

生醫工程實驗

## 實驗二 生理信號量測

---

第一組 B91901150 陳建宇

B92901121 羅弘益

## 實驗步驟：

### **ECG (1)**

1. 開機，設定最後存檔路徑。
2. SS2L 接到 CH2，將電極與導線接好。
3. 白色導線電極接被測量者右手腕，黑色導線接右腳腳踝內側，紅色導線接左腳腳踝內側。
4. 被測量者躺下。
5. 等 5 分鐘，以利達到穩態。
6. 按 calibrate，進行預測。
7. 若對預測結果不滿意，按 redo calibration，回到上一步驟；若對預測結果滿意，進行下一步驟。
8. 按 record，進行測量，測量時間為 20 秒。
9. 按 suspend，被測者繼續休息；如果對測量結果不滿意，按 redo，回到步驟 6。

### **ECG (2)**

1. 按 resume。
2. 被測者立刻坐起來，做 5 次深呼吸，測量 20 秒。
3. 按 suspend；如果對測量結果不滿意，按 redo，被測者躺下，回到步驟 1。

### **ECG (3)**

1. 被測者坐 5 分鐘，以利達到穩態。
2. 按 resume。
3. 被測者深呼吸 5 次，記錄者記錄被測者在什麼時間吸氣、呼氣，記錄時間：20 秒。
4. 按 suspend；如果對測量結果不滿意，按 redo，回到步驟 1。

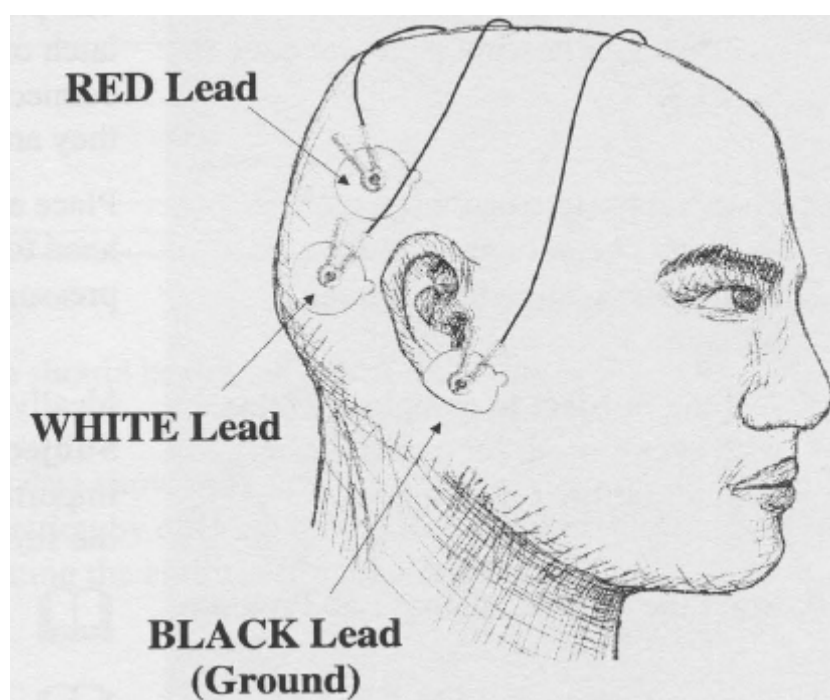
### **ECG (4)**

1. 被測者帶著電極運動，注意不要使電極脫落(我們用仰臥起坐)。
2. 按 resume。
3. 記錄 60 秒。
4. 按 suspend；如果對測量結果不滿意，按 redo，回到步驟 1。
5. 拔下電極。

### **EEG (4)**

1. 準備一頂帽子。
2. 開機，設定最後存檔路徑。
3. SS2L 接到 CH2，將電極與導線接好。

4. 電極接法如圖一。
5. 帶上帽子。
6. 被測者休息 5 分鐘，不要張開眼睛。
7. 按 **calibrate**，進行預測。
8. 若預測結果不是趨近於水平直線，則按 **redo calibration**，回到步驟 6。
9. 按 **record**，前 10 秒計錄者叫被測者閉眼睛，接著叫被測者張開眼睛(不能眨眼)，過了 10 秒再叫被測者閉眼 10 秒，按 **stop**。
10. 若步驟 9 有任何地方有做錯，按 **redo**，回到步驟 6。
11. 脫下帽子，拔下電極，結束實驗。



圖一：EEG 接法。

### Heart Sound and ECG

1. 方法同 ECG 量測，但是在胸口多放置麥克風〈接線編號 SS17L〉。
2. 分別在休息狀態和運動後的狀態下量測兩個 channel 的信號 20 秒。

實驗結果：

### ECG

A. 休息狀態，正常呼吸：

Measurement	Cardiac cycle			Mean
	1	2	3	
Position	22.8 sec	2.4 sec	21.4 sec	--

$\Delta T$ (RR)	0.664	0.670	0.654	0.663
BPM	90.4	89.5	91.7	90.5

ECG component	Duration $\Delta T$ (sec)				Amplitude (mV)			
	1	2	3	Mean	1	2	3	Mean
P wave	0.164	0.147	0.151	0.154	0.165	0.154	0.157	0.159
PR interval	0.181	0.166	0.169	0.172	--	--	--	--
PR segment	0.018	0.021	0.020	0.020	--	--	--	--
QRS complex	0.056	0.059	0.059	0.058	1.674	1.678	1.279	1.543
QT interval	0.340	0.345	0.333	0.339	--	--	--	--
ST segment	0.013	0.019	0.019	0.017	--	--	--	--
T wave	0.237	0.248	0.235	0.240	0.360	0.362	0.208	0.31

Ventricular readings	1	2	3	Mean
QT interval (Ventricular Systole)	0.340	0.345	0.333	0.339
End of T wave to subsequent R wave (Ventricular Diastole)	0.329	0.308	0.323	0.32

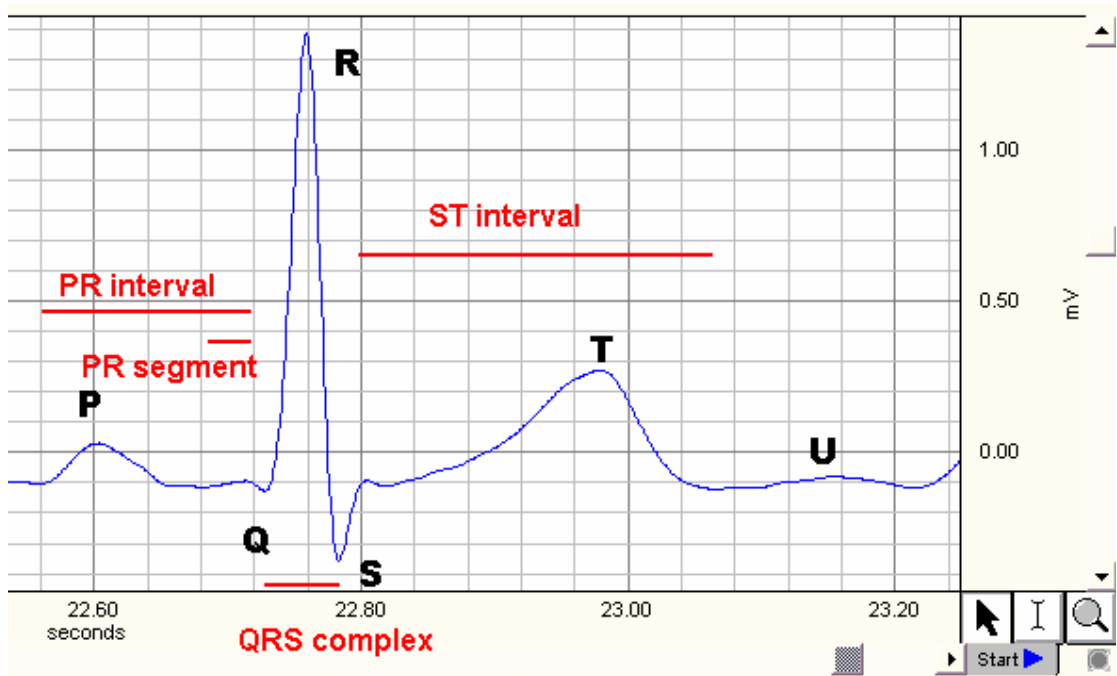


圖 2：我們量到的 ECG 波形，附上標記

B. 剛坐起來，深呼吸：

Rhythm	1	2	3	Mean
--------	---	---	---	------

Position	16.2 sec	24.2 sec	33.4 sec	
Inspiration				
$\Delta T$	0.660	0.659	0.609	0.643
BPM	90.9	91.0	98.5	93.5
Expiration				
$\Delta T$	0.674	0.661	0.654	0.663
BPM	89.0	90.8	91.7	90.5

