

生醫工程實驗期中報告

日期：4/10, 2006，題目：The Origin of Biopotential

報告：陳建宇

1 · Electrical activity of cells

- 細胞分爲 excitable 和 unexcitable 的，如神經、肌肉、腺體組織等，便是由 excitable 的細胞構成，而 excitable 的細胞又有 resting 和 active 的狀態。

Resting potential

- 膜電位差是由細胞膜內、外的 Na^+ , K^+ , Cl^- , A^{γ} 等離子濃度所造成，其中 A 爲蛋白質等帶電分子，而 γ 非整數，平均是 1.2 左右。
- 由於細胞膜爲半透膜， Na^+ , K^+ , Cl^- 等離子是可以滲透過去的，但滲透率 P (permeability) 互不相同，雖然 Na^+ 的體積較 K^+ 小，但由於 Na^+ 較易吸引水分子而形成水合物，造成 Na^+ 水合物的體積反而比 K^+ 的大，因而使 P_{Na} 大約只有 P_{K} 的百分之一，另外， P_{Cl} 和 P_{K} 大約相同。
- 細胞膜內外達到動態平衡時，兩邊的各種離子濃度需相等，且電荷也需平衡。
- 爲了維持生理功能，細胞會額外利用 ATP 的能量，將 Na^+ 由內向外，而將 K^+ 由外向內經由蛋白質通道輸送，其比例約是 3:2。因此，由於細胞膜內外的離子濃度及電荷差異，細胞膜外的電位較裡面高，其電位差值約爲 50~100mV。
- 此經由離子濃度所產生的平衡電位差有以下關係：

$$\text{K}^+ : E_K = \frac{RT}{nF} \ln \frac{[\text{K}^+]_o}{[\text{K}^+]_i}$$

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

Active potential

- excitable 細胞的訊號傳遞是經由一連串的去極化 (depolarization) 及復極化 (repolarization) 所完成。值得注意的是，一旦 stimulus 的大小超過 threshold 值，便可產生細胞的刺激，而此時無論 stimulus 的大小如何，刺激信號的電位都是一樣的 (All-or-none law)，強刺激是經由多次的刺激而非高電位所造成。

2 · Conduction

- 神經細胞主要由軸突 (axon) 構成，部份有髓鞘 (Myelin sheath) 包覆，有絕緣功能；而沒有髓鞘包覆的部份稱爲朗氏結 (node of Ranvier)。其訊號傳遞是跳躍式的，在有髓鞘包覆的部份，訊號傳遞較快；而在朗氏結處，訊號傳遞是經由離子交換所完成，速度較慢。
- 神經細胞的朗氏結上有可讓 Na^+ 、 K^+ 通過的 voltage-gated channel，數量爲 2:1，當 stimulus 使 Na^+ channel 開啓時， Na^+ 向細胞膜內流，造成 depolarization，膜內電位上升，接下來， K^+ channel 開啓， K^+ 向細胞膜外流，產生

repolarization，膜內電位下降。

3 · Electrocardiogram (ECG)

- 心臟中有自發性的訊號產生，進而觸發心臟的搏動，而在心臟中，SA and AV node、Atrial tissue、Purkinje fibers、Ventricular tissue 等組織都是由 excitable 的細胞組成，可在心臟中傳遞各部份心搏所需的訊號。而在體表各處所量到的訊號分量即為 ECG。
- 一般第二肢導的 ECG 波形中可見 P wave、QRS complex、T wave、U wave 等部份。其觸發的心搏動作大致如下：

波形	心搏動作
P	刺激心房
Q	心房收縮
R	心房舒張
S	刺激心室
T	心室收縮
U	心室舒張

- SA (Sinoatrial) node 是心臟中最主要的 pace maker，一般以 70~80 times/min 的頻率釋放訊號，但其也受交感 (sympathetic) 神經和副交感 (parasympathetic) 神經控制。如 SA node 正常的話，會抑制其他 pace maker 的活動。
- AV (Atrioventricular) node 是第二個 pacemaker，在心臟搏動時負責將訊號由心房傳至心室，如果沒有被抑制的話，其放電頻率可為 40~60 times/min。
- Purkinje Fibers 是特殊的心肌組織，組成心臟中的 left/right bundle branch，負責控制心室的肌肉收縮訊號，如果沒有被抑制的話，其放電頻率可為 30~40 beats/min。
- 心臟的訊號可以模擬為一個 dipole，一般在量測 ECG 的十二個肢導，其實就是建立不同方向的分量，進而測量心臟訊號在各方向上的分量，其中，第 I、II、III 肢導所量測的三個方向形成一個三角形，稱為 Einthoven's triangle。
- 第 I、II、III 及 AVR、AVL、AVF 這六個肢導是利用貼在四肢的電極，其量測方向是在人體的 frontal plane，而 V1 ~ V6 這六個肢導的電極是貼在胸前，量測人體的 transverse plane。

4 · Biomagnetism

- 由於人體中的電訊號也會產生磁場，因此除了常見的 ECG、EEG、EMG 之外，經由磁場的量測，也可得 MCG、MEG、MMG 等相應的波形，但通常磁場強度極微，不好量測。
- SQUID (Superconducting quantum interference device) 和 Magnetic gradiometer 常被用來量測磁場強度，而在量測時須在有屏蔽的房間，以防外來磁場干擾。