

H波の臨床応用上の基本的問題に関する研究

第1報 H波の変動性

千葉大学医学部第一内科学教室 (主任 三輪清三教授)

河野 顕

(昭和40年8月21日受付)

I. はじめに

1910年, Hoffmann がはじめて人体の腱反射に誘発筋電図を応用して以来, Magladery⁽¹⁾, Paillard⁽²⁾ら多くのすぐれた業績が発表されて, 広く神経筋系の研究に用いられるようになった。我国においても藤森⁽³⁾, 本間⁽⁴⁾らにより研究がはじめられ, 特に1958年から1961年まで二つの文部省総合研究⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾が行われ大きな進展をみるに至った。

周知の如く従来の筋電図が随意収縮によつて起る筋の興奮を活動電位として記録するものであるのに対し, 誘発筋電図⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾は中枢神経, 末梢神経, 筋, 腱などの何れかに人工的刺激をあたえそれにより生ずる神経, 筋の興奮を記録するものである。

誘発筋電図の臨床的応用は神経伝導速度およびシナプス機能の二つに大別できるが, 研究の指標となるものは筋直達性のM波と脊髓迂回性のH波である。シナプス機能の追求では特にH波が重要であるが, そのH波について測定の対象となるものは閾値, 応答時, 振巾, 持続時間などである。脊髓伝達回復曲線により脊髓機能を検索する際⁽¹¹⁾, 著者は条件刺激によるH波の振巾がくりかえしの度毎に必ずしも一定でないことに気がついた。二重刺激法では二つの振巾を対比して考慮するので, H波の振巾が不規則に変動しては測定の基準にすることは難しい。そこで先ずこの変動性に一定の規則性が見出されるものなのかどうか検討を加えた。

II. 研究方法

1. 刺激および記録

被験者をシールド室内に仰臥させる。H波の振巾は外来の刺激や体動, 精神状態などの影響を受けるので, できるだけ心身の安静を保ち特に足は自然の状態におくように留意した。

刺激電極は直径約9mmの円形銀板を用い, 電極糊を介して膝窩の脛骨神経刺激点に密着させ, 不関電極として20×5cmの長方形銀板を1%食塩水を含んだ綿を用いて対側下腿に接着した。刺激は持続時間1ミリ秒の直角波を平衡回路⁽¹²⁾を用いて行つた。強度は後述の理由から直達性のM波が出現しない程度で最大の振巾のH波がえられる強度である。頻度は前の刺激による変化が回復したと思われる間隔として約5秒に1回の割合で刺激をくりかえし, H波が安定した状態になつてから測定の対象とした。

導出電極は直径約9mmの円形銀板2個を電極糊を用い, ヒラメ筋の走行に沿つて約20mm離して皮膚に密着させた。導出電極の上方に20×5cmの長方形銀板を1%食塩水を含んだ綿を介して巻きつけ接地した。

記録は差動式増巾器を用いて人工的変位をできるだけ防止し, ブラウン管の螢光面をレントゲンフィルムに連続撮影し, 現像後引伸器にかけ振巾によつて増巾器の増巾度をかえてあるので, 測定時に較正電圧5mVが長さ30mmになるように引伸率を調整した。

次に各H波の振巾をmm単位で測定しmm未満は四捨五入した。原則としてH波を連続100個, 少い時でも80個以上測定した。

2. 統計学的検討⁽¹³⁾

求めた結果について次のように統計学的処理を行つた。

(1) 度数分布曲線

健常人を例にとりH波の振巾を測定順に従つてならべてゆくと, 図1のように一見一定の傾向がなく不規則に変動しているように思われる。しかし度数分布表(表1. ①②)を作つてこれに基き, 振巾を横軸に個数を縦軸にとつて度数分布曲線をえがく

図 1. H 波の振巾の変動

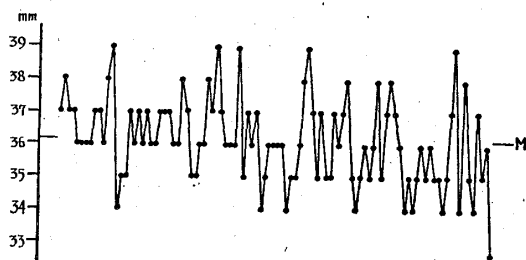


表 1.

