

第三章

濾波器

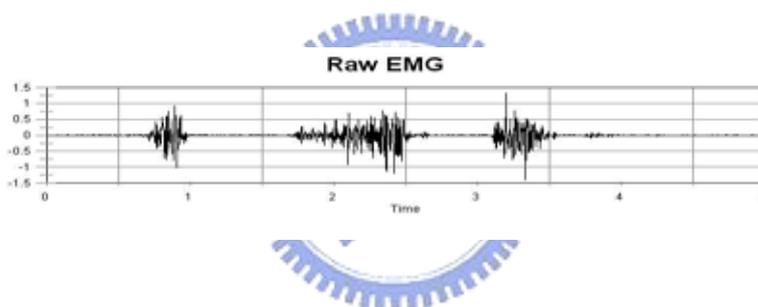
取得肌電波後，接著便是對肌電波進行濾除雜訊與萃取特徵的動作，然而在進行這些動作之前，必須先對肌電波有基本的認識，了解正確的肌電波與錯誤的肌電波，以及該用什麼型式的濾波器，什麼參數的濾波器濾除雜訊，都是必須探討的課題，下面就分別對肌電波的雜訊的種類以及濾波器的選擇進行討論。

3.1 肌電波雜訊的種類

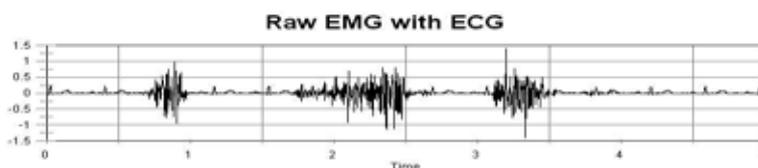


爲了得到正確的 EMG 訊號進行進一步的分析，我們必須了解正確與錯誤的 EMG 訊號，以下分別爲乾淨的 EMG 訊號以及幾種進行肌電訊號量測時常出現的錯誤 EMG 訊號。圖 3.1(a)是一個乾淨的 EMG 訊號。圖 3.1(b)是有心跳干擾的訊號，這種干擾訊號通常會發生在當我們所量測的肌肉是比較靠近心臟的時候，例如左手的二頭肌跟三頭肌。此類的干擾發生時其實並不是很好濾除，但是卻可以以很簡單地方式來避免心跳 ECG 的干擾，例如量測手部肌肉時盡量使用右手，或者盡量選擇前肢當作量測的對象，總而言之，電極的位置盡量避免選擇靠近心臟，但是如果真的發生了這種干擾，也無法避免時，爲了避免義肢的錯誤動作，可以考慮使用平均的方式把心跳 ECG 訊號濾除，這種方法雖然會有其他方面的影響，但是卻能稍稍解除 ECG 訊號所造成的困擾。圖 3.1(c)是 60 赫茲的電源干擾訊號，這種訊號的干擾似乎是很難避免，根據我們所做的實驗當中，每次都會有這樣的干擾出現，有時候會很嚴重，有時候則較輕微。在許多的 EMG 訊號控

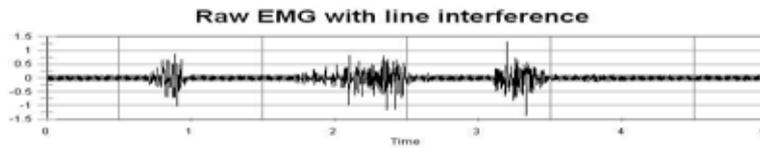
制的應用當中，這是一個非常嚴重的干擾，不管是定性分析還是定量分析，這一類型的干擾扮演著一個相當重要的角色，有些學者主張使用 60 赫茲的帶拒濾波器將此干擾濾除[4]，而有些學者卻有不一樣的堅持，他們認為 EMG 訊號的分佈範圍在 20 赫茲到 500 赫茲之間，而 50 赫茲到 150 赫茲是 EMG 訊號分部最密集的頻帶[28]，如果使用 60 赫茲的帶拒濾波器將此干擾濾除很可能也會將重要的訊號一併濾除，因此他們並不主張這樣的做法。圖 3.1(d)是人為移動的干擾，這也是一種很常見的干擾源，主要的造成原因有兩種，一種是電極滑動所造成的干擾現象，另一種則是電極導線晃動所造成[28]，雖然是常常會發生的干擾，但是這種人為的干擾卻相當好濾除，原因是這種人為干擾訊號的頻率通常都不高，所以往往只要用截止頻率為 20 赫茲左右的高通濾波器即可濾除[3,28]。



