

## ヒトの随意運動における求心性発射について

衣 笠 隆

## Afferent Discharges in Human Voluntary Movement

Takashi KINUGASA

It is well known that afferent discharges play an important role in motor control. A direct recording of spindle afferent discharges during voluntary efforts, a method developed by Vallbo and Hagbarth (1967), might be expected to solve the problem of alpha-gamma linkage and feedback mechanism during voluntary effort. The present report has discussed the relationships between the spindle afferents from lower limb muscles and 1) isometric tension, 2) muscle contraction of the contralateral limb, 3) muscle contraction in the upper limbs.

Afferent discharges were recorded from awake human tibial and peroneal nerve with 0.1 mm diameter tungsten needle electrodes, with a tip diameter of 0.001 mm and an impedance of 10 M ohms. Subjects were 5 healthy men lying prone on a couch. The electrode was manually inserted through the skin to the nerve trunk without special apparatus and anesthesia. Evoked potential was elicited by electrical test shocks through the needle inserted. When the electrode was in or close to the trunk, amplitude of the evoked potential was the highest, characteristic sound of neural activity appeared, and sometimes subjects felt paresthesia. Multi-unit discharges appeared in response to a light touch over the peripheral skin. Minute electrode adjustment identified spindle afferent discharges according to the criteria that the discharges were correlative with the velocity of passive stretch, and disappeared immediately on removal of the stretch.

Spindle afferents appeared simultaneously with the onset of muscle contraction, and showed a tendency to be correlative with the isometric tension developed. Spontaneous discharges were rare. When the ipsilateral limb was relaxed, afferents appeared to increase by muscle contraction in the contralateral limb or the upper limbs. Such an increase was more remarkable in the former than in the latter. These results seem to be comparable with those of Struppler (1974), though spontaneous afferent discharges were rather common according to his report. Vallbo et al. (1971), on the other hand, showed spontaneous afferents were rare, which the present report seems to have confirmed. The relation between spontaneous muscle afferents and the gamma system is open to further investigation.

## I. 研究目的

ヒトの運動機構を追究する場合、筋電図など、出力である遠心性の機能に注目することが多い。しかし、運動が円滑に行われるための、運動の調

整の機構を知るには、求心性の情報をとらえる必要がある。

求心性の情報を中心とした運動機構に関する研究は、主として動物を対象にしているが、これは随意運動について見るのは困難である。ヒトに

については、伸張反射、誘発筋電図等の間接的な方法によるものであった。現在、ヒトについて求心性の情報に直接とらえる方法としては、末梢神経レベルと視床部レベルで行われている。末梢神経における求心性線維の情報を直接とらえる方法は、1967年スウェーデンの Vallbo と Hagbarth<sup>7)</sup> によって開発された。日本においては間野<sup>3)4)5)</sup>、加藤<sup>2)</sup> らの報告があるが、未だきわめて少ない現状である。間野は、この方法を微小神経電図法 (microneurogram) と称している。

この導出方法を用いることにより、動物実験で行なうことのできない随意運動中の求心性の情報を直接記録でき、随意運動中のフィードバック機構、アルファガンマ連合等を解明する手掛りになるものと思われる。

本研究においては、ヒトの神経幹に電極を刺入し、その末梢神経支配領域の随意運動を行ない、求心性発射と等尺性張力との関係を検討し、さらに、主働作筋の緊張のない状態で、求心性発射に対する反対側及び上肢の筋緊張の影響について検討した。

## II. 研究方法

被験者は、18才から29才までの健康な男子である。被験者の姿勢は伏臥位におき、足首をベッドより出すように指示した。

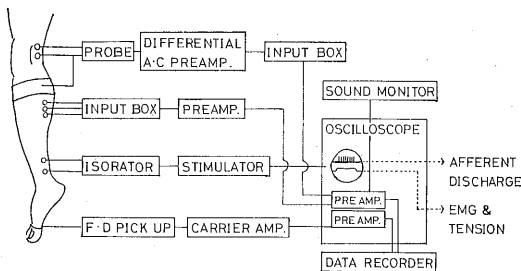


Fig. 1. Block diagram.