① 振巾 c	② 度数 f	③ 累積度数	④ f×d'	⑤ f×d' ²	⑥ 理論値 y
33	1	1	-3	9	1.75
34	9	10	-18	36	8.10
35	23	33	-23	23	20.99
M'36	29	62	0	0	30.33
37	24	86	24	24	24.44
38	9	95	18	36	10.99
39	5	100	15	45	2.75
			Σ=13	Σ=173	

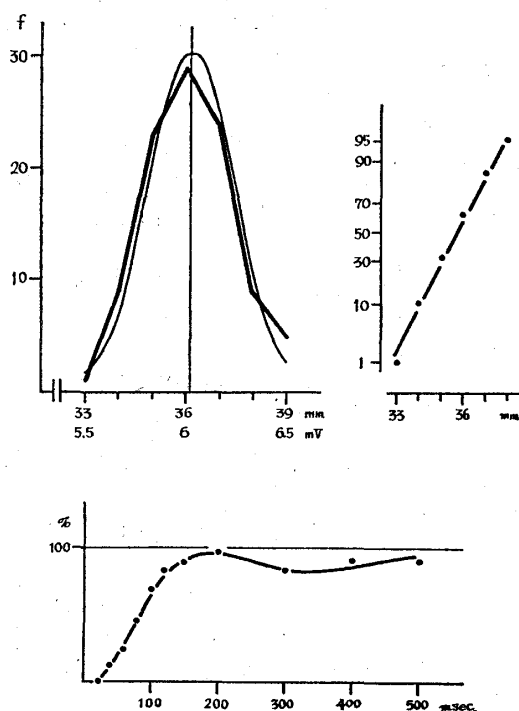
$$\text{平均値 } M = 36 + \frac{13}{100} = 36.13$$

$$\text{標準偏差 } \sigma = \sqrt{\frac{173}{100} - \left(\frac{13}{100}\right)^2} = 1.31$$

$$\text{変異係数 } V = \frac{100 \times 1.31}{36.13} = 3.6$$

と、図 2 上左にみられるような中央が高く左右が低くなる山形がえられる。

図 2. 症例 1. 健常人



(2) 平均値 M

はじめ平均値を求める。(表 1 ④)

$$M = M' + B \frac{\sum fd'}{n} \quad (M'; \text{仮平均 } B; \text{級間 } d'; \text{仮平均よりの偏差})$$

平均値はいろいろ条件が重なるのでこれだけでは役に立たない。

(3) 標準偏差 σ

平均値では曲線の分布の状態がわからないので、全体の散布度を示す標準偏差が必要となる。(表 1. ④⑤)

$$\sigma = B \sqrt{\frac{\sum fd'^2}{n} - \left(\frac{\sum fd'}{n}\right)^2}$$

(4) 変異係数 V

標準偏差は平均値に対する関係が考慮されていないので、比較散布度ともいべき変異係数を用いれば、各症例について比較検討できる。

$$V = \frac{100\sigma}{M}$$

(5) χ² 検定

順序が逆になつたが、これらの数値を比較するには分布曲線が一定の形をとらねばならない。生物現象は連続量については正規型、指数型などに分けられるが、分布曲線は形からみて正規型に属するものと考えられる。これを確かめるために曲線を仮に正規型とみなして、各階級について理論値を計算し、これと実測値を比較し χ² 検定によりその一致度を検定する。正規分布曲線は近似的に

$$y = \frac{n}{\sigma \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{d^2}{2\sigma^2}} \quad (d; \text{平均値と各級の偏差})$$

となる。この理論値と実測値が一致しなければならない。(表 1. ⑥)

$$\chi^2 = \sum \frac{(f-y)^2}{y}$$

この値を数表により比較する。

(6) 正規確率紙

χ² 検定は計算が複雑なので正規確率紙を用いて簡単に行う。それには各級について累積和を求め百分率であらわし、確率紙上に記入して各点がほぼ一直線をなせば正規型に属するものとする。(図 2 上右, 表 1 ③)