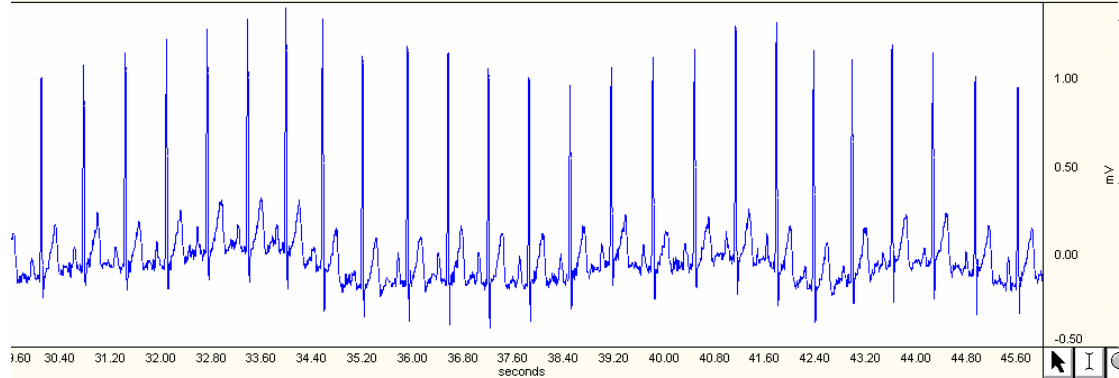


圖 3：深呼吸的 ECG

C. 坐了很久以後

Heart rate	1	2	3	Mean
Position	11.1 sec	16.5 sec	21.5 sec	
$\Delta T$	0.775	0.717	0.691	0.728
BPM	77.4	83.7	86.8	82.6

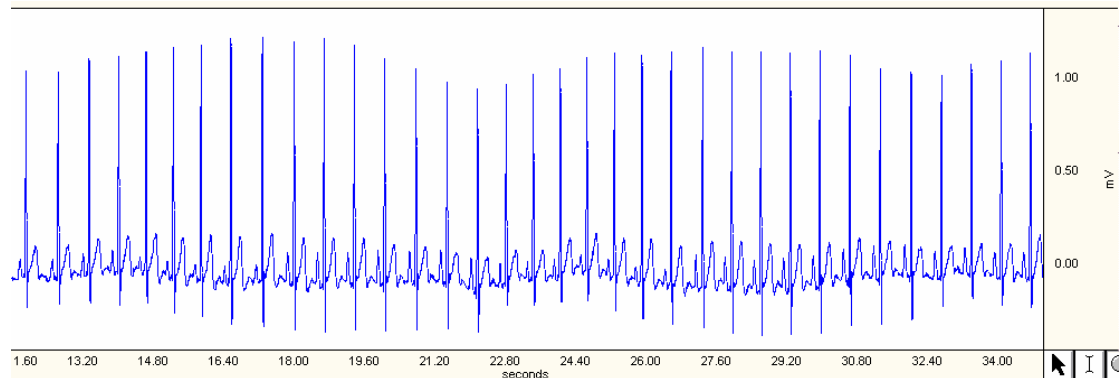


圖 4：坐著休息的 ECG

D. 運動後

Ventricular readings	1	2	3	Mean
Position	10.3 sec	29.6 sec	53.5 sec	
QT interval (Ventricular Systole)	0.302	0.348	0.312	0.321
End of T wave to subsequent R wave	0.269	0.277	0.243	0.263

