

緊張性振動反射の臨床的検討

七 辺 一 三*

(昭和47年7月17日受付)

要 旨

1. 正常人の四肢に振動刺激を加えて得られる緊張性振動反射 (Tonic vibration reflex, TVR) は、上位運動ニューロン障害、パーキンソニズム、小脳疾患の患者からはほとんど得ることはできなかった。TVR は主として筋紡錘の興奮によって生ずる。筋伸展に敏感で、容易に導出可能と考えられる痙縮筋、固縮筋に TVR を実際には見出し得ないということは、この反射が小脳、大脳基底核など上位中枢を含む多シナプス回路の影響を受けるためと思われる。
2. 振動刺激を痙縮筋に加えると、しばしば随意収縮力が増加する。片麻痺患者における運動障害は上位中枢の器質的変化だけでなく、機能的抑制に由来するものと考えられる。
3. 前腕伸筋に振動刺激を加えながら書字試験を行なうと、診断上興味ある現象を呈する。パーキンソニズムと同じく、小脳疾患々々においても小字症が現われ、眼を閉じると小字症は一層著明になる。この現象は gamma 系の興奮によるものであろう。

Keywords: 緊張性振動反射, 振動刺激, Jendrassik 氏腱反射増強法, H 波, 書字試験

略語一覧: T. V. R.: Tonic vibration reflex

緒 言

筋紡錘が振動刺激に感受性をもつことをはじめて明らかにしたのは、Echlin, Fessard¹⁾ であるが、Granit, Henatsch²⁾ は筋紡錘第一種終末が特に振動刺激に敏感であることを見出した。Hagbarth^{3,4)} らは高頻度の振動刺激を骨格筋に加えると、被刺激筋の持続的収縮と同時に、拮抗筋に弛緩がおこることを観察し、これを緊張性振動反射と名づけた。

著者は振動刺激を正常人、痙性麻痺患者、パーキンソニズムおよび小脳疾患々々の四肢に加えて運動効果を観察し、TVR, 随意運動などにおよぼす影響を電気生理学的に研究したので報告する。

研究 方法

1. 装 置

- a. 筋電計, 記録装置
平和電子製電気刺激分析装置 (HM 305 A, HM 305 B)。三栄測器製ブラウン管連続撮影装置。
- b. 振動器
Hagbarth 氏考案による Keydon 社製のもの。直径 3.5 cm×長さ 9 cm の円筒形で、この中に直流モーターが入っており、軸に偏心性の重りをつけて振動を発生させる。実験には主に、200 Hz, 100 G の振動刺激を使用した。この際、皮膚面に対する振動の振幅は、0.65~0.69 mm の範囲である。

* 千葉大学医学部内科学第1 (主任: 奥田邦雄教授)

ICHIZO NANABE: Clinical application of the tonic vibration reflex

The First Department of Internal Medicine, School of Medicine, Chiba University, Chiba.

Present address: Shimizu Kosei Hospital, Shimizu.

Received for publication, July 17, 1972.

c. 電 源

ナショナル高性能電池 BM-1 (45 V) を並列とし、約 110 V になるようにした。

d. ストレインゲージ

新興通信製圧縮型荷重検出器 (FP/10 K)

2. TVR 導出法

表面電極を用い、大腿四頭筋より筋電図を記録した。被験者はシールド室内のベッドに腰かけ、両下肢を自由に下垂させる。この際、足底が床にふれないよう注意する。膝蓋骨上部の大腿四頭筋付着部に振動器をゴムベルトで密着させて振動刺激を加えた。導出電極には、日本光電製使い捨て電極を使用した。大腿四頭筋の筋腹に、筋線維に沿って約 3 cm の間隔をおき、2 コの電極を貼りつけた。導出電極と振動器の間の位置で、大腿に 1 % 食塩水を含んだガーゼに包まれた約 20×5 cm の銀板を巻きつけ、不関電極とした。

3. 随意収縮時の筋力測定法

図 1 のごとく、前腕伸側を上にして副木に固定する。伸筋側と屈筋側に振動器をかたく結びつけ、手背にストレインゲージを革製のバンドで密着させる。まず伸筋側に、ついで屈筋側に振動刺激を加える。その都度、最大