(7) 変異係数を求める順序

i) 各 H 波の振巾を測定し度数分布表をつくり、これに基づいて分布曲線をえがいて大体の分布をみる。

ii) 累積度数分布表をつくり正規確率紙に記入し、各点が一直線をなせば正規分布を示す。

iii) 疑わしい場合は χ^2 検定を行う。

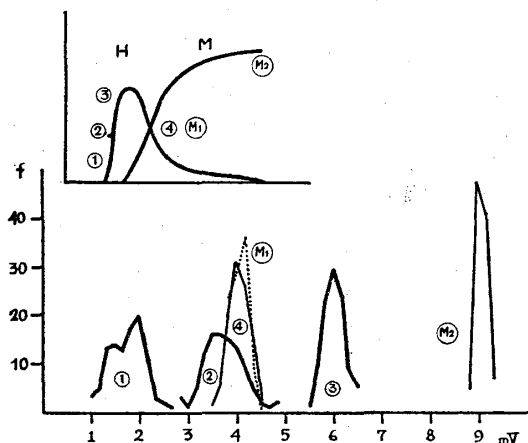
iv) 正規分布に従えば平均値、標準偏差より変異係数を算出する。

III. 研究成績

1. 各刺激強度における H 波の変動性

膝窩において脛骨神経に対する刺激を漸次強めていくとはじめ H 波があらわれ次第に振巾を増し、やがて M 波があらわれて段々大きくなるが、H 波は逆に小さくなりはじめ終には消失する。これを図示したものが図3上で横軸は刺激強度、縦軸は H

図3. 各刺激強度における H 波と M 波の変動性



波および M 波の振巾である。H 波の振巾が最も安定した刺激強度をえらぶために、強度を変えて変動性を比較し図3に示した。横軸は振巾、縦軸は各振巾毎の個数である。刺激強度は

- ① かなり小さい H 波
- ② 中等度の H 波、④とほぼ振巾が等しい
- ③ M 波のあらわれない最大の H 波
- ④ M 波と同じ大きさの H 波
- (M1) ④における M 波
- (M2) H 波が消失した時の M 波

がえられる5点について検討を加えた。そのため4種類の H 波および2種類の M 波がそれぞれ正規分布に従うことを確かめた上で、変異係数を求めた。

(表2)

これらの H 波のうちで変異係数の最も小さいもの、いいかえれば安定性の最も高いものは③即ち M 波があらわれず振巾の最も大きい H 波であつた。この刺激強度は H 波の振巾の安定性の高いこと、刺激強度をあわせ易いことなどより最も妥当な刺激

表 2.

	M	σ	V
① 小さい H 波	10.45	2.12	20.3
② 中等度の H 波	22.44	2.43	10.8
③ M 波無し最大の H 波	36.13	1.31	3.6
④ M 波と同等の H 波	24.25	1.21	5.0
(M1) M 波	24.38	0.99	4.1
(M2) H 波無し M 波	54.5	0.70	1.3

強度と考えてよいので、この強度で刺激を行つた。

2. 健常例の変異係数

主に対象は本学々生および看護学校生徒について行つた。

総数 36 例 全例正規分布
変異係数 3.0~14.8 平均 7.31

症例 1 (図2)

変異係数の計算の例にあげたもの
変異係数 3.6

脊髄伝達回復曲線 正常 (図2下)

この例はまとまりがよく各振巾の H 波の変異係数が計算出来たが、普通は M 波の出ない最大の H 波のみが正規分布する。

3. 各種疾患の変異係数

各種疾患について腱反射と変異係数との関係を見た。腱反射は数値であらわしにくいので検者の判断に従うほかないが、日常臨床診断上用いる規準で判定するようにした。アキレス腱反射を主として膝蓋腱反射を考慮に入れ正常、亢進、減弱の三段階に分けた。偏側性のものは患側を示した。

(1) 片麻痺

腱反射が亢進しているのが普通であるが、中には正常なものもある。しかし健側にくらべれば亢進している。患側の変異係数が比較的大きいものでも健側よりは小さい。脳血栓による方が脳出血によるものにくらべ多い。

