳が存在し、小脳皮質に存在する Purkinje 細胞が重要な役割をもつものと考えられることができるであろう。これを理解するために、Tábořiková<sup>20</sup> の図を簡便な図に修正した (Fig. 11)。上行性伝導路には、後脊髄小脳路、腹側脊髄小脳路、下行性伝導路には、錐体路、赤核脊髄路、網様体脊髄路、前庭脊髄路があることが知られている。これらは相互に密接に関連し機能が調和するように統合されている。Purkinje 細胞は強力な抑制ニューロンであり、小脳に障害が存在する場合、Purkinje 細胞そのものが障害され、脳幹に障害が存在する場合、橋に存在する Deiters' nucleus の機能が弱化した、あるいは下行性伝導路が障害され、H-反射も含まれる全ての反射に対する抑制が低下するものと考えられる。そのことは、Purkinje 細胞から Renshaw 細胞や脊髄の interneuron を介して前柱細胞に及ぶ影響が弱化したと考えることができるであろう。

FD-curve において全頻度部分において極めて抑制が軽度であることをみても、Purkinje 細胞は非常に強力な抑制性ニューロンであることがわかる。

#### 6. 頸髄障害 (Fig. 9)

脳、脳幹のように上位に原因のある痙性麻痺は上位の核の障害による影響が強いのであるが、頸髄障害の場合は主として伝導路の障害が強く反映しているものと考えられる。協同筋、拮抗筋どちらの振動刺激においても抑制は軽度であった。これは、後索の障害により Clarke 柱、上行性伝導路から Purkinje 細胞に伝達される機能が不十分である、あるいは下行性伝導路の障害があるために Renshaw 細胞や脊髄の interneuron への伝達が不十分であったためと考えられる。FD-curve では、低～中頻度部分において抑制の弱化がみられた。これは、脊髄病変の部位、程度により上行性、下行性、または両方の伝導路の障害を有するために伝達の不十分な程度にも格差があると思われるがいずれにせよ抑制性ニューロンに障害があるものとおもわれる。即ち上位核（主として脳内）の損傷はないので伝導路の損傷によって脊髄内の抑制メ

カニズスに変調を来したものと考えられるであろう。

固縮, 痙縮を論じた論文は多い, そしてその分析の結果も私の得たものとよく合致している。しかしこの研究のように, 固縮や痙縮あるいはそれらの混合, 小脳障害などの混在の程度などの分析について,  $H_1$ ,  $H_2$  の振動刺激による抑制の度合を数値で示したり, FD-curve のようにグラフ上に表して読み取ろうと試みたものは殆ど見あたらない。

筋トーンの 변調を来す様々な病態を解明することは非常に興味のもたれるところである。相反性神経支配の変調を, H-反射と緊張性振動反射を用いて調べることにより, 脊髓運動ニューロンに対する中枢からの抑制について理解を深めることができた。そしてその分析結果は, 理学療法の効果や疾患の予後の判定に有用な資料とすることができると考える。

#### 謝 辞

稿を終えるにあたり, 本研究の全般にわたる御指導, 御助言, 御校閲を賜りました恩師井奥匡彦教授に深甚なる謝意をささげます。また, 多方面にわたり御協力頂きました脳神経外科学教室の諸兄姉に心から感謝致します。

本論文の要旨は第20回日本脳波・筋電図学会学術大会(平成2年10月, 東京), 第13回脊髓電気診断研究会(平成3年2月, 大阪)において発表した。

#### 文 献

1. Magladery JW, McDougal DB. Electrophysiological studies of nerve and reflex activity in normal man, (1) Identification of certain reflex in the electromyogram and the conduction velocity of peripheral nerve fibers. Bull. Johns Hopkins Hosp. 1950; 86: 265-290.
2. Magladery JW, Teasdall RD. Electrophysiological studies of reflex activity in patients with lesions of the nerve system, (1) A comparison of spinal motoneuron excitability following afferent nerve volleys in normal persons and patients with upper motor neuron lesions. Bull. Johns Hopkins Hosp. 1952; 91: 219-244.
3. Hoffmann P. Beiträge zur Kenntnis der menschlichen Reflex mit besonderer Berücksichtigung der elektrischen Erscheinungen. Arch Physiol. 1910; 223-246.
4. Hoffmann P. Über die Beziehungen der Sehnenreflexe zum willkürlichen Bewegung und zum Tonus. Z Biol. 1918; 68: 351-370.
5. Hoffmann P. Untersuchungen über die Eigenreflex menschlichen Muskeln. Springer Verlag; Berlin: 1922.
6. Hagbarth KE, Eklund E. Tonic vibration reflex (TVR) in spasticity. Brain Res. 1966; 2: 201-203.
7. Hagbarth KE, Eklund G. Motor effects of vibratory muscle stimuli in man. "Muscular afferents and motor control." Nobel Symposium I; 1966: 177-186.
8. Hagbarth KE. EMG studies of stretch reflex in man. Clin Neurophysiol. Suppl. 1967; 25: 74-79.
9. 井奥匡彦. 臨床検査分野に緊張性振動反射を用いた経験. 臨床脳波. 1971; 13: 469-472.
10. 井奥匡彦. 筋電図と緊張性振動反射を用いた相反性神経支配の研究. 脳波と筋電図. 1973; 2: 98-99.
11. 井奥匡彦. 緊張性振動反射 (TVR) と相反性神経支配. 臨床脳波. 1974; 16: 218-228.
12. 井奥匡彦, 郷間 徹. 筋緊張異常と緊張性振動反射 (TVR). 臨床脳波. 1976; 18: 206-214.
13. 本間三郎. 腱反射と緊張性振動反射による臨床診断. 日本医事新報. 1969; 2355: 8-12.
14. 本間三郎. 緊張性振動反射の2~3の原理. 臨床脳波. 1971; 13: 440-445.
15. De Gail P, Lance JW. Differential effects on tonic and phasic reflex mechanism produced by vibration of muscle in man. J Neurol Neurosurg Psychiat. 1966; 29: 1-11.
16. 山中 力. 人体筋紡錘に対する高頻度刺激の効果. 千葉医会誌. 1964; 40: 338-346.
17. Fujimori B, Eklund E. Central effects of succinyl choline and decamethonium on monosynaptic reflex. Amer J Physiol. 1961; 200: 699-702.
18. 井奥匡彦. 筋電図でとらえる中枢障害(II). 臨床脳波. 1971; 13: 604-611.
19. Eccles JC. The physiology of nerve cells. Baltimore, Johns Hopkins Press: 1957.
20. Tábořiková H. Supraspinal influence on H-reflexes. New Developments in Electromyography and clinical Neurophysiology. 1973; 3: 328-355.