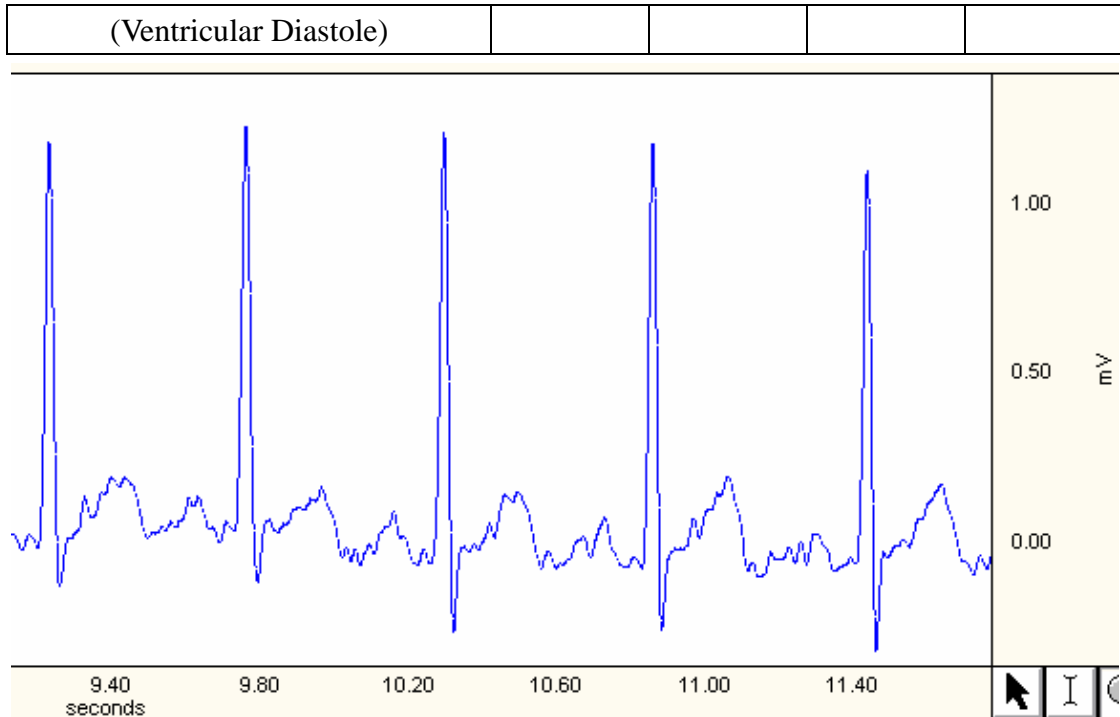


圖 5：運動後的 ECG

## EEG

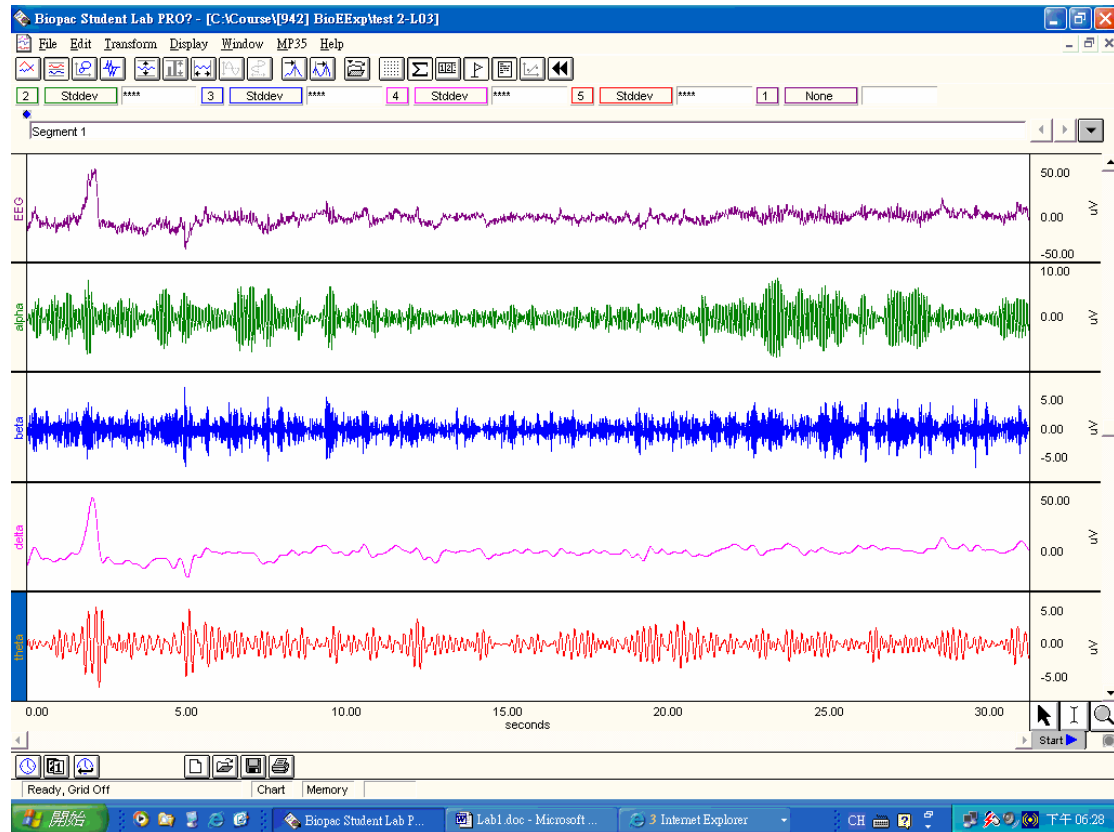


圖 6：EEG 量測結果。前 10 秒為閉眼睛，張開 10 秒後又閉上。由上到下按照順序分別是 EEG、 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\delta$ 、 $\theta$ 波。振幅刻度為  $50\mu\text{V}$ 、 $10\mu\text{V}$ 、 $5\mu\text{V}$ 、 $50\mu\text{V}$ 、 $5\mu\text{V}$ 。