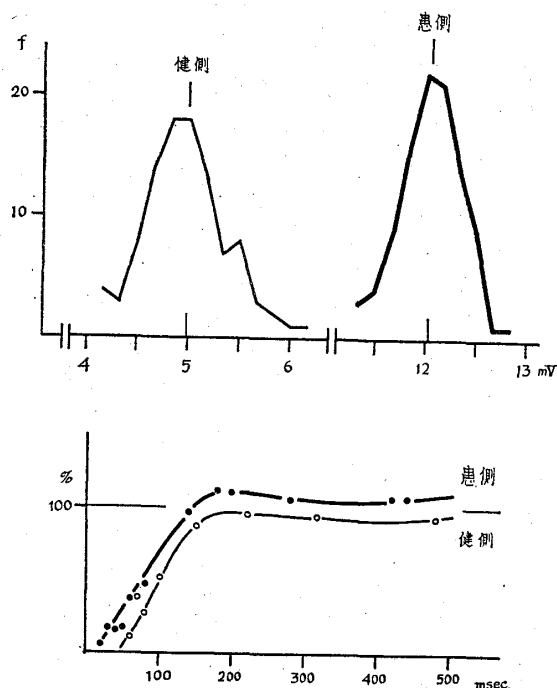
総数 23 例 正規分布 22 例
腱反射亢進 17 例 変異係数平均 4.98
正常 5 例 10.89

症例 2. 脳出血による片麻痺 (図4)

腱反射 患側亢進、健側正常
H 波の振巾 患側がかなり大きい
変異係数 患側 2.3, 健側 8.1
回復曲線 患側で不応期の短縮、過常期の出現があり回復過程の高まりが見られる。

(2) 高血圧および動脈硬化症

図 4. 症例 2, 片麻痺



腱反射はまちまちである。これらは末梢性のニューロパチーを含む。その場合 H 波が分離しにくいが分離しえたものについて行つた。

総数 14 例 正規分布 13 例
 腱反射亢進 5 例 変異係数平均 5.94
 正常 4 例 8.20
 減弱 4 例 13.20

(3) 神経炎

何れも代謝性のもと思われる。ただ症例に示したものはギラン・バレー症候群と考えられたものである。

総数 5 例 全例正規分布
 腱反射正常 1 例 変異係数平均 8.6
 減弱 4 例 16.50

症例 3. ギラン・バレー症候群 (図 5)

腱反射 減弱
 変異係数 19.0
 回復曲線 不応期の延長があり回復過程の遅延がみられる。

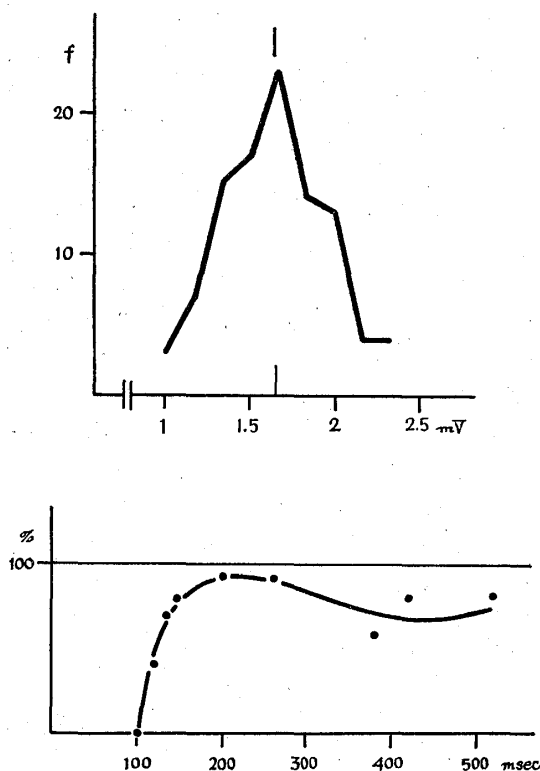
(4) 糖尿病

一般に H 波と M 波の閾値が接近して、H 波を単独にうることがむづかしい⁽¹⁴⁾。H 波が分離できても振巾が小さく変異係数が大きい。

総数 4 例 全例正規分布
 腱反射減弱全例 変異係数平均 13.45

(5) パーキンソン症

図 5. 症例 3. ギラン・バレー症候群



不随意運動が重なり錐体外路性の因子が加わるため振巾が安定せず、正規分布しないものが多い。

総数 7 例 正規分布 2 例
 腱反射正常 2 例 変異係数平均 14.45

(6) その他

脳腫瘍、脊髄腫瘍、脊髄炎、脊髄空洞症、筋萎縮性側索硬化症、多発性硬化症、重症筋無力症、進行性筋ジストロフィア、灰白髄炎などであるが、腱反射亢進群では変異係数は小さく、減弱群では大きい傾向がある。