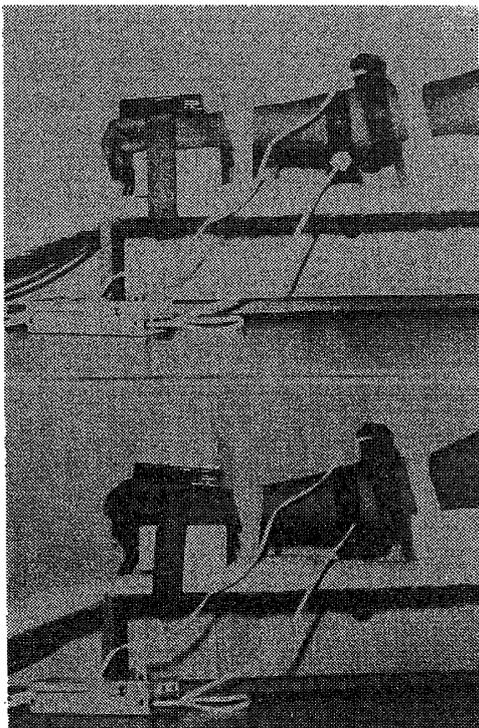


図 1. 随意収縮時の筋力測定法。下の写真は振動刺激中に手背の背屈をおこなっているところ。

限に手背を背屈するよう指示し、ストレインゲージに加わる筋力に比例した電気的変化をブラウン管で観察し、オシロペーパーに記録した。

4. 書字試験

振動器を前腕伸筋側に固定し、手指や肘が机に触れないよう注意しながら、サインペンで字を書かせた。まず振動刺激を与えずに字を書かせる。つぎに振動刺激を加えながら、開眼時、閉眼時の書字をおこなった。

研 究 成 績

1. 正常人の TVR

25~40 才の正常人 5 名の大腿四頭筋より TVR を記録した。5 名全員より誘導することができたが、その強さは $80 \mu\text{V} \sim 230 \mu\text{V}$ とかなりの個人差があった。この実験条件では、反射は非常にゆるやかに現われ、はっきりと潜時を定めることは困難であるが、おおむね 100 msec 前後と思われる。TVR は次第に大きくなり、10~20 sec でほぼ一定の振幅になる。開眼時、閉眼時の反射の強さには明らかな差はみられなかったが、閉眼時に一定振幅に達する時間が 2~3 sec 短縮するのが、5 例中 3 例にみとめられた。緊張性頸反射などの影響をみるために、頸部の回旋をおこなったところ、被刺激側に顔をむけた時は、反対側へ顔をむけた時にくらべて反射の潜時の短縮と強さの増加をみとめた。TVR をおこなせながら Jendrassik 氏腱反射増強法をおこなったところ、2 例に増加を観察した。

2. 病的例の TVR

痙性麻痺患者 5 名、小脳疾患者 2 名全員より TVR を導出できなかった。パーキンソニズム 5 名中、1 名にわずかな TVR をみとめた。

3. 随意収縮におよぼす振動刺激の影響

研究方法の項でのべたように、手背にストレインゲージを固定し、前腕伸筋部ついで屈筋部に約 200 Hz, 100 G の振動刺激を加え、手背を最大限に背屈させた時の筋力を、非刺激時の最大背屈力と比較した。なお、痙性麻痺患者 5 名について、手掌にストレインゲージを固定し、前腕屈筋部ついで伸筋部に振動刺激を加えた時の最大掌屈力を、非刺激時のそれと比較してみた。

5 秒間の最大随意収縮をおこなわせ、これをコントロールとして、つぎに 15 秒間の振動刺激を加えるが、前

後の5秒間は振動刺激だけとし、あいだの5秒間に随意収縮をおこなわせた。

随意収縮の影響である residual facilitation⁵⁾を除くためには30秒以上、振動刺激の影響である post vibratory potentiation が考慮される場合には、後述の成績から判断して3分間以上の間隔をおくこととした。ストレインゲージによる筋力はオッシロペーパーに記録し、曲線の最大振幅を測定して、コントロールに比して110%以上のものを増加、90~110%を不変、90%以下を減少と判定した。