## 心音和 ECG 紀錄

### A. 休息狀態，正常呼吸

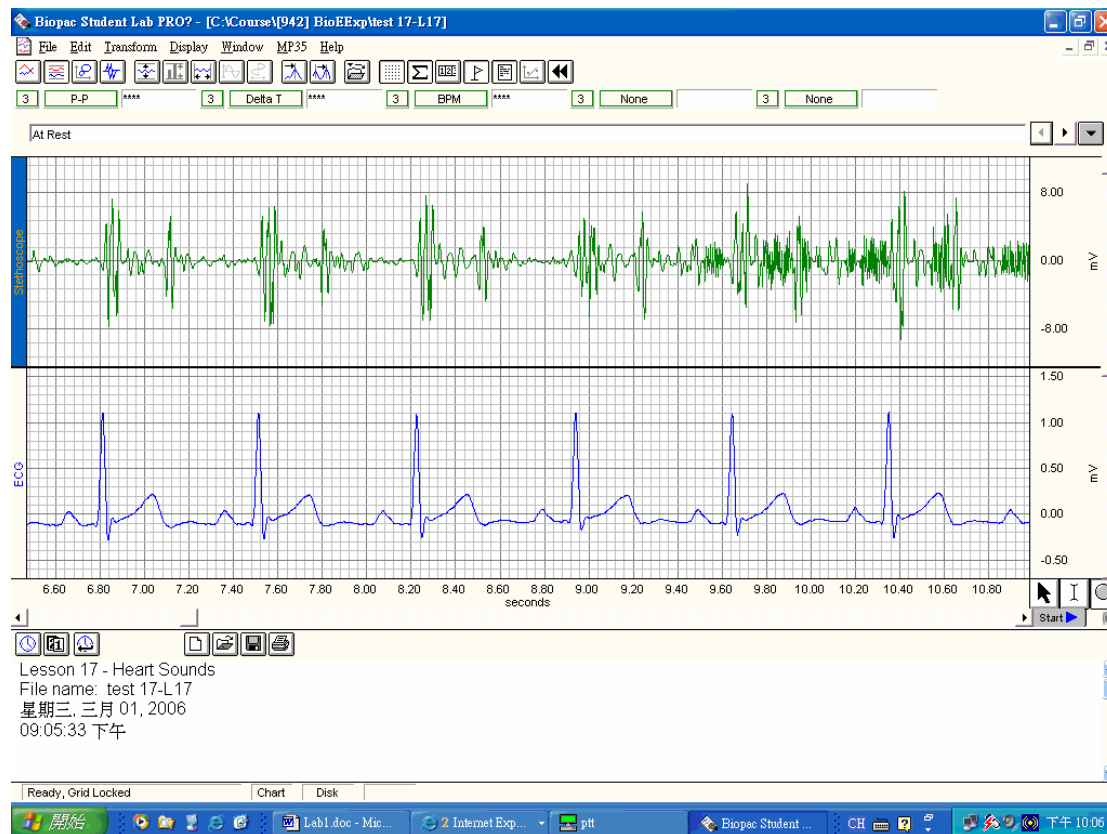


圖 7：心音和 ECG 一起量測的結果，休息狀態下

### B. 運動後

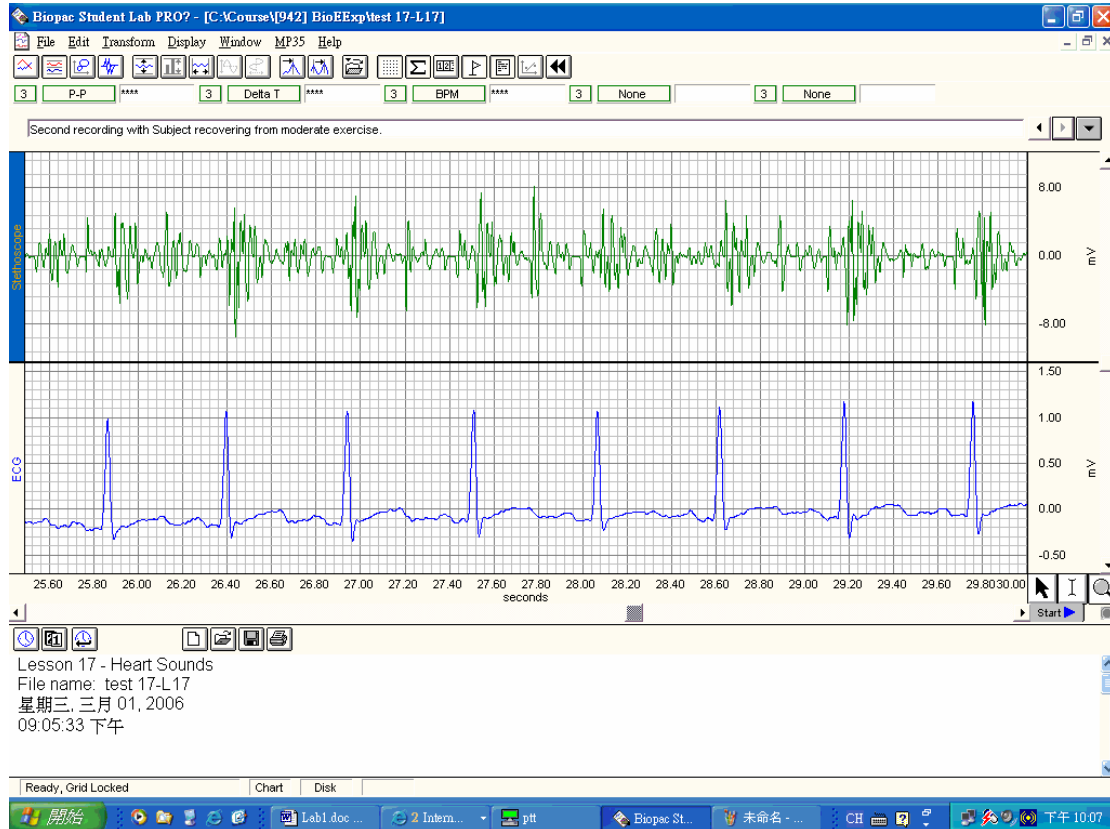


圖 8：運動後的心音和 ECG

數據彙整：

A. 心搏率 (BPM)

Condition	Mean	Lower bound	Upper bound
Supine, regular breathing	92.5	89.0	101.4
Seated, deep breathing, inhalation	91.5	89.0	93.5
Seated, deep breathing, exhalation	90.2	89.2	90.9
Sitting, regular breathing	87.7	77.5	96.3
After exercise—start of recording	118.0	114.5	121.9
After exercise—end of recording	97.5	92.2	105.3

B. 時間間隔 (in second)

Measurement	Mean	Lower bound	Upper bound
Supine, regular breathing			



Inhalation	0.701	0.675	0.735
Exhalation	0.728	0.614	0.826
Supine, deep breathing			
Inhalation	0.632	0.584	0.660
Exhalation	0.663	0.641	0.679

Measurement	Mean
Supine	
Ventricular systole	0.339
Ventricular diastole	0.32
After exercise	
Ventricular systole	0.321
Ventricular diastole	0.263

### ECG 的頻譜分佈

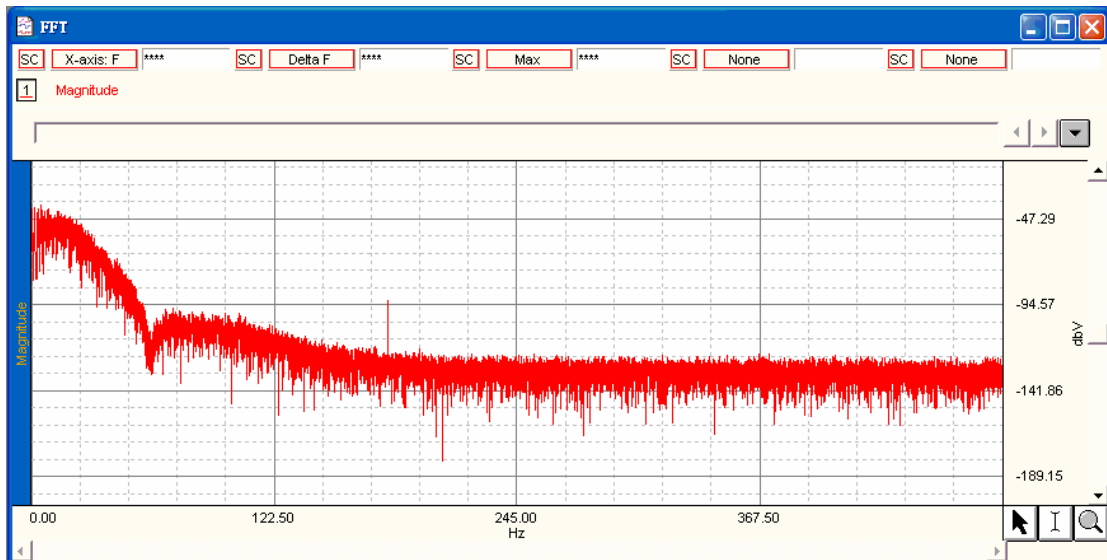


圖 9：ECG 的 Fourier Transform 結果。可看到在 180Hz 處有一個類似 delta 函數的 peak 出現，目前猜測是濾波器造成的影響。

### EEG 的頻譜分佈

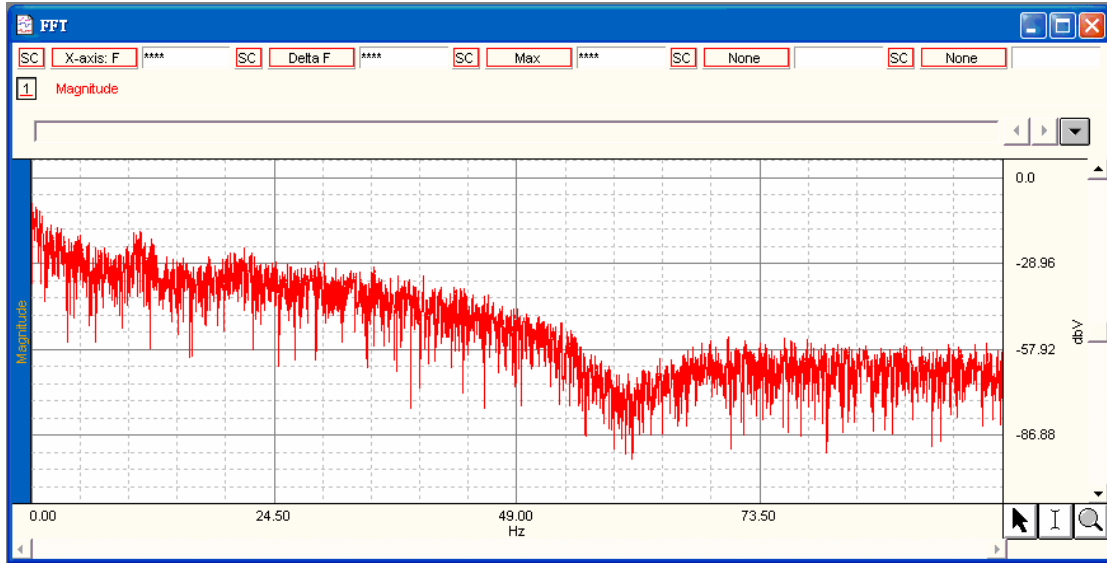


圖 10：EEG 的 Fourier Transform。一般來說，EEG 的頻譜大約在 100Hz 以下。主要訊號在 DC、12 Hz 及 20 Hz 處，大約是 $\alpha$ 和 $\beta$ 波。而 $\theta$ 和 $\delta$ 波頻率很低，被 DC 頻譜包住了。

和典型 ECG 參數的比較 [1]

	一般值	實驗值
P wave	<0.12 sec	0.154 sec
PR interval	0.12-0.20 sec	0.172 sec
QRS duration	0.06-0.10 sec	0.058 sec
QT interval ( $QT_c$ )	<0.40 sec	0.416 sec

註：1.  $QT_c = \frac{QT}{\sqrt{RR \text{ period}}}$  (Bazett's formula) 為根據心跳頻率修正的 QT interval 值。

2. 大部分時候 ST segment 很難和 T wave 分隔開來；通常是緩慢上升變化到 T wave 的 peak 然後掉下來或是接著 U wave 的發生。[1]
3. 大部分的「一般值」會隨不同 channel 量測有一些差異。
4. 其實實驗講義的典型 ECG 圖跟實驗表格要求有些差異，因為講義的圖做了很多化簡，實驗表格要求比較精確的值，因此像 T wave、U wave、ST interval、S wave 等數據明確定義顯得十分重要。我們的記錄值是根據 [3] 的定義寫值。[3] 提到的圖附於下：