4. 腱反射と変異係数との関連

全症例の変異係数を腱反射によつて分けて示したものが図 6 である。

(1) 健常例

総数 36 例 全例正規分布
 変異係数 3.0~14.8 平均 7.31

(2) 病的例

腱反射亢進群

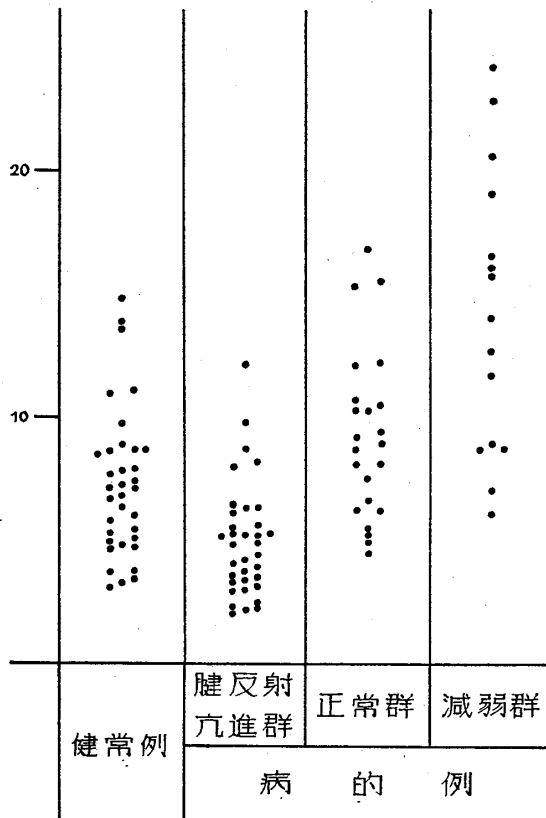
総数 40 例 正規分布 37 例
 変異係数 1.9~12.1 平均 4.71

腱反射正常群

総数 23 例 正規分布 22 例
 変異係数 4.3~15.4 平均 9.14

腱反射減弱群

図6. 腱反射よりみた各症例の変異係数の分布



総数 21例 正規分布 15例
変異係数 6.9~24.2 平均 14.07

健常例では症例が多数であれば、変異係数も又ある分布恐らくはこれも正規分布をとることが考えられる。一般に腱反射亢進群では変異係数は小さく、腱反射減弱群では変異係数が大きいといえる。腱反射が亢進していながら変異係数の大きいものもあり、病巣の多元性を思わせた例もあつた。

IV. 考 察

単シナプス反射を規定する因子には末梢性、髄節性、中枢性など種々ある⁽¹⁵⁾。H波も単シナプス反射であるが多くの因子によつて左右される。 α 運動細胞群の興奮性を規制する因子として次のようなものがある。筋紡錘の第1種⁽¹⁶⁾終末よりG1a線維をへて上行するインパルスは α 細胞に対し促進的に働くが、拮抗筋に対して抑制的に働く。又第2種終末よりGII線維を上行するインパルスは抑制的に働き、拮抗筋には促進的に働く。又ゴルジ腱器官は閾値が高くG1b線維を送り抑制的に働き、拮抗筋には促進的に働く。血管壁や結合織内の自由終末やパチニ小体よりGIII線維が、又GIV線維があるがはつきりしない。Renshaw細胞は抑制的に働く。

以上は何れも末梢からの促進、抑制であるが上位中枢からは錐体路および錐体外路の支配⁽¹⁷⁾を受ける。錐体路は大脳皮質から来るもので、主として皮質錐体路であり運動の発現に関係がある。錐体外路は脊髄に対し促進的あるいは抑制的に働くが、それは脳幹網様体を通じて行われ網様体育髄路を最終共通路と考えてよい。網様体育髄路系の抑制は小脳および大脳皮質の活動があつてはじめて働くものである。中枢神経系の疾患の際伸張反射の亢進は抑制が除かれたただけでおこるのではなく、網様体育髄路や前庭脊髄路を下行して脊髄におよぶ促進の働きが残っていることによる。

