

# 神經衝動之電位與傳導

## The Potential and Propagation of Nerve Impulse

郭麗香

神經衝動乃指神經受到刺激所產生的興奮波，這種興奮波的傳導並非我們肉眼可見，乃可藉由神經所支配之肌肉發生收縮現象而作具體表現。又神經興奮使細胞膜發生去極化現象而產生動作電位 ( action potential )，可利用示波儀 ( oscilloscope ) 將其記錄，在此我們即將以實驗證明神經興奮產生電位及其傳導之功能，還有一些相關的事項。

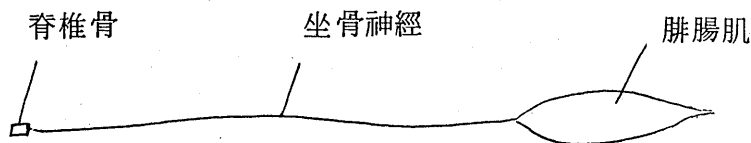
### I. 實驗器材

青蛙、解剖儀器、牙籤、林格氏液 ( ringer solution )，刺激器 ( stimulator )，示波儀 ( oscilloscope )，電極 ( electrode )，拍立得像機。

### II. 實驗證明

(A)製作青蛙之腓腸肌—坐骨神經標本 ( Gastrocnemius-sciatic preparation )

- 1.將青蛙解剖剪斷身體前半段，剩餘後半段，進行似脫襪般的剝皮，浸於林格氏液中。
- 2.利用剪刀、鑷子、牙籤分離出坐骨神經，腓腸肌，作出標本如下圖：



## (B) 儀器裝置

1. 連刺激器 ( stimulator ) SYNC. OUT 到示波儀 TRIG. IN, 並接 GROUND。
2. 接刺激器, 示波儀於 110 伏特 ( 110V ) 電源, 待 15 分鐘使儀器進入情況 ( warm up )。
3. 將示波儀和刺激器調至同步 ( synchronized )。
4. 接刺激電極 ( stimulator electrode ) 於刺激器之 out put, 二組記錄電極 ( record electrode ) 接於示波儀上。

## (C) 記錄神經之動作電位

1. 將刺激器 OUT PUT / MODE 轉至 off。
2. 將腓腸肌端之坐骨神經掛於記錄電極, 另一端掛在刺激電極。
3. 將刺激器 OUT PUT / MODE 轉至 “+” 或 “-”, 可在示波儀上顯現動作電位曲線圖。
4. 將圖形調到更理想, 以拍立得照相取得曲線圖。

## (D) 不同之處理因子

## 1. 溫度

將標本浸於 10 °C, 20 °C, 30 °C 之林格氏液 20 分鐘, 再測其傳導速度。

## 2. 刺激強度

將標本之神經作不同強度的刺激, 可比較出傳導之變化情形。

## 3. 複合動作電位

將記錄電極與刺激電極之距離拉遠, 可見不同神經纖維所表現出傳導速度之不同。

## 4. 神經之雙向傳導

將記錄電極和刺激電極之位置對換, 藉此實驗可記錄其動作電位, 並算出傳導速度。

## (E) 傳導速度之計算

$$V = \frac{D}{T}$$

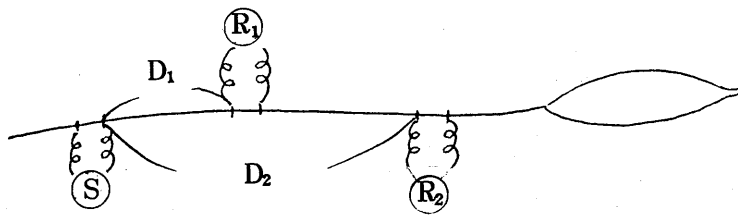
V : 神經傳導速度 ( m / sec ) ( 米 / 秒 )

D : 刺激電極與記錄電極之距離或二記錄電極之距離 ( mm ) ( 微米 )

T : 兩電位曲線潛伏期時間之差 ( msec ) ( 微秒 )

