

## 体表への機械的刺激と脊髄求心性神経繊維の活動

Spinal afferent nerve fiber activities produced by mechanical stimulation on the body surface

池田寛子 Hiroko IKEDA

お茶の水女子大学ライフサイエンス専攻

### 1. はじめに

体表に機械的刺激を加えると生体は様々な影響を受ける。針治療はこの効果を利用し、臨床的に鎮痛や内臓機能の調整<sup>3,7)</sup>に使われてきた。針治療の効果は、刺激により皮膚や筋に分布する体性求心性神経繊維が興奮することによって誘発されることが明らかにされてきた<sup>6,7)</sup>。体性求心性神経繊維は有髄のI群(A $\alpha$ )、II群(A $\beta$ )、III群(A $\delta$ )繊維と、無髄のIV群(C)繊維より成っているが、現在針刺激が上記のどの体性求心性神経繊維を興奮させるか明らかでない。そこで本研究ではウシガエルを用い、第1に坐骨神経の求心性の集合性活動電位を記録し、下腿部への針刺激によって誘発される神経活動電位の反応特性を、触刺激や侵害刺激と比較した。第2にウシガエル脊髄後根より単一神経繊維活動の記録を行い、針刺激により興奮する体性求心性神経繊維の種類をその伝導速度を元に同定した。

### 2. 実験方法

#### (1) 試料の調整

実験には雌雄のウシガエルを用いた。断頭後、断頭部位から約2 cm、第4, 5脊髄神経に届くまで脊髄穿刺を行った。実験は室温  $T = 25 \pm 1$  °C, 相対湿度  $p = 50$  %の恒温条件下で行った。

#### (2) 機械的刺激

刷子 ( $S = 3.5 \times 1.3$  cm<sup>2</sup>), 毫針 ( $r = 170$   $\mu$ m), 鉗子 ( $S = 1.0 \times 0.3$  cm<sup>2</sup>) を用いてそれぞれの刺激を後肢の受容野へ加えた。

①触刺激 (brushing)  $A = 4$  cm,  $f = 1$  Hz

②針刺激 (twist oscillation)  $A = \pi$ ,  $f = 1$  Hz,  $d = 5$  mm

③侵害刺激 (pinching)  $A = 3$  kgw

#### (3) 神経繊維の分離

坐骨神経は周囲組織から分離し、大腿部中枢端で切断した。単一神経繊維は後根の第8, あるいは9脊髄神経を脊髄に入力する直前で切断し、両眼の実体顕微鏡下で単一神経活動を記録するまで分離した。

#### (4) 神経繊維活動の記録

分離した神経の中枢端を双極白金イリジウム記録電極の上に載せ、乾燥しないように流動パラフィンオイルで覆った。パラフィンオイルは約25 °Cに保った。

神経繊維活動は増幅器 (S-0476, Nihon Kohden, Tokyo) で増幅し、これをスピーカー (Me-U4SF, Sanyo, Osaka), ストレージオシロスコープ (5103Nm, Tektronix, U.S.A), サーマルアレイレコーダー (WS-682G, Nihon Kohden, Tokyo) に接続した。

#### (5) 伝導速度の測定

針刺激によって後根神経繊維が単一活動電位を誘発したとき、初めに刺した毫針の約5 mm 遠位に、もう一本の針を刺入した。これら2本の毫針に、定電流電

気刺激装置 (SEN-7203, Nihon Kohden, Tokyo) を用いてパルス幅 0.5 ms, 種々の強度の矩形波単発刺激を加える針通電刺激を行った。針通電刺激と手技の針刺激により単一神経繊維に得られた活動電位の波形を比べ、これらの活動電位が同一の単一繊維によるものか確認した。単一神経繊維の伝導速度は、近位の刺激電極の針と遠位の記録電極の針の間の距離と、単一神経繊維の活動電位の潜時から計算して求めた。

### 3. 結果と考察

#### (1) 刺激の種類による応答

坐骨神経集合性活動電位を記録し、後肢への機械的刺激により誘発される反応を観察した。触刺激は1 Hzの刺激時のみに比較的高振幅の放電を誘発した (Fig. 1A)。つまり、刺激に関する順応が極めて速いことがわかった。これに対し、侵害刺激では刺激開始時と終了時に見られる比較的高振幅の放電は順応が速かったが、刺激中に誘発される比較的低振幅の放電は持続し順応は見られなかった (Fig. 1C)。針刺激は、1 Hzの針捻転刺激時にみられる順応の速い放電と、30秒間の針刺入中に低振幅の順応の見られない放電とを示した (Fig. 1B)