上位中枢、末梢、髄節をつなぐものとして、近時 γ 系が注目されているが、 γ 系はおそらくは錐体外路の主要な部分をしめており、脊髄では小さい運動細胞すなわち γ 細胞に至り、これは γ 線維を介して筋紡錘を支配し⁽¹⁸⁾張力受容器の感受性を調節している。筋紡錘の第1種終末より起るインパルスは脊髄において単シナプス性に α 細胞に達するのみでなく、脊髄を上行して網様体をへて小脳に至る。また小脳と γ 系の上位中枢との連絡が想定されている。このように広い多シナプス性の回路が調節にあつてい

る。H波の振巾は脊髄の α 運動細胞群の発射の同期性とひろがりに関連するので、振巾が変動することは発射する細胞群の同期性とひろがり絶えず増減していることである。同期性の変化に注目するならば、同一強度の刺激に対して波形の変化がなければならぬが、実際には振巾の変動性ほどの差はないので、ひろがりの変化の方に重点をおいて考えた

い。H波のあらわれない程度の刺激では α 運動細胞発射は起らないが、かなりの数の細胞が閾下縁的に興奮している。ここでJendrassik氏腱反射増強法を行えば、H波があらわれることもある。強度が強くなれば α 細胞発射が起つてH波があらわれるが、あるG1a線維は興奮しあるG1a線維は興奮せず、しかも一本の線維はいくつかの細胞にインパルスを送り、又1つの細胞はいくつかの線維を受け、いわゆる収斂、発散が行われ、発射する細胞は一定でなく、従つてH波の振巾は変動する。強度が強くなるにつれて α 細胞の発射もふえ閾下縁も広くなつてくる。強度がある限度に達すれば興奮しうる細胞はもはやふえない。これはすべてのG1a線維が興奮しつくしたのか、あるいは興奮すべき α 細胞

が残っていないかによる。勿論前柱にあるすべての細胞が興奮するわけではなく、閾下縁にある細胞が多い。Jendrassik氏法を行つたり、腕の随意運動によりH波の振巾が増大するのはこの閾下縁に属する細胞が発射するためであろう。

興奮しうる α 細胞がすべて興奮した時、H波の振巾は最大となり常に同一であるはずであるが、実際には刺激強度が強くなると閾値の高い α 線維も興奮しはじめ、直達性のM波があらわれ、H波の振巾は次第に小さくなり変動性が増し遂には消失する。これは α 線維に起つたインパルスが生理的現象と異り、両側性に伝導し α 線維を逆行して α 細胞においてH波となるべき変化を封鎖するためとされているが、しかしM波が出現した後もH波の振巾がなお増大することや、病的例でM波が先に出現した後小さいH波があらわれることなどから、必ずしも完全に逆行性に封鎖されるとは限らないであろう。M波は刺激強度と振巾が比例して大きくなりある強度になると振巾は一定し安定する。同じ振巾のH波とM波の安定性の差はシナプスに変動性があるためであろう。図3では中等度のH波と、H波と共存するM波すなわち②と(M1)はほぼ同じ振巾であるが、変異係数は10.8と4.1で大きく異りシナプスの変動性を示している。本例はすべて正規分布したので変異係数を比較できたものである。

われわれのH波の変動性についての報告について、Paillardら⁽¹⁹⁾も同じくH波の振巾の変動性について実験を行い最大振巾、その50%振巾、閾値のH波について比較変異性すなわちH波の分散と平均振巾の比(変異係数)は刺激強度がますますつれ減少する。閾値ではヒストグラムはあきらかに非対称であるが、振巾がますますつれて非対称性ははつきりしなくなり殆んど正規分布に近くなる、M波は非対称性はないと述べている。

前にHunt⁽²⁰⁾は除脳猫で実験を行い活動電位の度数分布曲線を書いて標準偏差を求め、変動性の原因として運動細胞およびシナプス結合のような内的因子と、介在ニューロンにおける活動性のような外的因子をあげている。