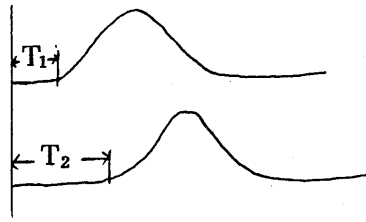
以下圖簡單說明①記錄方式②電位曲線圖③傳導速度之換算：

①



—刺激電極 (S)  
—記錄電極<sub>1</sub> (R<sub>1</sub>)  
—記錄電極<sub>2</sub> (R<sub>2</sub>)

②



$T_1$  : 動作電位<sub>1</sub> 之潛伏期

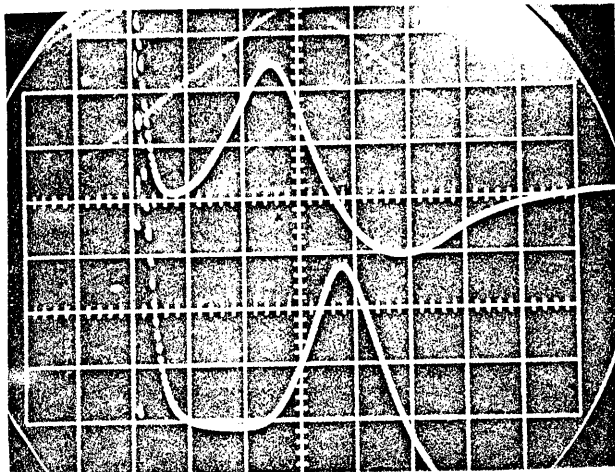
$T_2$  : 動作電位<sub>2</sub> 之潛伏期

③

$$V = \frac{D}{T} = \frac{D_1}{T_1} = \frac{D_2}{T_2} = \frac{D_2 - D_1}{T_2 - T_1}$$