導出電極 (以下電極と略す。) の脛骨神経、腓骨神経への刺入は、経皮的に無麻酔で、特別な装置を用いずに行なった。電極はフレデリックヘアー社製のタングステン電極 (型式25-10-1) を用いた。電極のシャフトの径は100  $\mu$ 、電極の先端

直径は1  $\mu$ 、電極抵抗は約10 M $\Omega$ であった。図2のように、電極の先端の形に三種あるが、Cのように鋭角であると皮膚を通過する時に曲がりやすく、Aのような鈍角が適切である。

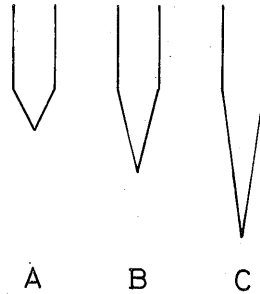


Fig. 2. Tip profile.

A: blunt B: medium C: fine

前置増幅器は、入力インピーダンスが高く、ノイズレベルの低いWP社製のDAM-6Aを用いた。周波数バンドは、100 Hz ~ 10 KHz を用いた。ブラウン管オシロスコープ (日本光電社製VC-9) でモニターし、すべてのデータは、データレコーダ (TEAC社製R-410型) に記録し、それをあとで再生し、写真撮影を行なった。

等尺性張力は、FDピックアップ (日本光電社製SB-1T) により検出し、ストレンアンプ (日光電社製RP-5) より、データレコーダに求心性線維発射と同時記録を行なった。

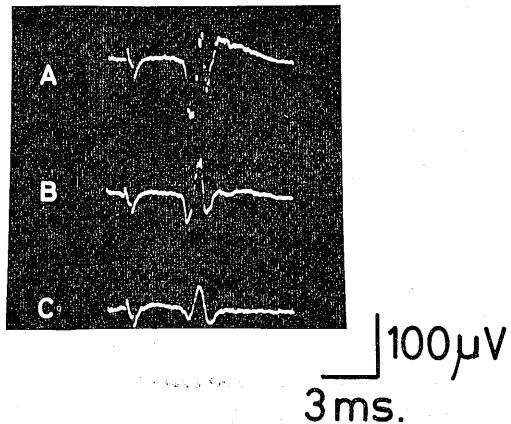


Fig. 3. Evoked potential.

電極を、経皮的に神経幹に刺入するためには、その末梢部を電気刺激し、その誘発電位をモニターとしながら行なった。電極が神経幹に近づくと、図3のC、Bようになり、電極が神経幹内に入ると、Aのように誘発電位が峰分れをしたり、誘発電位上に求心性線維発射がのってくることがある。又、神経幹内に電極が刺入されると、サウンドモニターにより、バックランドノイズが一段と高くなることがわかる。被検者の感覚として、一種のしびれ感を刺入された神経支配域の指尖部等の末梢に感じることがある。

このしびれ感は、稀には2~3週間持続することもあるが、運動、知覚障害を起こした例はない。

### III. 実験結果と考察

ヒトにおける求心性線維発射を上述のような方法を用いて測定を行なう場合、受容器の criteria, すなわち、その発射した神経線維は何か、神経終末はどこかということが問題になる。皮膚の受容器、関節の受容器、筋紡錘（一次終末、二次終末）、腱器官等の区別であるが、動物実験等においては、twitch response, passive stretch, 伝導速度等によって区別しているようである。ヒトについて、Struppler<sup>6)</sup>らは、次の三つで規定している。筋紡錘一次終末は dynamic response があり、不規則な spontane discharge は筋紡錘二次終末よりも、一次終末の方が著しい。一次終末は、脱負荷により発射が休止する、の三点である。動物を対象にした場合に比べ、ヒトの場合には、発射の出現している時間が短いという相違があるので、本研究においては、主に passive stretch に対して応答があり、passive stretch の速度に依存し、脱負荷により発射の休止がみられる場合を、筋紡錘一次終末からのものであると同定した。なお spontane discharge は、出現しない unit の方が多かった。

神経幹内に電極が刺入されたことを証明するために、末梢部より自然刺激として、指尖部の tapping, stretch 等を行なわせると、図4のように、multi-unit discharge がみられ、刺激に対して、dynamic な応答を示した。さらに、これを分離

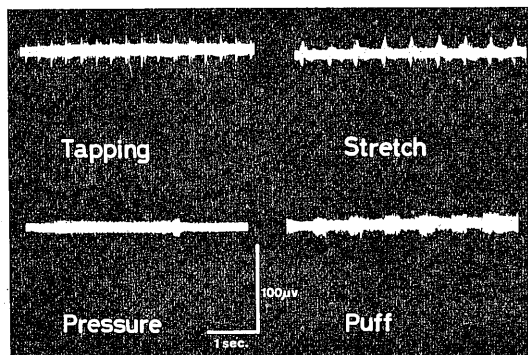


Fig. 4. Multi-unit discharges.

