

## The Origin of Bio-Potentials(4/10/2006 Speaker:陳建宇)

### Electrical Activities in Cells

生理電信號主要來源有神經、肌肉和腺體三種細胞。

首先探討細胞在 Resting state 的情況：平常細胞在靜止狀態下，胞膜內外的離子（註 1）與電荷累積不同（因為 permeability of the membrane to ions 不同，註 2），膜外累積較多的正電荷，膜內累積較多的負電荷，而形成的電位差（註 3）。細胞為維持滲透壓和電位差等的（動態）平衡，會消耗 ATP 藉由鈉鉀幫浦的主動運輸，將 Na<sup>+</sup>運出細胞外，K<sup>+</sup>運入細胞內，由低濃度送往高濃度；一般神經細胞運 3 個 Na<sup>+</sup>出：2 個 K<sup>+</sup>離子進。

註 1：如 Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, 其他帶負電荷分子如蛋白質，其價電平均約為 1.2。

註 2：細胞膜對離子的通透能力不同，較大的離子（如 K<sup>+</sup>和 Cl<sup>-</sup>）比起較小的離子（如鈉）和水的親合能力較差，反而和形成較小水合分子，容易通過細胞膜，因此  $P_K \gg P_{Na}$ ，數量級約差 100 倍。如此，細胞膜外有較多的 Na<sup>+</sup>累積（還有 Cl<sup>-</sup>及較少量的 K<sup>+</sup>），而膜內則是有較多的 K<sup>+</sup>和其他帶負電的較大分子如蛋白質累積。

註 3：typically, 50~100mV, 不過通常應該是表示為負，定義膜外為零電位，去極化的電位差為“較不負”，過極化的電位差為“較負”。

我們可以用 Goldman equation 以各離子 Permeability 的描述 Resting State 的膜電位狀況：

$$E = \frac{RT}{F} \ln \left\{ \frac{P_K [K^+]_o + P_{Na} [Na^+]_o + P_{Cl} [Cl^-]_i}{P_K [K^+]_i + P_{Na} [Na^+]_i + P_{Cl} [Cl^-]_o} \right\}$$

再來探討細胞的 Active potential，根據全有或無律，刺激必須大於閾值（-50mV），則細胞受刺激依著 Depolarization (Na<sup>+</sup>送入)，Repolarization (K<sup>+</sup>送出)，Hyper-polarization 最後回到靜止電位。其中 Absolute Refractory Period 指的是鈉離子通道還在 de-inactive 狀態，正產生一動作電位，不會理會其他刺激；而 Relative Refractory Period 時鈉離子通道 de-inactive，此時細胞會理會相對強過的刺激，繼而產生新的動作電位（所以強刺激指的是多次而非大電位）。

### Conduction

神經細胞利用電位變化作為傳導，不過這樣的變化主要只有在蘭氏結的部分，被髓鞘包圍的區域絕緣掉，使得信號傳遞用跳躍的方式，能增快信號傳遞。而在神經細胞間，約有 20nm 的空隙，稱作突觸，突觸前細胞藉由鈣離子調控，釋出傳導化學物質（乙醯膽鹼或正腎上腺素，後者主要存在中樞），再由突觸後受器接受後以電信號傳遞，而殘留在突觸之間或是受器上的化學物質終會被酵素分解掉。突觸部分傳遞較神經細胞內的傳遞緩慢（約 0.5ms）。

### ECG

ECG 是來自心臟收縮舒張所放出電信號，以下先對常見 ECG 之 PQRSTU 波

對照心臟運動情況說明：

P : Atrial excitation      Q : Atrial systole    R : Atrial diastole

S : Ventricular excitation    T : Ventricular systole    U : Ventricular diastole

心臟的電信號傳導，是先由 SA node(Left Atrial 近靜脈處，為 Primary pacemaker，會受交感或副交感神經影響)放出激發的電信號經 Bachmann's Bundle 傳至右心房，SA node 同時傳 AVnode (為 Secondary pacemaker)，再經過 Bundle Branch (大約需要 0.04sec) 和 Purkinje Fibers 傳到左心室和右心室的心肌細胞進行心室收縮。電信號的傳遞組合起來可以對照上面 ECG 之波形和心房心室的收縮舒張。

ECG 通常使用 12 個 leads,其中三個分別置於 LA、RA 和 LL 之間 (RL 當作 GND)，另三個置於 Limbs 置於 a VL, a VR, a VF (Frontal Plane)，剩下六個置於胸前 (Transverse plane)，依據 vector projection 量出 ECG waveform。(12 lead ECG system 和 Einthoven's triangle 其實是漫複雜的部分，在此只有簡述而已)

### **Biomagnetism**

最後一部份提到生理磁信號，一般說來生理磁信號都相當小 (約在 pico 範圍，MCG 約在 100pT)。SQUID 超導磁通計能用來將極小的磁信號，轉成電信號偵測，超導環常用 YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>x</sub> 當作材料 (約在 77K 工作，算是高溫超導，可用液態氮冷凍，但 sensitivity 較低溫超導的 SQUID 差)；其量測方法是先固定一電流當作 bias，若引入外加磁場，在超導環造成相對電流變化，由此變化量來決定相位角差。另外我們亦可使用磁梯度測量器 (Gradiometer) 量測磁場梯度，不過為減低雜訊干擾，必須配合 SQUID 和利用導磁率高的物質作屏蔽。

量測得到的 MCG 和 ECG 的波型相當類似，亦有 PQRST。其他常見的生理磁信號量測應用如 MEG 或 fMCG (for 胎兒)，由於偵測磁信號的敏感度相當不錯，持續發展中。