### III. 實驗結果 (橫軸—時間, 縱軸—電位振幅)

(A) 一個刺激極, 二個記錄極所得之神經動作電位



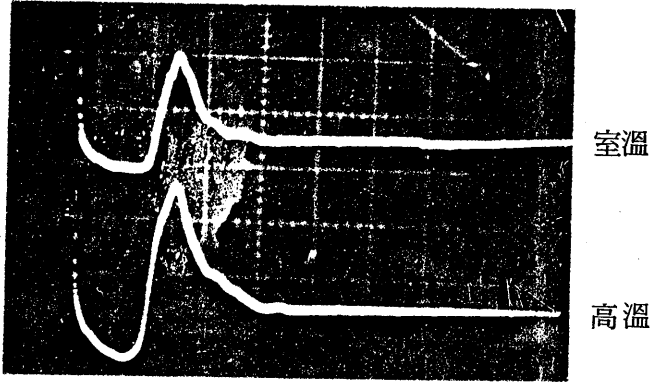
$$D_2 - D_1 = 10\text{mm}$$

$$T_2 - T_1 = 0.32\text{msec}$$

$$V = 31.25 \text{ m/sec}$$

## (B) 溫度處理

## 1. 高溫 (30°C)



室溫：D = 22mm

T = 0.625msec

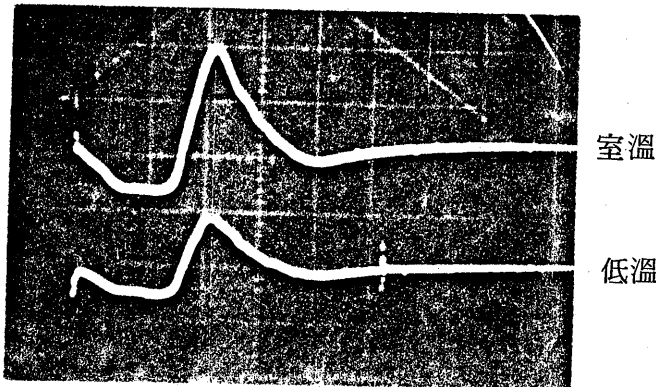
V = 35.2m/sec

高溫：D = 22mm

T = 0.47msec

V = 46.8m/sec

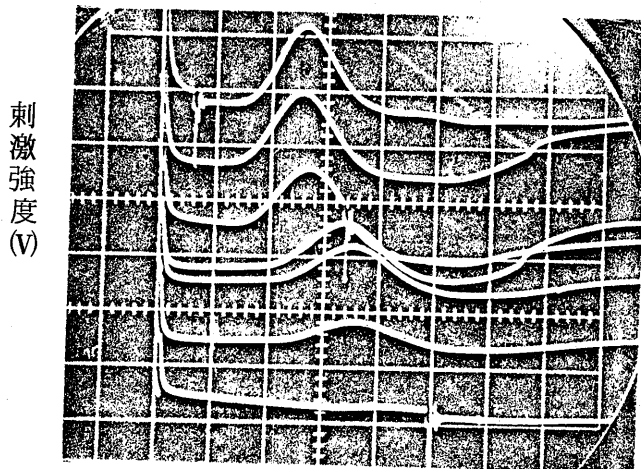
## 2. 低溫 (5°C)



室溫：V = 41.1m/sec

低溫：V = 37.0 m/sec

## (C) 刺激強度不同之處理



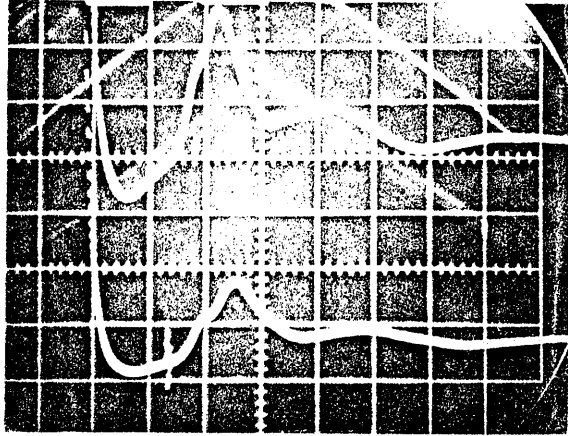
刺激強度由 0V → 3V

可見動作電位之振幅 (高度)