a. 正常人

手背にストレインゲージを固定し、前腕伸筋部に振動刺激を加え、筋力の増加したものの1名(125%)不変3名、減少1名(88%)。屈筋部に刺激を加えた時は、手背背屈力は5名全員に低下がみられた。そのうち、特に2名においては、47%、28%と筋力の低下が著明であった。28%に低下したのは、伸筋部刺激の際125%と著しく筋力の増加を示した被験者である。

b. 痙性麻痺患者

11名の脳血管障害による痙性片麻痺患者について実験をおこなった。前腕伸筋側に振動刺激を加えた時、筋力の増加したものの6名、不変4名、減少1名。筋力増加の特に著しい患者は2名で、340%、163%であった。屈筋部刺激時、8名中増加3名、不変4名、減少1名。増加3例中2例は、伸筋刺激時に著しく筋力の増加した患者であった。図2はその一例である。振動刺激開始と同時にわずかな基線の上昇がみられ、刺激終了とともに消失する。この現象を痙性麻痺患者11名中3名にみとめる

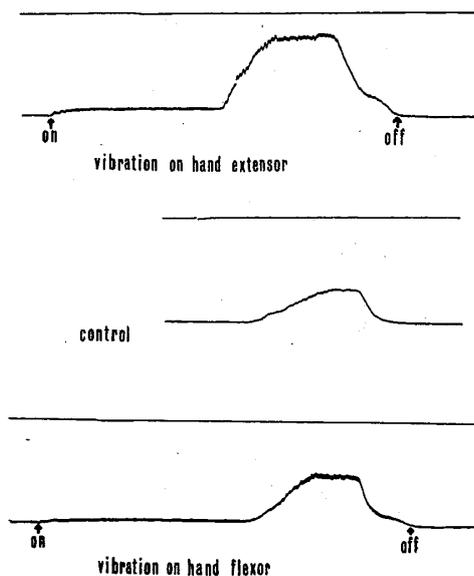


図2. 脳出血片麻痺患者の前腕に振動刺激を加えた時の手背屈力の増加。

ことができた。また、この3例すべてに随意収縮力の増加があった。基線の上昇は正常例5名において、1名にみとめられただけであった。

5名の痙性麻痺患者の患側前腕の屈筋部および伸筋部に振動器を、手掌にストレインゲージを固定し、刺激中の最大掌屈力を観察した。屈筋部刺激では3名に筋力の増加(175%、160%、114%)をみとめた。不変、減少(84%)ともに1例ずつであった。伸筋部刺激時の掌屈力は増加1名(200%)、不変4名。伸筋部刺激時の背屈力の変化とほぼ同様の傾向を示している。

c. パーキンソニズム患者

10名のパーキンソニズム患者において、前腕伸筋側刺激時の手背背屈力は2名に増加(178%、134%)。不変7名、減少1名(80%)。屈筋側刺激では、1名に軽度増加(112%)、不変1名、ほかはすべて減少を示した。最も減少したものは65%であった。痙性麻痺の場合みられた刺激開始と同時に起こり、終了と同時に消失する基線の上昇は2名にみとめられ、これらの症例では背屈力が増加していた。

d. 小脳疾患患者

この群の6名はいずれも脊髄小脳変性症で、小脳症状の顕著なものである。前腕伸筋を振動刺激して背屈力の増加したものはなく、不変4名、減少2名(83%、71%)。屈筋部刺激時の背屈力は、1名に増加(120%)、不変2名、減少3名。振動刺激による基線のわずかな上昇は全くみられなかった。

4. 振動刺激中および刺激後の筋力の変化

図3の左は、脳血管障害による片麻痺患者の患側の前腕伸筋部に振動刺激を加えながら、筋力の経時的变化を記録したものである。刺激開始後、著明な筋力の増加をみるが、動作の反復により刺激持続中においても疲労現象がみとめられる。しかし、図の右のごとく、刺激終了