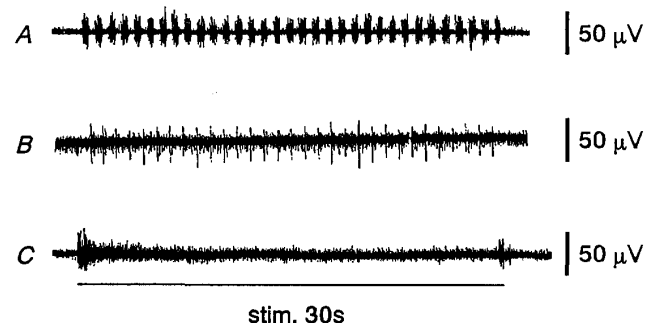


Fig. 1 Example records of somatosensory afferent nerve activities induced by mechanical stimulation. A : touch stimulation, B : acupuncture stimulation, C : noxious stimulation. The bottom bar indicates the stimulation period.

#### (2) 伝導速度の分布

本研究では、合計30本の単一神経繊維を分離することができ、これらはすべて後肢への針刺激により興奮した。手技、電気針刺激に対する単一神経繊維活動の記録を Fig. 2 に示す。手技、電気針刺激に対する応答は、刺激の伝導の速さが速いもの (Fig. 2A) と遅いもの (Fig. 2B) の2種類の群に分かれた。これらの単一神経繊維の針刺激に対する受容野は、それぞれ水掻き付け根の第2, 3指長伸筋、および第3, 4, 5指屈筋の位置であった。また、受容野へ針刺激をすると神経繊維は刺激に同期して断続的に興奮した (Fig. 2Ac, Bc)。伝導速度は各々34.2 m/s, 5.3 m/sであった。Fig. 3

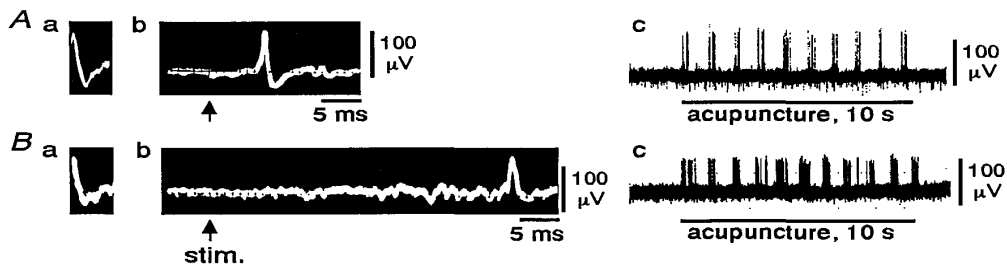


Fig. 2 Example records of single unitary activities induced by acupuncture needle stimulation. *A, B* indicates the single nerve fiber activities each. *Aa, Ba*: Action potentials elicited by manual acupuncture needle stimulation. *Ab, Bb*: Evoked potential elicited by electrical stimulation of the receptive field via acupuncture two needles. Arrows indicates the onset of stimulation. *Ac, Bc*: Action potentials recorded for several seconds. The bottom bar indicates manual acupuncture stimulation.

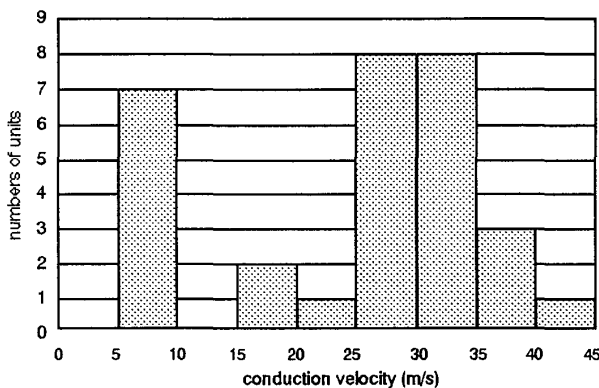


Fig. 3 Histogram of numbers of single nerve units in relation to their conduction velocities. Abscissa: conduction velocity (m/s). Ordinate: numbers of nerve fibers.