由低 → 高，又潛伏期也由長 →

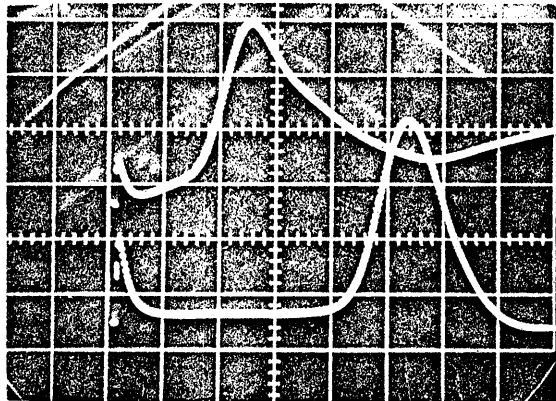
短

(D) 複合動作電位



圖中可見一高波 ( $\alpha$  波) , 一矮波 ( $\beta$  波) , 表示不同之神經纖維直徑不同 , 其傳導速度亦不同。

(E) 雙向傳導



$$D = 20\text{mm}$$

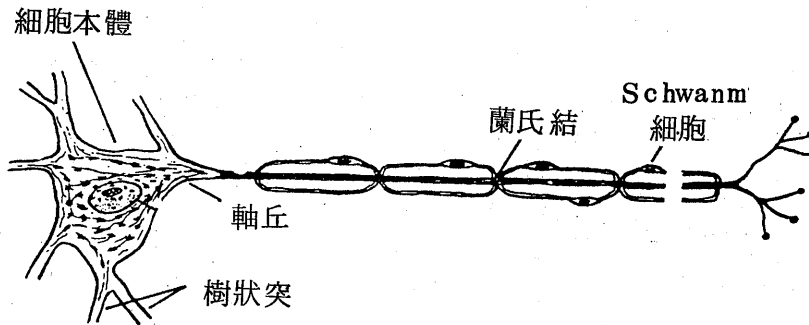
$$T = 0.533\text{msec}$$

$$V = 37.5\text{m/sec}$$

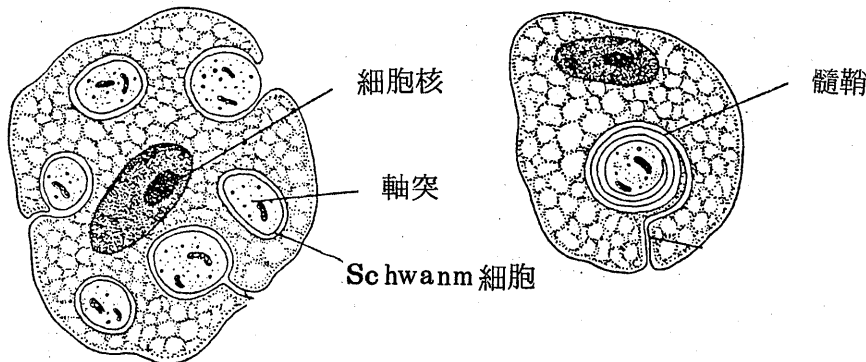
#### IV. 討論

神經元 (neuron) 是構成神經組織之基本單位, 它是由細胞本體 (cell body 或 soma) 和突起 (process) 二部份所組成。突起可分為軸突 (axon) 和樹狀突 (dendrites) 二種, 樹狀突是指神經元的接受器部份, 軸突是指神經衝動的傳導部份。軸突與細胞本體相接之處, 其興奮性特別低, 很容易興奮, 此處稱為軸丘 (axon hillock)。軸突通常包埋在 Schwann 細胞中, 有的神經元外被多層 Schwann 細胞, 形成所謂

的髓鞘 (myelin)，而有的神經元外面僅有一層 Schwann 細胞包著，形成所謂的無鞘神經纖維 (unmyelinated nerve fiber)，前者則稱為有鞘神經纖維 (myelinated nerve fiber)，而軸丘外圍並無髓鞘包著，這些構造如圖(一)(二)所示：



圖(一)：神經元的基本構造



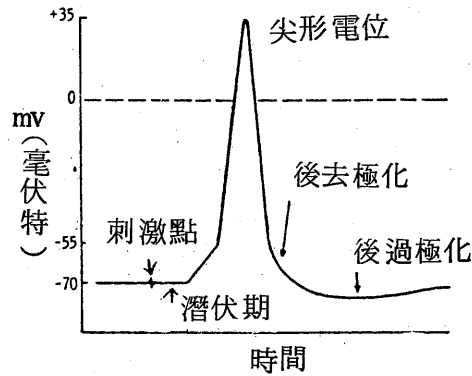
圖(二)：左：無鞘神經  
之橫切面  
右：有鞘神經

同時在圖(一)可見，神經纖維之髓鞘並不連續，其上有節段現象，每二節段交接處只有軸突膜而無髓鞘，稱作蘭氏結 (node of Ranvier)，此乃構成神經跳躍傳導 (saltatory conduction) 之主因。

神經受到刺激會產生興奮波，此時去極化現象發生，細胞膜內外離子濃度起了變化，產生動作電位 (action potential) 此即所謂的神經衝動 (nerve impulse)。一般對神經纖維的刺激有化學的、機械的、溫度的及電的等不同方式，而最常使用乃是電的刺激，因此在本文中僅就電的刺激與神經衝動之關係以幾種實驗證明之。除了“電”本身強度、刺激時間長短、刺激頻率外，標本本身的情況，環境的改變等皆對神經衝動之傳導

有著重大影響。

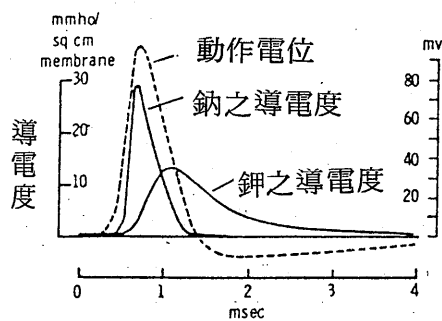
神經衝動之動作電位，如圖(三)可分幾個部份—



圖(三)：神經之動作電位圖

- ①潛伏期 (latent period)：刺激點至記錄點之距離。
- ②尖形電位 (spike potential) 即 overshoot，即去極化現象，電位快速上升隨後快速下降 (再極化)。
- ③後去極化 (after depolarization)：電位緩慢下降至基線位置。
- ④後過極化 (after hyperpolarization)：電位由基線下恢復到基線部位。