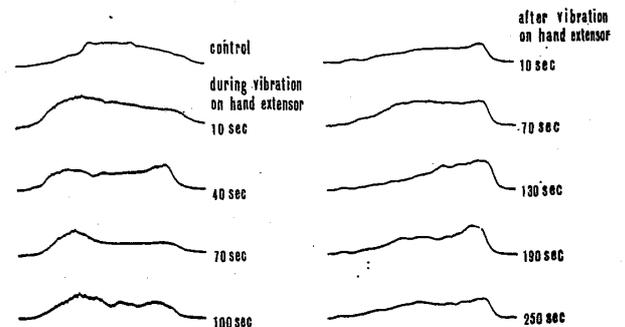


図3. 脳出血片麻痺患者の手背屈力が振動刺激により増加する……その経時的变化。

後も約3分間は筋力は増加している。

この例は30秒間隔で手背の背屈を反復したものであるが、振動刺激を200 Hz, 1分間とし、この間に5秒ずつの随意収縮と休息をくり返してみると、筋力は次第に増加し、やがて疲労することがわかる。この場合の post vibratory potentiation も約2分30秒間みられ、約3分後には反復動作により筋は全く疲労したように思われたが、この時期に振動刺激を加えてみると、再び著明な筋力の改善を得た。

5. 脛骨神経電気刺激の筋力に与える影響

振動刺激は筋紡錘第1種終末を興奮させ、G1a 発射を増加させる。脛骨神経にM波が生じない程度の強度の電気刺激を加えれば、同神経支配領域の筋を振動刺激し、第1種終末を興奮させた時と同様の運動効果を期待し得るものと思われる。片麻痺患者を仰臥させ、患側の足底にちょうど接触するようにストレージを固定し、足関節底屈時の筋力を測定できるよう装置した。図4の上段は、片麻痺患者に最大限の底屈を命じた時の筋力を、中段はアキレス腱部に振動刺激を加えた時の、下段は膝窩部で脛骨神経に経皮的に電気刺激を加えた時の最大底屈力を示したものである。刺激強度はH波の閾値をわずかに越える程度とし、G1a 線維を選択的に刺激するように注意した。刺激頻度は100 Hzで、刺激幅は1 msecである。振動刺激を加えた時と同じく、電気刺激でも筋力が増加している。なおこの際、刺激電極下をプロカイン麻酔して実験をくり返したが、図5に明らかなように麻酔前