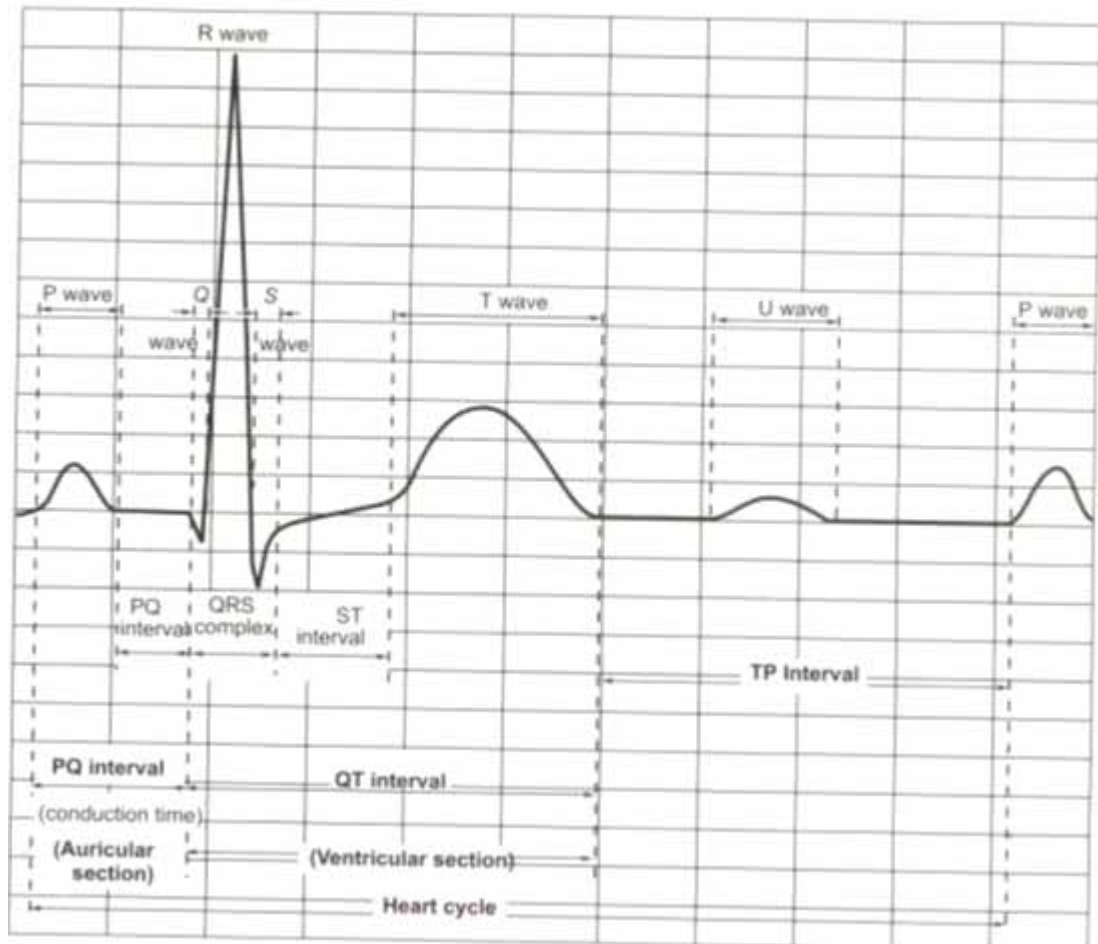


圖 11：典型的心電圖。圖上有標明要用哪些區間作 interval 和 wave 之間的判定，但是實際上沒有辦法那麼明確。

### 結果討論：

1. 由我們量到的訊號波形，可以判讀出典型的 PQSRT 波形狀，顯示我們量到的應該是正確的 ECG 信號沒錯。然後以 BPM 及 scale 來說，和正常值相差不大，不過受試者的心搏稍快，超過正常值（約在 70~80 BPM）一些。估計是因為沒有休息直接量測再加上有點緊張的緣故。
2. 可見到 ECG 有一個長時間的頻率調變，是因為呼吸的關係。其頻率大約是 4~5 Hz，和人正常呼吸的頻率一樣。這是因為當肺部肌肉運動時，會有 EMG 的信號一起被皮膚電極收進來。可以和深呼吸的進行比較：深呼吸的 ECG 波形調變量比較大，和預期的胸腔舒張和收縮的肌肉電信號比較大是符合的。
3. 剛剛坐起來的脈搏速度比坐起來後快，這是因為坐起來這個動作可視為一個小運動，本實驗由 B 跟 C 驗證了這個說法。
4. 運動後的心搏會加速，同時肌肉會有顫動的情形，反映在我們收到的訊號上看到有一高頻小振幅的調變現象。這不是 ECG 的部分，但是因為皮膚電極的關係還是會被算進去。除了 QRS complex 比較看不出來外，其他部分都會受

到該調變影響。

5. ECG 的頻譜在 60Hz 處有一個 notch，是因為要避免電源線 60 Hz 交流訊號經過電容電感耦合到人身上或是電路上，所以訊號先加上了一個 notch filter。由圖可以推測該 notch filter 的頻寬還算很窄（約 20Hz），會對 ECG 造成一些波形的 distortion。另外，在 180Hz 的地方有一個奇怪的信號，我們無從判斷該信號的來源為何，只能猜想是量測系統電路上設計的影響，像是 internal clock 之類的東西吧。
6. EEG 的部分， $\alpha$ 波主要是在人保持警戒下，閉著眼睛的電信號。因此可以看到中段張開眼睛的 10 秒鐘 $\alpha$ 波的強度突然減少很多，而前後兩段閉著眼睛的時間反應就大很多。至於 $\beta$ 波主要是在人保持警戒狀態下就會有的，或是在緊張、忙碌或焦慮下會比較強；因此可以看到 30 秒幾乎都有 $\beta$ 波的活動，而且相當均勻。至於 $\theta$ 和 $\delta$ 波，由於要在人睡著的時候活動比較明顯，所以從我們做的實驗看不太到什麼活動，反而是刺激的訊號（剛開始一個 peak）被歸類在其中。因為我們沒有將電極固定的很好，還要用手壓著，所以 EEG 部分的信號也有一點奇怪。但是因為沒有一定的 pattern，所以不能確定是否我們量到的就是有效的 EEG 信號。不過，信號大小和講義上的振幅是同樣的範圍，因此我們量到的應該就是 EEG。
7. 心音和 ECG 的相關性詳見問題討論。第一心音在 QRS complex 之後，為靜脈血液撞擊心房的聲音；第二心音在我們的實驗中在 T wave 的結束，或是在下一個 P wave 之前，為血液流進心室的聲音。由於人身體不是 homogeneous 的，會讓聲波有介面反射，造成有 echo 的效果。但是因為聲速在人體中傳遞比空氣音速快，所以回音不會造成量到的聲音訊號時間延續太久。所以還可以分出第一和第二心音。運動後可以看到比較複雜的心音，是因為急促的呼吸也有氣流聲音干擾。
8. 每個 wave 各有其對應生理意義，今列對應表及我們實驗測量值如下：

波段	生理意義	休息 (sec)	運動後 (sec)
P wave	心房去極化	0.154	0.077
QRS complex	心室去極化	0.058	0.113
PR interval	SA node 傳遞訊號到心室	0.172	0.112
QT interval	心室再極化 + 去極化	0.339	0.321
ST segment	心室完全去極化	0.017	0.315
T wave	心室再極化	0.240	0.149
U wave	Purkinje fiber 活動	0.078	0.033
TP segment	心臟完全再極化	0.151	0.059