動作電位之產生與離子之滲透性 (permeability) 有極密切的關係，尤其是  $\text{Na}^+$ ， $\text{K}^+$ ，當刺激值達一定強度可引發  $\text{Na}^+$  之滲透性大為增加，產生快速去極化現象 (depolarization)，此時  $\text{Na}^+$  之導電度亦大為增加，接著  $\text{K}^+$  之滲透性增加即導電度增加，而去極化逐漸消失為再極化取代，電位慢慢回到原位，如圖(四)：

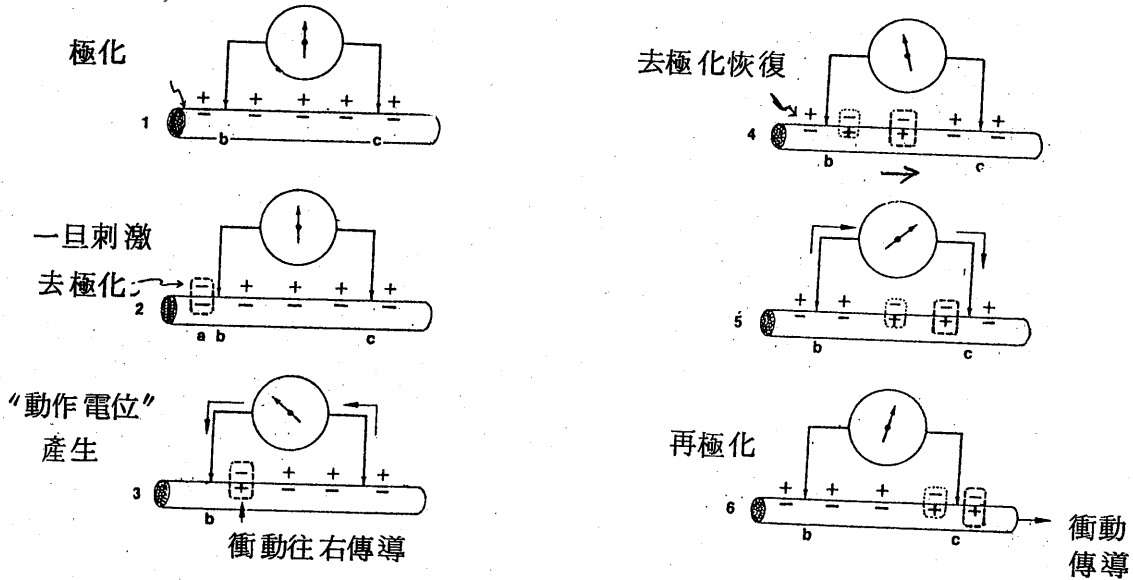


圖(四)：神經動作電位與  $\text{Na}^+$ ， $\text{K}^+$  之導電度的關係

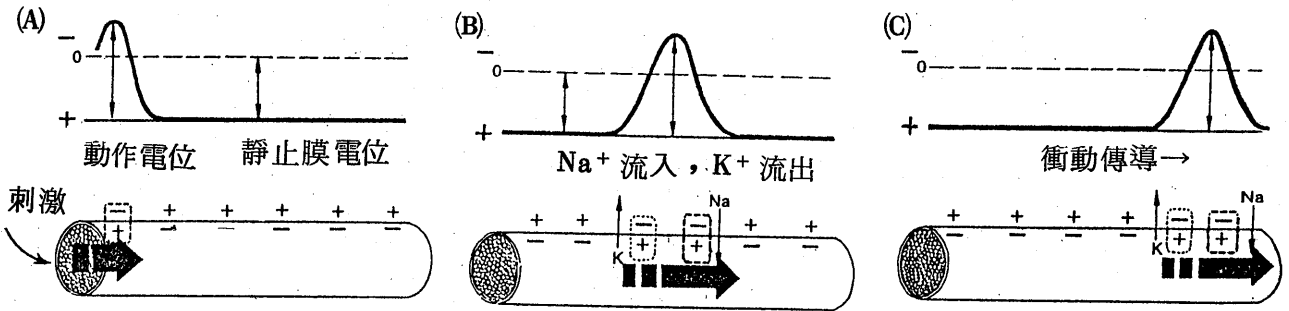
- \* 虛線—動作電位
- 實線 (高)—鈉之導電度
- (低)—鉀之導電度

神經衝動沿著神經纖維傳遞，其動作電位與  $\text{Na}^+$ ， $\text{K}^+$  進出細胞膜之變化，可由圖(五)(六)看出，圖(五)中神經幹外接記錄器，當靜止時，細胞膜外帶正電，內帶負電即呈極化 (polarization) 現象，一旦受刺激，膜內外離子滲透性改變， $\text{Na}^+$  大量湧入膜內，使內