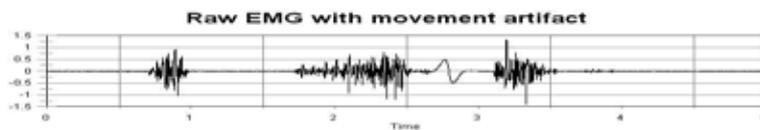
(a) 乾淨的肌電波[27]



(b) 有心跳干擾的肌電波[27]



(c) 有 60 赫茲電源干擾的肌電波[27]



(d) 有人為移動干擾的肌電波[27]

圖 3.1：(a) 乾淨的肌電波, (b) 有心跳干擾的肌電波, (c) 有 60 赫茲電源干擾的肌電波, 和 (d) 有人為移動干擾的肌電波

3.2 濾波器選擇

使用濾波器的目的就是要將不要的雜訊濾除，並希望能夠用最小的濾波器階次滿足特定的性能，在眾多形式的濾波器當中，我們該如何選擇一個適當的濾波器就顯的相當地重要。濾波器可分為有限脈衝響應濾波器(FIR)以及無限脈衝響應濾波器(IIR)，兩者最大的差異在於滿足相同的性能條件下無限脈衝響應濾波器(IIR)所需的階數會比有限脈衝響應濾波器(FIR)低的多，故一般 EMG 訊號處理的濾波器設計者皆使用無限脈衝響應濾波器(IIR)，而我們也不例外，然而在無限脈衝響應濾波器(IIR)當中也有相當多種設計方法，不同的濾波器設計方法，具有不同的特性[35]。Butterworth 濾波器提供了對理想低通濾波器在 $\Omega=0$ 及 $\Omega=\infty$ 時響

應的最佳泰勒級數近似；Chebyshev 一型濾波器的特色，理想的頻率響應跟實際的頻率響應在全部通帶內具有最小的絕對差，且阻帶響應有最大跳變，從通帶到阻帶的暫態過程比 Butterworth 濾波器快的多；Chebyshev 二型濾波器的特色，和 Chebyshev 一型濾波器一樣，理想的頻率響應跟實際的頻率響應在全部通帶內具有最小的絕對差，但是通帶響應具有最大跳變，阻帶並不像 Chebyshev 一型濾波器一樣很快接近零，不過在通帶中沒有跳動是它的一大優點；Elliptic 濾波器在通帶和阻帶具有相等波動，暫態寬度最小；Bessel 低通濾波器在零頻率具有最大跳變群延遲，且為了滿足阻帶的衰減，此類型的濾波器一般而言會比其他類型的濾波器需要更高的濾波階次。圖 3.2 所示的頻率響應圖是我們使用 5 階、低通濾波器截止頻率為 500 赫茲以及高通濾波器截止頻率為 20 赫茲，並分別劃出以 Butterworth、Chebyshev 一型、Chebyshev 二型、Elliptic 以及 Bessel 濾波器來實現的帶通、帶阻與低通濾波器的頻率響應圖，以利比較。根據頻率響應圖的結果，我們選擇使用 passband 具有最大平滑響應以及最小漣波的 Butterworth 濾波器處理肌電波[4,29,38]。