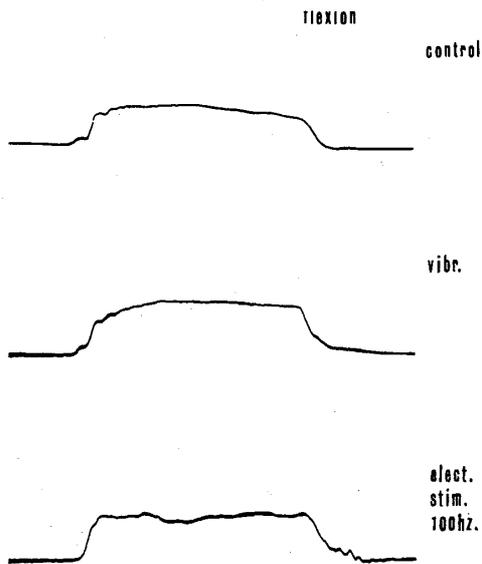


図4. 脳出血片麻痺患者の脛骨神経を電気刺激した時の筋力の増加。振動刺激との対比。

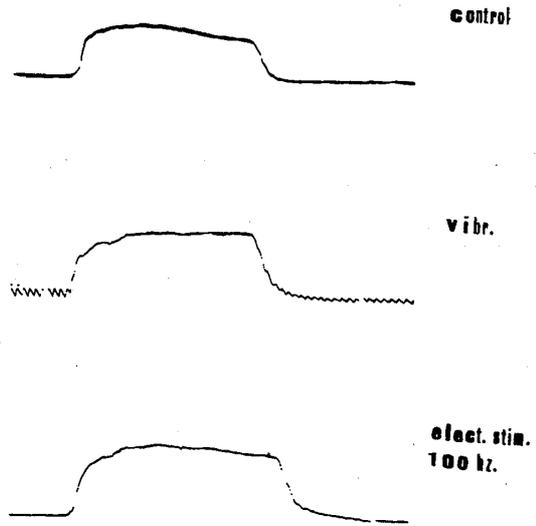


図5. 電気刺激する皮膚面をプロカイン麻酔した場合。

と同様の筋力の増加がみとめられる。

6. 書字試験

小脳疾患々者に大字症、パーキンソニズム患者に小字症がみられることはよく知られた事実である。振動刺激を前腕伸筋に加え、さらに眼を閉じて字を書かせると、この傾向は一層著しくなるのではないかと予想して実験をおこなった。小脳疾患々者として、脊髄小脳変性症4名、オリブ橋小脳萎縮症1名、ワレンベルグ症候群1名を対象とした。振動刺激により、4名に軽度の字体の乱れと小字症がみとめられた。ほかの2名では、わずかに字体が乱れただけにとどまった。眼を閉じさせると、さきに小字症があらわれた4名のうち、3名に小字症の傾向が一層強まった。(図6)。ほかの3名では、字体の大きさは不変であった。

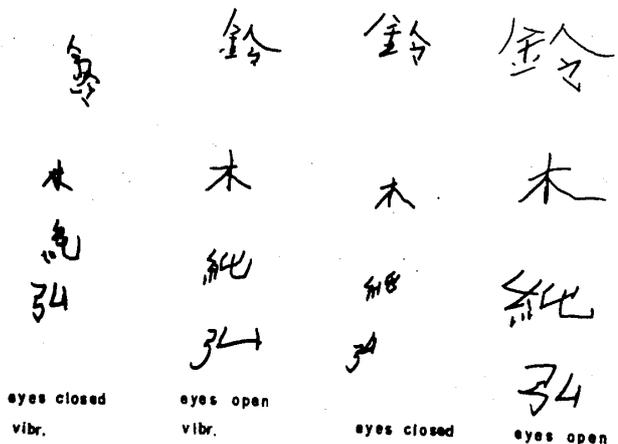


図6. 小脳疾患々者の閉眼書字と振動刺激の影響。

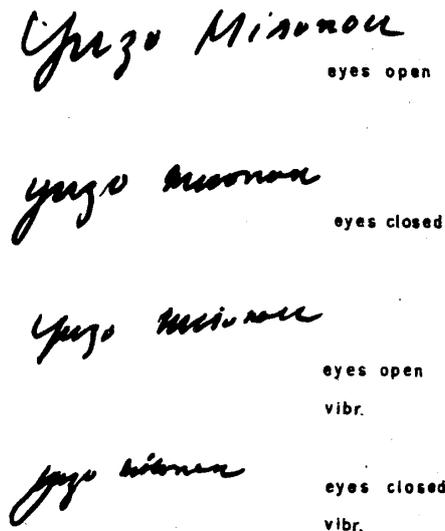


図7. パーキンソニズム患者の閉眼書字と振動刺激の影響。

パーキンソニズム患者13名のうち、振動刺激により9名に著しい小字症がみとめられた。閉眼すると、この傾向はさらに明瞭になった。(図7)。ほかの4例では、振動刺激により字体の乱れが軽度にあらわれただけであった。コントロールとして、正常人5名に同様の試みをおこなった。刺激を加えても、開眼時にはほとんど変化はない。閉眼すると、軽度の小字症があらわれた。

考 察

1. TVR について

正常人ではすべての骨格筋から TVR を導出できるといわれる。著者は大腿四頭筋をえらび、正常人5名全員より TVR を得ることができた。反射の潜時を決めることはきわめて困難である⁶⁾。その理由として、第一に刺激装置があげられる。モーターの回転による方式では、回転数が一定となるのに約 100 msec を要し、したがって G も漸増する。また、表面電極による誘導の場合には、最初の活動電位が 100 μ V 以下と思われるため、振動器によるアーチファクトとの鑑別がむづかしい。著者の成績では、潜時は 100 msec 前後であったが、共同研究者の渡辺⁷⁾が平均応答加算装置を使用した成績では、約 160 msec の潜時で最初の波形があらわれ、ついで 300 msec 前後から次第に増強する波形が得られるという。

一方、TVR が筋紡錘を受容器とする反射であるために姿勢が非常に大きな要素となってはたらく。単に筋の伸展の状態だけでなく、頸部の回旋、あるいは Jendr-

assik 氏腱反射増強法の併用でみられたように上肢の動作も反射に影響を与える。パルビタルを静注すると、H波にはほとんど変化がみられないのに、TVR が消失することは、この反射に多シナプス回路が関係することを示している^{8,9)}。