外電荷正負改為外負內正，即去極化，接著 $K^+$ 滲透性增加，又使正電荷回到膜外，即恢復原態—再極化（repolarization）。



圖(五)：神經幹上離子之變化（刺激後）



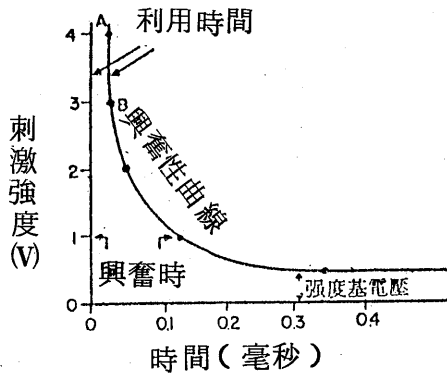
圖(六)：神經衝動傳導與離子進出之關係

(A)(B)(C)三圖中每一動作電位即  $Na^+$  流入,  $K^+$  流出

由實驗結果，可知神經衝動之傳導速度受環境中溫度的影響，當溫度高於常溫，其傳導速度較快，反之處於低溫時，則傳導較慢。至於電的刺激強度，時間長短與神經興奮之關係，可由圖(七)強度時間曲線（strength-duration curve）說明。當刺激強度很強，若刺激時間不夠仍無興奮產生，而所需一定時間才能引起興奮，稱此段時間叫利用時（utilization time）；不論刺激時間多久，能使神經興奮之最低電壓叫做強度基（



rheobase )，利用二倍強度基之刺激引起興奮之最短時間叫做興奮時或時值 (chronaxie )。通常我們以此作為神經組織之相對興奮性，在實驗中所用之刺激強度，時間，頻率也是利用此原理及多次嘗試找出適宜之範圍來作處理。



圖(七)：強度時間曲線圖

一條神經纖維之興奮乃遵從“全或無”定律 (all or none law)，當刺激達其閾值 (threshold)，可產生一定大小的動作電位，不管刺激增大如何，其電位大小仍保持一定，但是若為一條神經幹則情形不同，其電位隨刺激強弱而有不同大小，如結果(C)，因為刺激強度不同，在神經幹內各種神經纖維興奮數目不同所致。實驗中刺激強度由0伏特逐漸增至3伏特，作幾個不等程度的刺激，則動作電位大小也有不同表現，刺激強度越強，動作電位高度越高，同時潛伏期亦不同，表示了傳導速度隨電位大小而有快慢之別。

神經衝動之傳導速度在不同的神經纖維，不同的直徑而有差別。一般直徑較粗的神經纖維比直徑細的神經纖維傳導速度較快。以下資料是不同動物之神經傳導速度：

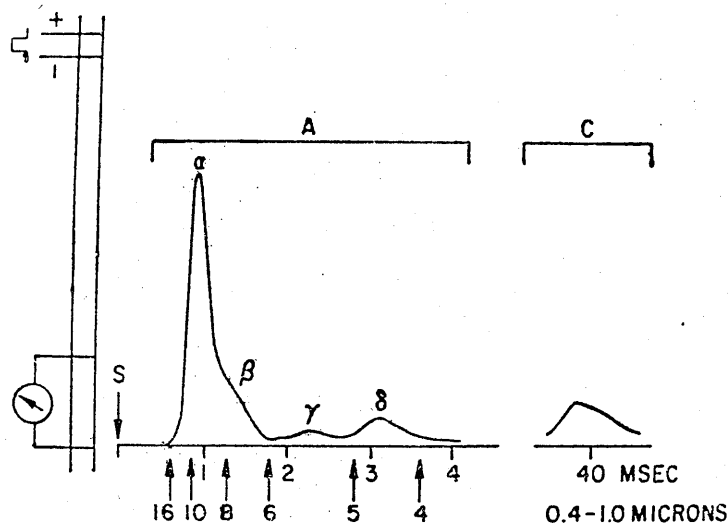
哺乳類：有鞘神經， 37 °C	120 m/sec
無鞘神經， 37 °C	1 m/sec
青 蛙：有鞘神經， 20 °C	30 ~ 45 m/sec
角鯊魚：有鞘神經， 20 °C	35 m/sec