上述數據可以看出因為剛運動後心跳加速，所以很多波段的 duration 都會比較短，這是合理的。然而 QRS complex 比休息長，這點在前面有討論；值得注意的是 U wave 的 duration 很短，說明 Purkinje fiber 在剛運動後傳遞速度變快。影響神經傳遞速度有神經纖維直徑、有無髓鞘、髓鞘厚度與局部電流有關。因 Purkinje

fiber 是固定的，所以剛運動完後 Purkinje fiber 的局部電流增加，增加傳遞速度。

### 問題討論：

1. 如何驗證量到的生理信號是正確的？敘述你的檢驗過程和想法。

答：量測到的第二肢導信號至少要有 P wave、QRS complex 及 T wave 三個特徵，可以藉由設定 threshold value 的方式決定是否有 peak 的產生。實驗上則是直接用肉眼判斷有沒有這三個特徵波形。因為一接上來就有看到這三個波形，所以我們認定我們的 ECG 量測試有效的。因為心律不整的判斷上，有 R-on-T 和 Interpolated PVC 兩種情況，會是 T wave 不見；或者說判定成兩個 R 的波之間，應該要有兩個 peak (T 和下一個 P) 才算是正常心電圖；所以只要連續三個 R 的區間，裡面都應該要有明顯的小波才算。

另外，要驗證量測系統的正确性，可以使用一個 standardizer 產生已知特徵的信號 (如方波)，可以觀察量測到的投影量是否正確。

2. 根據你對於三種信號了解，你認為三種信號中哪一種測量難度可能會最高？

答：純以信號大小來比較的話，EEG 的信號約在  $\mu\text{V}$  左右，比 ECG 和 EMG 的 mV 都小，設計放大電路上會最複雜，需要考慮比較多的雜訊排斥和放大增益等因素；而 ECG 除了 QRS complex 以外的信號都沒有 mV 等級，信號比 EMG 小，故以信號大小的量測難度是 EEG > ECG > EMG。

以信號的頻譜來說，EEG 的頻率在極低頻段 ( $\sim 20\text{Hz}$  以下)，比其他兩者的頻率容易受雜訊干擾，同時  $1/f$  的雜訊也會比較大，信雜比低；而 EMG 的頻率範圍比另兩種大，在設計電路的頻率響應範圍要比其他兩者複雜，不過頻率高還是比頻率低容易量測。而 ECG 的頻率範圍在  $200\text{Hz}$  以下，又沒有重要的低頻信號，算是最好量的。因此，頻譜設計難度是 EEG > EMG > ECG。

再以量測所需要的電極來比：ECG 使用 12 個 channel 量兩個平面的投影量；EEG 使用 21 個以上的電極量整個腦；EMG 使用針狀電極刺進肌肉細胞量電位。ECG 的看起來是最簡單的，使用皮膚電極就可以了；EEG 因為要固定電極在腦上的位置，要一個頭盔；EMG 則是要能找到特定肌肉細胞的電訊號 (如果用皮膚電極則只能取得很多 EMG 來源的信號總和)。三者的電極難度是 EMG > EEG > ECG。

此外，比較信號干擾的程度：ECG 和 EEG 一定會受到 EMG 的干擾，如呼吸的影響；量特定肌肉細胞的 EMG 的話則比較不會。而 ECG 是自發性產生的，受試者的狀況影響心電的程度較輕；EEG 則會反映出受試者的狀況，包括思想或外界刺激等都會干擾，造成判定上的困難。所以信號受干擾程度 (或是可信度) 難度是 EEG > ECG > EMG。

綜合以上各點，量測難度最低的是 ECG，難度最高的應該會是 EEG。

3. ECG 部分：量測 ECG 最常用的是第二肢導，有什麼特點或好處？使用其他肢導的特色又為何？

答：圖 12 是十二個肢導電 ECG 圖形比較；為 Lead I, II, III、AVR, AVL, AVF 和 V1~V6 的信號。

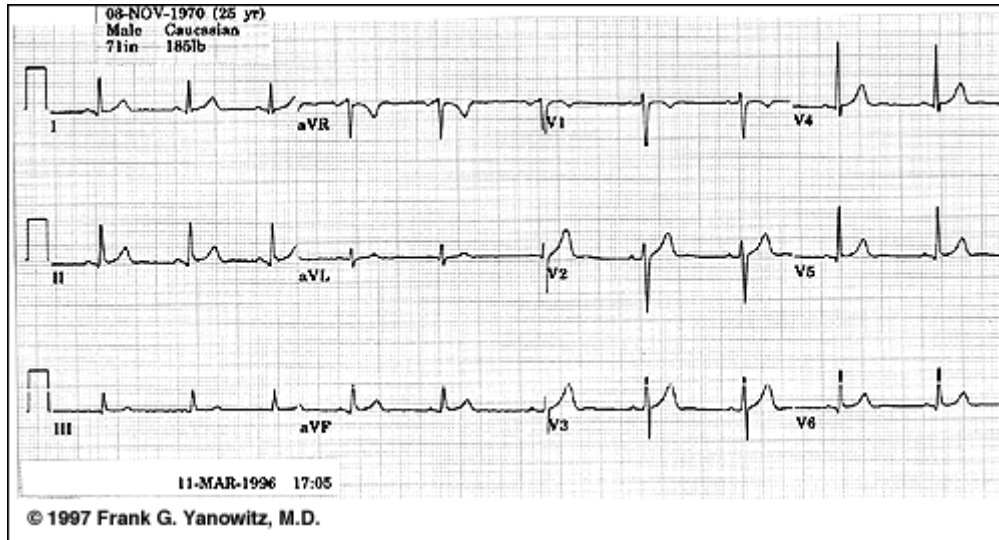


圖 12：12 個不同肢導量到的心電圖。[1]

由圖可以看到，典型的第二肢導可以看到 PQRSTU 波，而第一肢導不容易看到 S 波（文獻[1]上是不容易看到 Q 和 S 波）；第三肢導振幅比較一二肢導小一半左右。這是因為心臟的等效 dipole 指向大約是在 AVR 的方向，投影量主要是在一和二肢導。AVR channel 的波形因為正極和負極的接法所以 peak 是朝下的，量值會比 AVL 和 AVF 大。