病的例において変異係数が変化したり、正規分布しないのは、先に述べた諸因子の平衡関係の乱れによるものであろう。著者は各疾患群についての特長を求めようとしたが、剖検例を欠くので厳密な病巣設定はきわめて困難であつた。従つて腱反射に応じて分けるはかなかつた。例えば片麻痺においても予

期したような変異係数の減少と腱反射の亢進がみられなかつた例がある。これは病巣の多様性と末梢性ニューロパチーの存在の有無によるものであろう。

V. ま と め

1. 誘発筋電図において、H波の振巾はくりかえしの度毎に必ずしも同一でなく変動している。M波のあらわれない最大のH波が一番安定しているので、連続約100個測定し分布曲線を求めると正規分布に従う。そこで平均値、標準偏差より変異係数を算出する。

2. 健常人36例で変異係数は平均7.31である。病的例は疾患によらず腱反射により三群に分けた。反射亢進群37例は平均4.71、正常群22例は平均9.14、減弱群15例は平均14.07である。従つて反射亢進群では変動が少く、減弱群では変動が多い。

3. パーキンソン症、その他若干例では正規分布に従わないものがある。

4. 脊髄の α 運動細胞には多くのインパルスが達するが、あるものは促進的にあるものは抑制的に働いている。中枢性には錐体路、錐体外路より、末梢性にはG Ia, G Ib, G II, G III 線維およびRenshaw細胞などより影響を受ける。

これらのインパルスの総合により個々の細胞あるいは細胞群の興奮性が変わり、H波の振巾が変動するものである。

文 献

- 1) Magladery, J. W.: Some observation on spinal reflex in man, Pflügers. Arch. 261, 302-321, 1955.
- 2) Paillard, J.: Analyse électrophysiologique et comparaison, chez l'Homme, du réflexe de Hoffmann et du réflexe myotatique, Pflügers. Arch. 260, 448-480, 1955.
- 3) 藤森聞一: 末梢神経刺激筋電図法の原理とその臨床応用, 日本医事新報, 1700, 10-15, 1955.
- 4) 本間三郎: 人体における脊髄反射活動に関する研究, 日生理誌, 18, 801-802, 1956.
- 5) 鈴木正夫: 33年度文部省研究報告書集録(医学及び薬学編) 1958,
- 6) 鈴木正夫: 34年度報告書集録, 1959.
- 7) 三輪清三: 35年度報告書集録, 1960.
- 8) 三輪清三: 36年度報告書集録, 1961.
- 9) 村越康一: 誘発筋電図の基礎と臨床, 神研の

- 進歩, 7, 352-374, 1963.
- 10) 渡辺誠介: 誘発筋電図, 内科, 14, 833-842, 1964.
- 11) 三輪清三ほか: 神経筋疾患の新しい電気診断法 (2), 内科, 1, 934-941, 1958.
- 12) 鈴木正夫, 本間三郎: 電気刺激分析装置 (Electrostimuloanalyser) について, 生体の科学, 8, 162-174, 1957.
- 13) 古屋芳雄ほか: 医学統計法, 金原出版, 東京, 1963.
- 14) 川口新一郎: 誘発筋電図法による糖尿病性ノイロパチーの脊髄機能に関する研究, 千医誌, 40, 270-283, 1964.
- 15) 藤森聞一: H波および Monosynaptic reflex とその中枢機序におよぼす諸要因, 脳と神経, 10, 823-837, 1958.
- 16) Rushworth, G.: Muscle tone and the muscle spindle in clinical neurology, Modern trends in neurology 3, London, Butterworths. 41-45, 1962.
- 17) 時実利彦: マグーン・脳のはたらき, 朝倉書店, 東京, 15-35, 1960.
- 18) Eldred, E., Granit, R. and Merton, P.A.: Supraspinal control of the muscle spindles and its significance, J. Physiol. 122, 498-523, 1953.
- 19) Coquery, J. M., Mark, R. F. et Paillard, J.: Les fluctuations spontanées du reflexe de Hoffmann à différents niveau de la courbe de recrutement, Electroenceph. clin. neurophysiol. 22, 90-92, 1962.
- 20) Hunt, C. C.: Temporal fluctuation in excitability of spinal motoneurons and influence on monosynaptic reflex response, J. Gen. Physiol. 38, 801-811, 1955.