Hagbarth¹⁰⁾ らもこのべているように、痙縮筋、固縮筋、小脳疾患々者の筋から TVR を導出することは困難であった。TVR が筋紡錘を主な受容器とする反射であるならば、痙縮筋、固縮筋からは容易に得られるのではないかと思われたが、実際には出にくい。著者ら¹¹⁾はさきに、H波におよぼす振動刺激の影響について実験をおこなった。振動刺激によりH波の振幅が低下している場合でも、二重刺激法では過常期が出現するなど、いくつかの系を介した抑制と促進の競合がおこなわれていると考えられる。これらの傾向は錐体路障害、小脳疾患などにより異なっており、gamma 系の機能が高進していると思われる病態が必ずしも TVR の発現とは結びつかないことを示している。

痙縮筋の随意収縮力に与える振動刺激の影響をみた時に、基線のわずかな上昇をみとめたが、この現象を刺激に対する逃避反射と説明することも可能であろう。しかし、刺激を反復して十分刺激になれた状態でも観察され、随意収縮後も刺激が持続している間、この現象がみられることは、やはり TVR の現われとするのが妥当と考えられる。この場合、なぜ大腿四頭筋に TVR が生じないのかが疑問として残る。上肢の背屈力の実験では、比較的等尺性の装置を用い、大腿四頭筋の場合、等張性条件に近くなっている点など考慮して今後の検討を要する。

2. 痙縮筋の随意収縮力増加について

これまで痙性麻痺は、たとえば脳卒中ならば内包付近の器質的障害としてとらえられてきた。振動刺激を加えることによって随意収縮力が増加することは、上位ニューロンからのインパルスの伝達が増加したことを意味し、痙性麻痺が上位ニューロンの単なる器質的変化だけでなく、機能的な抑制にも起因することを示していると考えられる。著者の実験の段階では、これがどのレベルでおこなわれているかを明らかにすることはできないが、脊髄の介在ニューロン、あるいはさらに上位の中枢を含む回路の影響と考える。

振動器をヒトに用いる場合、振動覚受容器であるパチニー小体などの関与を無視することはできないが¹²⁾、松田¹³⁾、Bianconi¹⁴⁾、Matthews^{15,16)} らの実験からみて、主な受容器は筋紡錘であろう。そのほか、ゴルジ腱器官

などの受容器についても一応の考慮をはらうべきであろう。

3. 書字試験

振動刺激の随意的共同運動に対するあらわれを書字試験にみることができる。すなわち、閉眼して振動刺激を加えながら書字をおこなわせると、多少の *dysmetria* と、かなり顕著な小字症の傾向が得られる。臨床的に、小脳疾患では大字症、パーキンソニズムでは小字症になるといわれているが、振動刺激により小字症の傾向があらわれるのは、*gamma* 系の機能高進の状態が強まったためと見ることができよう。*Dysmetria* については、振動刺激の平衡機能への影響が考えられる。*Eklund*¹⁷⁾ は閉眼起立時に前脛骨筋またはアキレス腱に振動刺激を加え、正常人においてもロンベルグ症候に似た平衡失調を観察し、これを振動刺激によって生じた求心性インパルスが上位中枢に影響をおよぼしたためとした。井奥¹⁸⁾ は緊張性頸反射異常のある患者の頸部、アキレス腱に振動刺激を加えると、平衡機能障害の増悪することを見ている。

以上、TVRの神経内科的応用についてのべたが、診断面では書字試験が錐体外路疾患の早期診断に有効な手技であり、治療面では振動刺激が痙縮筋のリハビリテーションに有効であると考えられる。この場合、TVR, *post vibratory potentiation*, *residual fasciculation*などを考慮し、病態に応じた刺激頻度、刺激強度、刺激時間の組合わせを選ぶことが治療効果をあげる上で重要であると考えられる。

終りに、ご指導ご校閲をいただいた奥田邦雄教授に心から感謝の意を表します。また、生理学上の有益なご助言をいただいた本学第一生理学教室本間三郎教授に深く謝意を表します。さらに終始ご協力下さった渡辺誠介講師ほか神経研究室の諸先生、本学教育学部村越康一教授、三宿病院整形外科松田孝史博士に厚くお礼申し上げます。

本論文は審査学位論文である。

SUMMARY

The tonic vibration reflex (TVR) can only be obtained by inducing the vibratory stimuli to the extremities of a normal subject, and almost no evidences of the TVR can be found from patients suffering from upper motor lesion,

parkinsonism and *cerebellar disorder*.