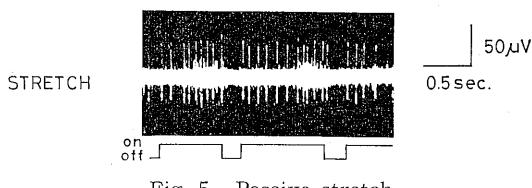


Fig. 5. Passive stretch.

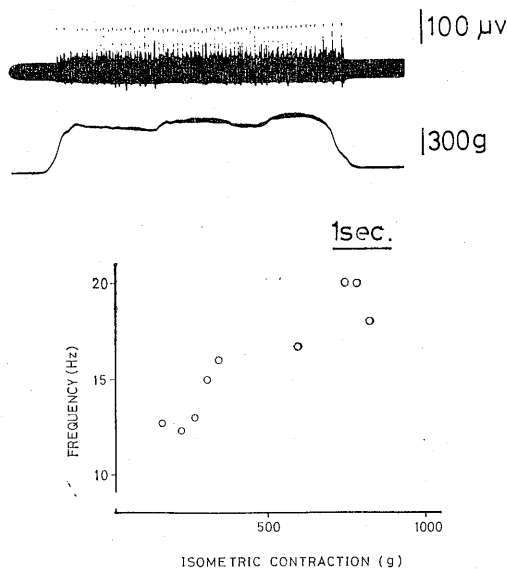


Fig. 6. Muscle spindle discharges and isometric tension in ankle flexion.

していくと、single unit になり、図5のように、passive stretch の速度に依存した unit があらわれた。上述の証明のように、この unit は筋紡錘一次終末からのものである。

以下、図5に示した unit について述べる。図6は、足指にFDピックアップを装着し、等尺性の屈曲を行なった時の張力と求心性線維発射であり、張力の増加とともに求心性線維発射が増加する傾向があった。

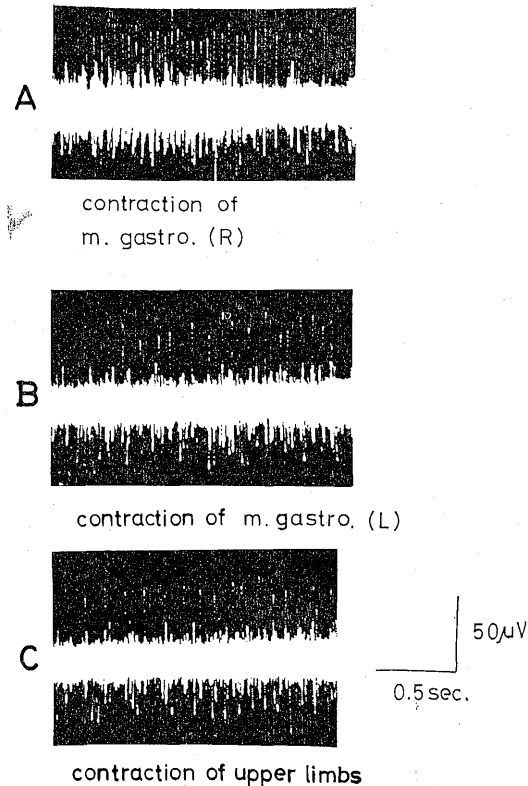


Fig. 7. Contraction of prime movers (A), contralateral limb (B), and upper limb (B)

図7より、主働作筋である右の腓腹筋を緊張させた場合が最も高い周波数となることが分る。さらに主働作筋を緊張させないで、対側肢である左の腓腹筋を緊張させた場合と、上肢を緊張させた場合を比較した結果、対側肢、上肢の順に周波数は低くなる傾向があった。

本研究と類似の報告は、Struppler<sup>9)</sup>らによってなされている。彼らは、上肢に電極を刺入し、下肢に筋緊張を加えた場合、及び下肢に電極を刺入し、上肢に筋緊張を加えた場合に、それぞれ求心性線維発射の増加があることを認めている。彼らの報告した求心性線維発射は、spontane discharge