由此可見，通常溫血動物之傳導快於冷血動物。

下表乃是哺乳動物神經纖維粗細不同，傳導速度亦有不同，這種粗細不等之神經幹所記錄出的電位稱為複合動作電位 (compound action potential)，由圖(八)與結果(D)可見，A 纖維含有  $\alpha$ ， $\beta$ ， $\gamma$  不同直徑之纖維，因此其動作電位出現不同之波峯， $\alpha$  纖維較粗，傳導速度較快， $\gamma$  纖維較細，傳導速度較慢，也就慢出現。

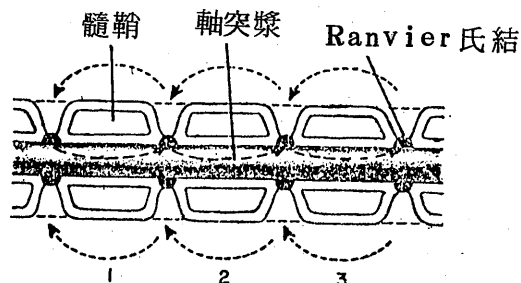
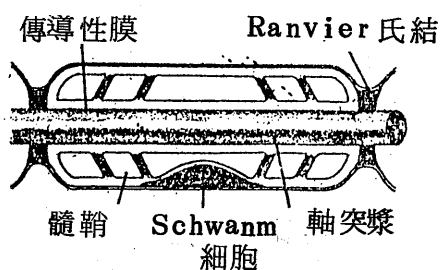
哺乳動物神經纖維的分類及其生理特性

纖維種類	纖維直徑 ( $\mu$ )	傳導速度 (m/sec)	功 能
A $\alpha$	12-20	70-120	肢體運動，本體感覺
$\beta$	5-12	30-70	觸覺，壓覺
$\gamma$	3-6	15-30	肌梭運動
$\delta$	2-5	12-30	痛覺，溫覺
B	< 3	3-15	交感神經節前纖維
C	0.3-1.3	3.5-2.3	痛覺，交感神經節後纖維



圖(六)：自神經幹所記錄到之複合動作電位

有鞘神經之傳導比無鞘神經要快，乃因其神經結構有特殊地方如圖(九)，其蘭氏結處離子很容易穿過，而髓鞘本身具磷脂為極佳的絕緣物，故離子不易通過，造成這種神經的傳導是由一個蘭氏結跳到另一個蘭氏結，稱此為跳躍傳導 (saltatory conduction) ，如圖(十)。



圖(九)：有髓鞘神經纖維

圖(十)：有髓鞘纖維沿着軸突前進的跳躍傳導

由實驗結果(B)可看出神經衝動之傳導是雙向的，將刺激電極置於二個記錄電極之間，如此可得到二個動作電位。因為一條神經幹二邊粗細不相同，所以所得之動作電位高度會有一高一低，通常粗的一邊，高度較大，而且二者之潛伏期亦不相等。

神經組織本身是個相當複雜的組織，尤其它是具有興奮性的組織，因此對它電生理特性並非簡單的實驗即可表示出。有關的學者專家們對這方面的研究，也不斷有新的報告，在此我們僅就神經興奮的衝動及傳導速度，作個簡單且具體的證實。

### 參考資料

- 1.周先樂，生理學 P.65 ~ 74 國立編譯館出版 (1973)
- 2.劉華茂等，蓋氏生理學 P.100 ~ 105 杏文出版社 (1975)
- 3.Eckert R. and D. Randall  
Animal Physiology mechanisms and adaptations, 2nd ed. P.178 ~ 189 (1984)
4. Ganong W.F.  
Review of Medical Physiology 7th ed. p.18 ~ 30 (1975)
- 5.Schottelius B.A. and D.D. schottelius  
Textbook of Physiology 17th ed. P.58 ~ 70 (1974)