Since the TVR is mainly produced by the stretching of muscle spindles, it seems probable that the reflex is evoked with ease in spastic and rigid muscles which were thought to be susceptible to muscle stretch, but actually the reflexes is seldom observed.

This fact may imply that the TVR is influenced by the polysynaptic pathways which include the supraspinal centers such as the cerebellum and basal ganglia.

When the vibration is applied to a spastic muscle, frequently the voluntary motor performance is increased. In patients suffering from hemiparesis, motor disturbances may be due to not only organic changes but to functional inhibitions in the upper motorneurons.

The writing test performed while vibrating the wrist extensor offered an interesting phenomenon for clinical diagnosis.

In patients with cerebellar diseases, as well as *parkinsonism*, *micrographia* appeared. When they closed their eyes, this tendency became more pronounced. This may be due to the enhancement of *gamma* activity.

文 献

- 1) Echlín, F. and Fessard, A.: Synchronized impulse discharges from receptors in the deep tissues in response to a vibrating stimulus., *J. physiol.*, 93, 312-334, 1938.
- 2) Granit, R. and Henatsch, H. D.: Gamma control of dynamic properties of muscle spindles., *J. Neurophysiol.*, 19, 356-366, 1956.
- 3) Hagbarth, K. E. and Eklund, G.: Motor effects of vibratory muscle stimuli in man., In proceedings of the First Nobel Symposium., 177-186, 1965.
- 4) Hagbarth, K. E. and Eklund, G.: Tonic vibration reflexes (TVR) in spasticity., *Brain Research.*, 2, 201-203, 1966.
- 5) Eklund, G. and Hagbarth, K. E.: Normal variability of tonic vibration reflexes in man., *Exp. Neurol.*, 16, 80-92, 1966.

- 6) 渡辺誠介: 神経学的立場よりみた緊張性振動反射, 臨床脳波, 13, 449-457, 1971.
- 7) 渡辺誠介: TVR の神経内科的応用, 臨床生理, 2, 328-332, 1972.
- 8) de. Gail, P., Lance J. W. and Neilson, P. D.: Differential effects on tonic and phasic reflex mechanisms produced by vibration of muscles in man., J. Neurol. Neurosurg. Psychiat., 29, 1-11, 1966.
- 9) Lance, J. W., de. Gail, P. and Neilson P. D.: Tonic and phasic spinal cord mechanisms in man., J. Neurol. Neurosurg. Psychiat., 29, 535-544, 1966.
- 10) Hagbarth, K. E. and Eklund, G.: The effects of muscle vibration in spasticity, rigidity, and cerebellar disorders., J. Neurol Neurosurg. Psychiat., 31, 207-213, 1968.
- 11) 松田孝史, 渡辺誠介, 川口新一郎, 七辺一三, 武井義夫, 永井 順: 緊張性振動反射の H 波による検討, 千葉医会誌, 47, 291-302, 1971.
- 12) Hunt, C. C.: On the nature of vibration receptors in the hind limbs of the cat., J. physiol., 155, 175-186, 1961.
- 13) 松田孝史: 神経筋促進法の H 波による検討, 千葉医会誌, 44, 759-778, 1969.
- 14) Bianconi, R. and Van der Meulen, J. P.: The Response to vibration of the end organs of mammalian muscle spindles., J. Neurophysiol., 26, 177-190, 1963.
- 15) Matthews, P. B. C.: The reflex excitation of the soleus muscle of the decerebrate cat caused by vibration applied to its tendon., J. physiol., 184, 450-472, 1966.
- 16) Brown, M. C., Engberg, I. and Matthews, P. B. C.: The relative sensitivity to vibration of muscle receptors of the cat., J. physiol., 192, 773-800, 1967.
- 17) Eklund, G.: Influence of muscle vibration on balance in man., Acta Soc med. Upsal., 74, 113-117, 1969.
- 18) 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, 13, 469-472, 1971.