に、記録した 30 本の単一神経繊維の伝導速度をまとめたヒストグラムを示す。30 本の単一神経繊維の伝導速度は、5.3 m/s から 40.7 m/s の範囲となり、伝導速度の速い (15 m/s から 45 m/s) ピークと、伝導速度の比較的遅い (5 m/s から 10 m/s) 二つのピークが見られた。

Erlanger と Gasser<sup>2)</sup>によるカエルの坐骨神経の伝導速度による神経繊維の分類を元に、本研究で針刺激によって興奮した神経繊維を分類すると、一つ目の伝導速度の速い神経繊維は、 $A\alpha$ 、 $A\beta$ 繊維群に、もう一つの伝導速度の比較的遅い神経繊維は、 $A\delta$ 繊維群に相当することがわかった。本研究では前者を 2 3 本、後者を 7 本記録することができた。

15 m/s から 45 m/s に分布する $A\alpha$ 、 $A\beta$ 繊維群は、筋紡錘や腱紡錘、または皮膚や筋の低閾値機械受容器を神経支配している。また、5 m/s から 10 m/s に分布する $A\delta$ 繊維群は、皮膚や筋の温度、侵害受容器に神経支配している。低閾値機械受容器の興奮は、ゲートコントロールメカニズムによって鎮痛をおこす<sup>4,5)</sup>ことが知られている。また体表への低閾値機械刺激は副腎髄質からのカテコールアミンの分泌を抑制するという報告<sup>6)</sup>もある。さらに、体性内臓反射<sup>6)</sup>や鎮痛<sup>3,7)</sup>には $A\delta$ 繊維の興奮が関与しているという報告もある。これらのことは、カエル後肢への手技の針刺激による $A\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\delta$ 繊維の興奮が、鎮痛や体性内臓反射に関与していることを示唆している。

本研究では技術上の問題から脊髄後根から単一C繊

維活動を記録することが出来なかった。しかし、集合性活動電位の記録ではC繊維もまた針通電刺激によって興奮したので、手技の針刺激によってC繊維が興奮する可能性は否定できない。

#### 4. 結論

カエルの坐骨神経の求心性の集合性活動電位の記録実験により、針刺激による求心性放電は触刺激と侵害刺激による放電の両者の性質を合わせ持つことを明らかにした。また脊髄後根の単一神経繊維活動の記録実験により、針刺激は $A\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\delta$ 求心性繊維を興奮させることを明らかにした。

#### 【謝辞】

本研究を御指導賜りました大学院佐藤昭夫教授ならびに感覚生理学研究室の方々、東京都老人総合研究所自律神経部門の方々に心から感謝いたします。

#### 【参考文献】

- Araki T., Ito K., Kurosawa M., Sato A. Responses of adrenal sympathetic nerve activity and catecholamine secretion to cutaneous stimulation in anesthetized rats. *Neuroscience*, **12**: 289-299, 1984.
- Erlanger J., Gasser H.S., Bishop G.H. The compound nature of the action current of nerve as disclosed by the cathode ray oscillograph. *Am. J. Physiol.*, **70**: 624-666, 1924.
- Mann F. *Textbook of Acupuncture*. London. William Heinemann Medical Books. 1987.
- Melzack R., Wall P.D. Pain mechanisms: A new theory. *Science*, **150**: 971-979, 1965.
- Melzack R., Wall P.D. *The Challenge of Pain*. Middlesex. Penguin Books. 1982.
- Sato A., Sato Y., Suzuki A., Uchida S. Reflex modulation of gastric and vesical function by acupuncture-like stimulation in anesthetized rats. *Biomed. Res.*, **15**: 59-65, 1994.
- Stux G., Pomeranz B. *Basics of Acupuncture*. 4<sup>th</sup> ed. Berlin. Springer-Verlag. 1998.

#### 発表状況

- 「神経繊維の電気緊張性伝播と伝導速度」, 第 20 回環境生理学研究会, 2000 年 7 月, B3, 長野.
- 「神経繊維の電気緊張性伝播と伝導速度」, 生活工学研究, **2** (2), 102-105, (2000).
- 「蛙のからだの仕組み」, 生活工学研究, **3** (1), (2001).
- 「体表への機械的刺激と脊髄求心性神経繊維の活動」, 生活工学研究, **3** (1), (2001).
- “Single afferent nerve fibers in the spinal dorsal roots activated by manual acupuncture needle stimulation in frog's hind limbs”, *J. Jpn. Soc. Acu.*, **51** (1), (2001) in press.