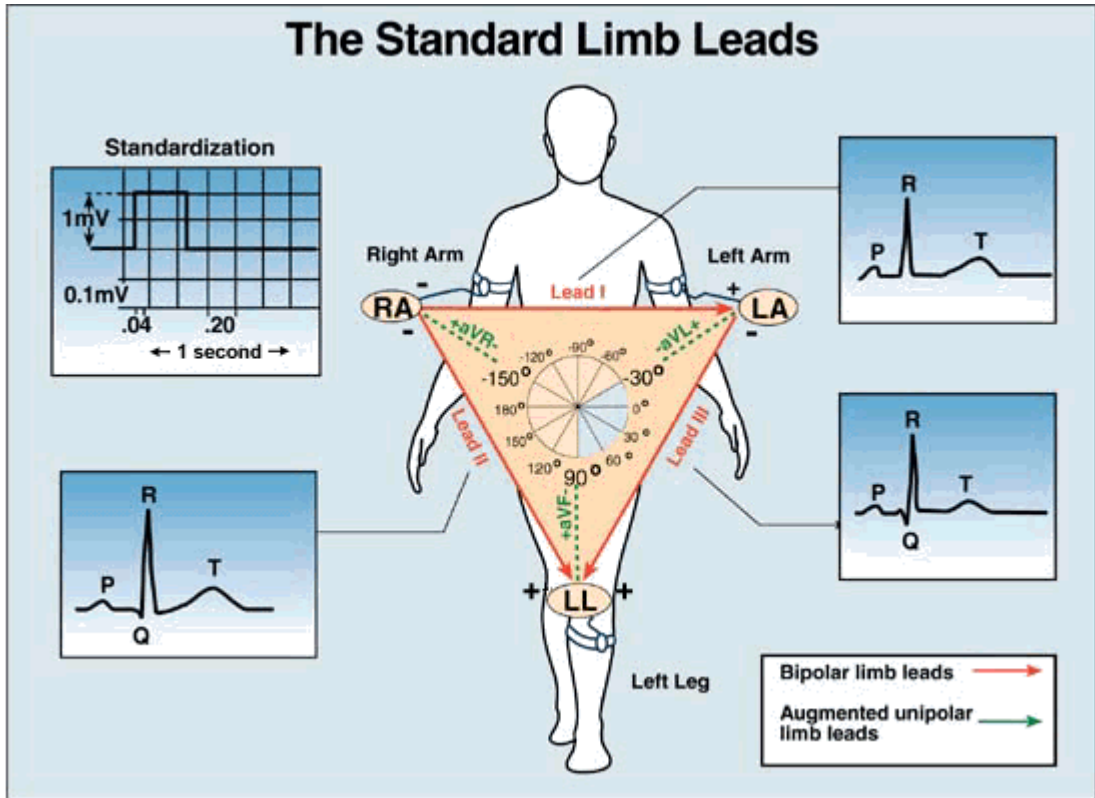


圖 13：不同肢導的 cardiac vector 投影波形示意圖

而 V1~V6 電極量的是 transverse plane，大部分 PQRSTU 波都可以看到。只是有的會有很明顯的 Q 波或 S 波（如 V3），是因為 dipole 方向在 Q 或 S 波時轉向是 transverse 的，在 frontal plane 上投影沒什麼變化。

4. 觀察你量測到的 ECG 波形，說明其與心音、心室壓力的關係。

答：一般來說 ECG 波形圖與心臟變化如下：當右心房受到刺激時，sinoatrial node 會傳出電訊號，對應到心電圖的 P wave 前半，此時房室瓣開啓，右心房收縮，血液流入右心室，右心室舒張，在半月瓣閉合的情況下，血液從右心室往肺動脈的路暫時不通，會撞擊半月瓣；而左心室的血液也由同樣原因不能把血液送到大動脈(左心室舒張)，會撞擊另一堆半月瓣(三片)，這些造成第二心音，在用聽診器測量時會聽到”dub”的聲音。

## Electrical System of the Heart

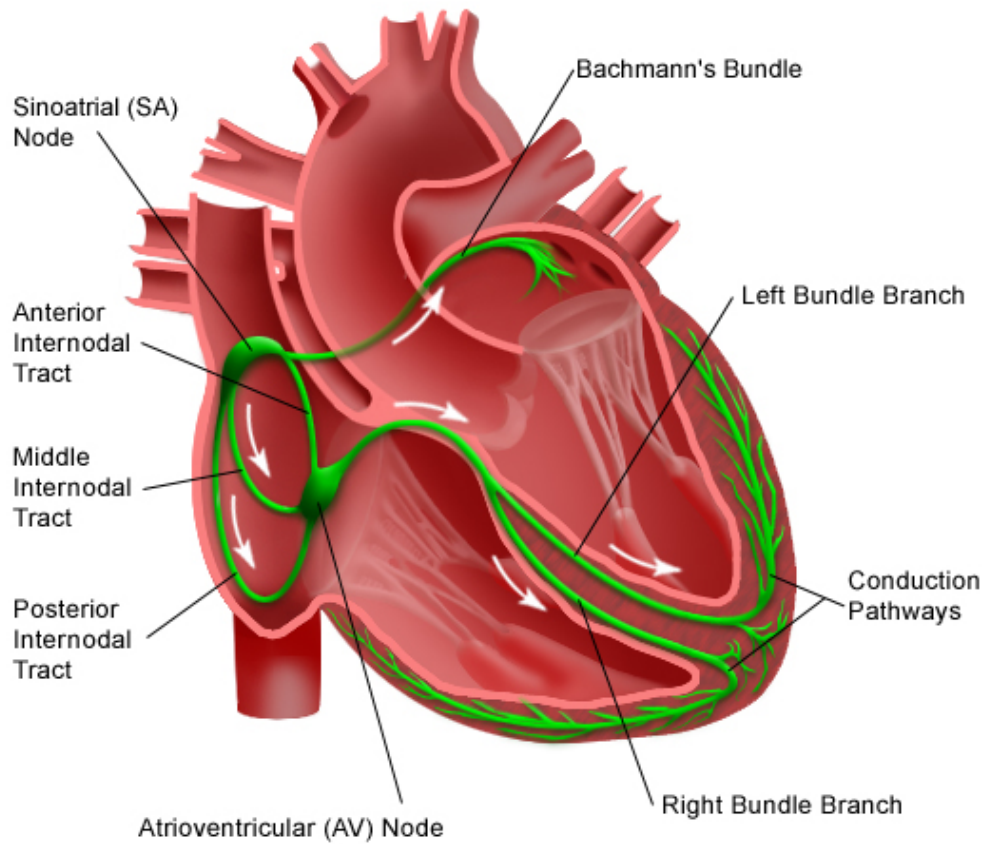


圖 14：心臟的神經分佈圖，箭頭表示電訊號傳遞的方向[6]

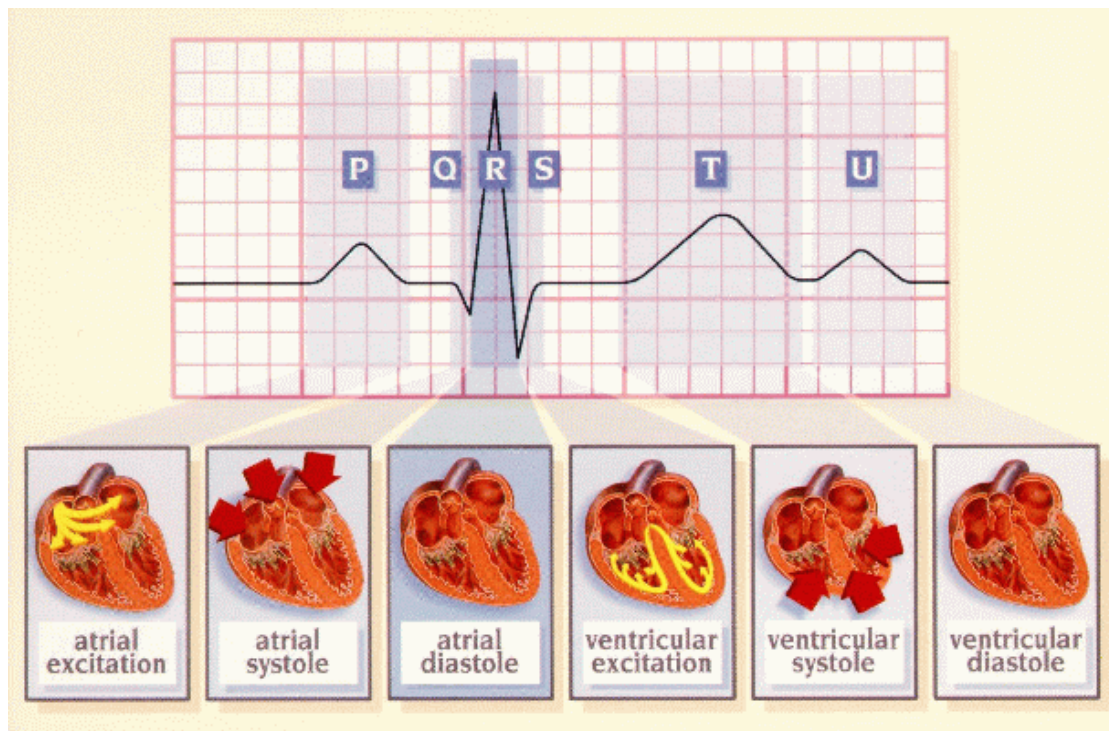


圖 15：心電圖對應的心臟搏動循環階段示意圖[7]