のみられるものであった。しかし、本研究においては、spontane discharge はあまりみられなかった。又、Vallbo<sup>8)</sup> は対側肢の筋緊張による影響については、何も報告していないが、Vallbo のデータは、随意収縮とともに、求心性線維発射がみられ、収縮の停止とともに、発射が止むといったものであり、Vallbo のデータには、spontane discharge はみられなかった。

対側肢の筋緊張により求心性線維発射の増加がみられるということに関して、上肢のJendrassik法を用いて、下肢の誘発筋電図H波の振幅が増大するという報告<sup>1)</sup>がある。対側肢の筋緊張により、筋紡錘求心性線維発射の増加がみられることは、ガンマ運動ニューロンが興奮していることを示すものである。それが対側肢からの求心性線維発射によるものか、上位中枢からの興奮の拡延によるものかについては、今後検討する余地がある。また、spontane discharge の有無によって、ガンマ系の機能的な相違があるかどうかなど今後の課題である。

実験方法に関して、passive stretch に対する応答は、皮膚からの求心性線維発射にも同様なものが見られるという報告<sup>7)</sup>もある。さらに、皮膚、関節からの求心性線維発射が運動制御に関与しているのではないかという報告もある。対側肢の筋緊張に対して、導出された錘外筋は、真に収縮していないのかどうかについて、本研究は、表面筋電図で行なったが、針電極を用いて、深部の筋の興奮状態を知る必要がある。

本研究は、その緒にたどりついたところであり、今後は上述したように実験方法を整備し、ヒトの運動機構の解明に資したい。

#### IV. まとめ

1) ヒトの脛骨神経、腓骨神経に金属微小電極を刺入し、随意運動を行ない、求心性発射と等尺性張力との関係、さらに反対側肢、上肢の筋緊張による影響について検討した。

2) 金属微小電極を、経皮的に無麻酔で、神経幹に刺入した。unit の証明は、passive stretch を用い、passive stretch の速度に依存し、unloading により発射の休止がみられることにより、

筋紡錘一次終末からのものであると同定した。

3) 筋紡錘一次終末の発射数は、等尺性張力と相関があった。反対側肢、上肢の筋緊張により発射の増加がみられ、反対側肢の方が著しかった。

稿を終るに臨み、御指導と御校閲を賜りました恩師田中英彦教授、藤田紀盛教授に深甚の謝意を表し、実験方法に関して御指導を頂きました浜松医科大学間野助教授に深甚の謝意を表します。

本研究の一部は第54回日本生理学会大会において発表した。また、本研究の一部は昭和52年度文部省科学研究費奨励研究(A)によるものである。

#### 参 考 文 献

- 1) Clarke, A. M. (1967): Effect of the Jendrassik manoeuvre on a phasic stretch reflex in normal human subjects during experimental control over supraspinal influences, *J. Neurol. Neurosurg. Psychiat.*, 30, 34-42.
- 2) 加藤正道他 (1975): ヒト筋紡錘求心線維の発射について, *日本生理学雑誌*, 37巻, 8・9号, 255.
- 3) 間野忠明他 (1975): 微小電極によるヒトの骨格筋求心性発射の解析, *日本生理学雑誌*, 37巻, 8・9号, 255.
- 4) 間野忠明 (1976): ヒト筋紡錘一次終末の機能的特徴, *日本生理学雑誌*, 38巻3・4号, 107.
- 5) 間野忠明他 (1977): ヒト筋運動時の  $\alpha$ - $\gamma$  連合について, *日本生理学雑誌*, 39巻, 8・9号, 346.
- 6) Struppler (1974): Assessment of fusimotor contribution to reflex reinforcement in humans., *J. Neurol. Neurosurg.*, 37, 1012-1021.
- 7) Vallbo, Å. B. , (1976): Impulses recorded with micro-electrodes in human muscles nerves during stimulation of mechanoreceptors and voluntary contractions., *Electroenceph. clin. Neurophysiol.*, 23, 392.
- 8) Vallbo, Å. B. , (1973): Micro-Electrode Recordings from Human Peripheral Nerves., *New Developments in Electromyography and Clinical Neurophysiol.*, Vol. 2, 67-84.