在接下來的 0.3 秒(假設一個循環歷時 0.8 秒)內，電訊號傳至 AV node(對應到心電圖的 P wave 後半)，接著經由左右支線傳到心尖(對應到心電圖的 PQ interval)，再由 Purkinje fiber 傳至左右心室內(對應到心電圖的 QRS complex)。這時候左右心房舒張，半月瓣開啓，右心室收縮，血液可流到肺動脈，左心室收縮，血液可流到大動脈，然而房室瓣關閉，使得從上大靜脈與下大靜脈的血流到右心房後不能流到右心室，撞擊房室瓣；從肺靜脈流至左心房的血也因同樣理由撞擊另一對房室瓣(二片)，這些造成第一心音，用聽診器測量時會聽到”lub”的聲音。

最後 0.4 秒內，左右心房與心室皆為舒張狀態，血液自上大下大靜脈流至右心房再到右心室，也自肺靜脈流至左心房再到左心室，sinoatrial node 再次發出電訊號，結束一個循環，對應到心電圖的 T wave 和 U wave。

5. EEG 部分：實驗中我們使用 bipolar 方式單獨量測腦部某一區域的 EEG；請問在一般 EEG 中，所使用的方法有何不同？

答：在標準的 10-20 system 中使用 21 個電極放置在頭顱上，配置如圖：

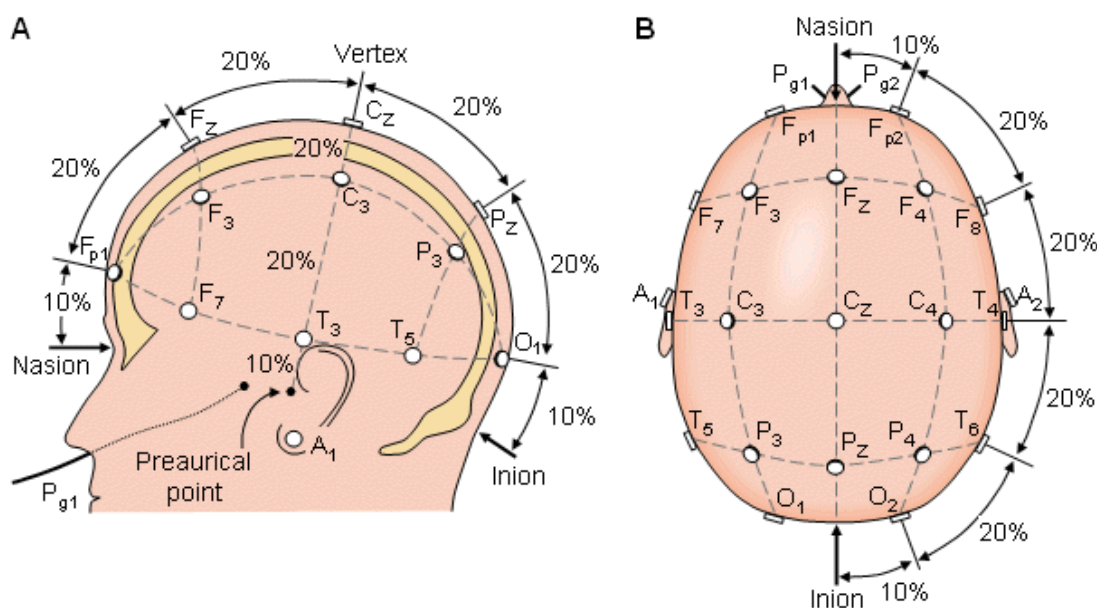


圖 16：標準的 EEG 腦電極擺設模式[5]

其中鼻根〈Nasion〉處為參考點；A 為耳垂；C 為中央截面。電極的擺設是為得到更多投影方向的信號，以重建原來腦內的信號位置、方向及強度。我們實驗使用耳垂 A<sub>2</sub> 為接地，量 T<sub>6</sub>、P<sub>4</sub> 間的 bipolar EEG 信號。

另外，電極有 bipolar 和 unipolar 的量法，bipolar 量的是每對電極間的差異量；而 unipolar 量的是每個電極和參考電極的電壓訊號。兩者可以互相轉換，但是應該是 bipolar 比較難量，因為只紀錄兩點之間的差異值，在已經很小的 EEG 信號下差值更難量測。不過，如果要觀測受試者對刺激的反應的話，量 bipolar 可以看到有意義的差異，並且可以消除調兩電極的 common mode 的雜訊。

6. 一般認為 EEG 的時間解析力較 functional MRI 為佳，而空間解析力以反而是 fMRI 較佳，請問原因為何？

答：因為 EEG 只是量特定點的電壓訊號，沒有辦法看到腦中各位置的電波；但是電壓是類比的訊號，可以隨時間紀錄下來；fMRI 則是量測氫原子分布（受血含氧量的影響），位置上可以精確到  $1\text{mm}^3$ （醫學使用）甚至  $1\mu\text{m}^3$ （研究用）。fMRI 由於要做切面，要做即時的影像速度會比 EEG 慢（約 2~3 秒一張影像），卻可以看到整個頭顱內部不同位置的變化。因此說 EEG 的時間解析力較 fMRI 好，但 fMRI 的空間解析力比 EEG 高。

7. EMG 部分：請說明 EMG 電極偵測的信號來源為何？

答：EMG 來源為肌纖維的 action potential，在受到神經指令後產生的收縮或舒張分別會有正或負的電壓信號。此外，EMG 電極同時也會量到從感覺神經元產生的信號以及動作神經元發出的電位。

8. 什麼是 skeletal muscle tonus？你從實驗中觀察到什麼現象？

答：骨骼肌纖維在平常就會保持一部份收縮的狀態，無論是要收縮或是舒張都不會完全的收或放。該情形下的肌肉稱為在 tonus 的狀態下，會因人運動或是健康狀況不同而不同。如此的目的是使舒張的肌肉能夠快速的反應，保持靈活性。

### 參考資料：

- [1] Frank G. Yanowitz, *Characteristics of the Normal ECG*, ECG learning center, Univ. Utah School of Medicine,  
[http://medlib.med.utah.edu/kw/ecg/ecg\\_outline/Lesson3/index.html](http://medlib.med.utah.edu/kw/ecg/ecg_outline/Lesson3/index.html)
- [2] <http://ceiba3.cc.ntu.edu.tw/course/44175c/demo/ekg.htm>
- [3] D.C. Reddy, *Biomedical Signal Processing Principles and Techniques*, McGraw Hill, 2005.
- [4] Jaakko Malmivuo and Robert Plonsey, *Bioelectromagnetism*, Oxford University Press, 1995
- [5] R. L. Gilmore (ed.), *American Electroencephalographic Society guidelines in electroencephalography, evoked potentials, and polysomnography*, J. Clin. Neurophysiol. 11:(1, January, 1994) 147 pp.
- [6] Figure reprinted from The Ohio State University Medical Center  
<http://medicalcenter.osu.edu/patientcare/healthinformation/diseasesandconditions/heartdisease/arrhythmias/>

[7] Figure reprinted from James P. Keener, "*Heart attack can give you mathematics,*"  
Math Dep., Univ. Utah.

<http://www.math.utah.edu/~keener/lectures/maw/slide1.html>