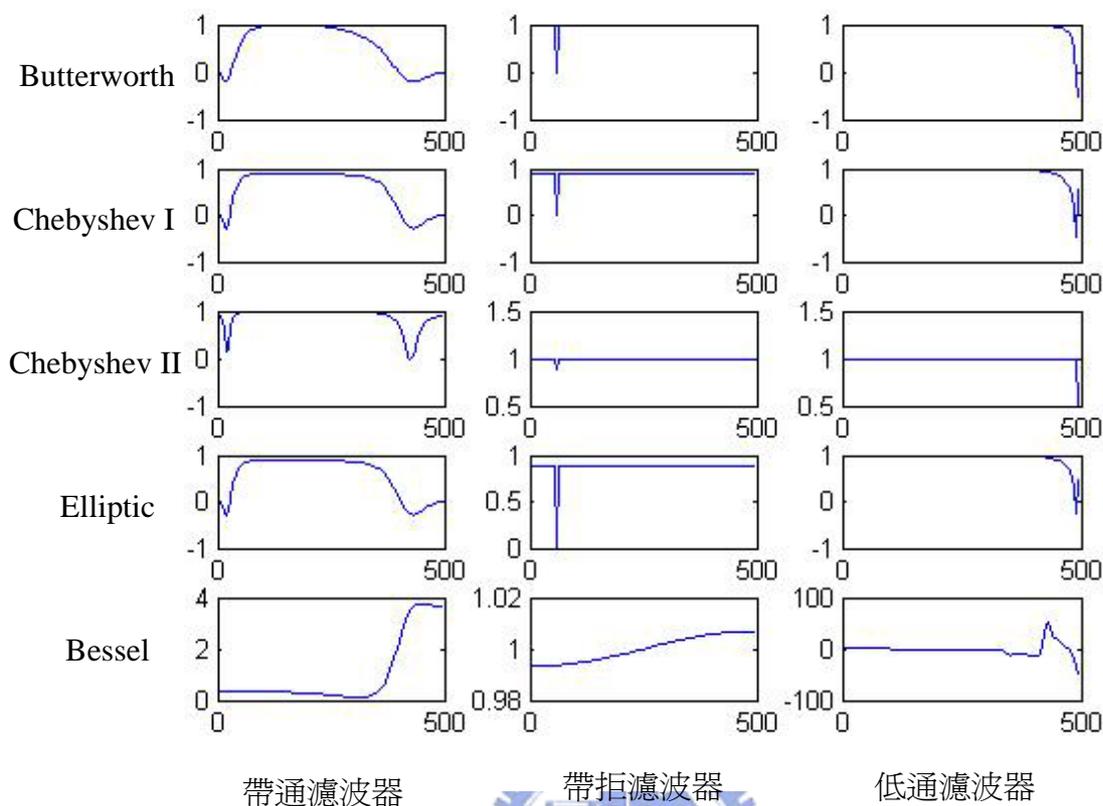
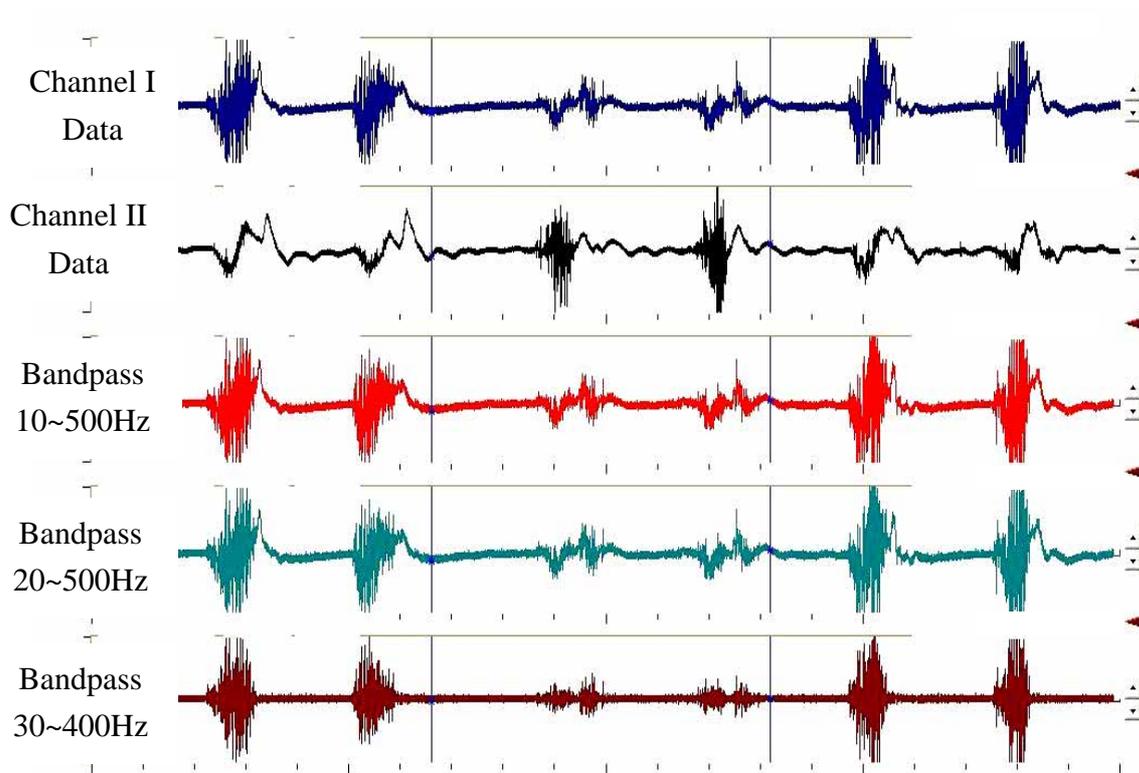


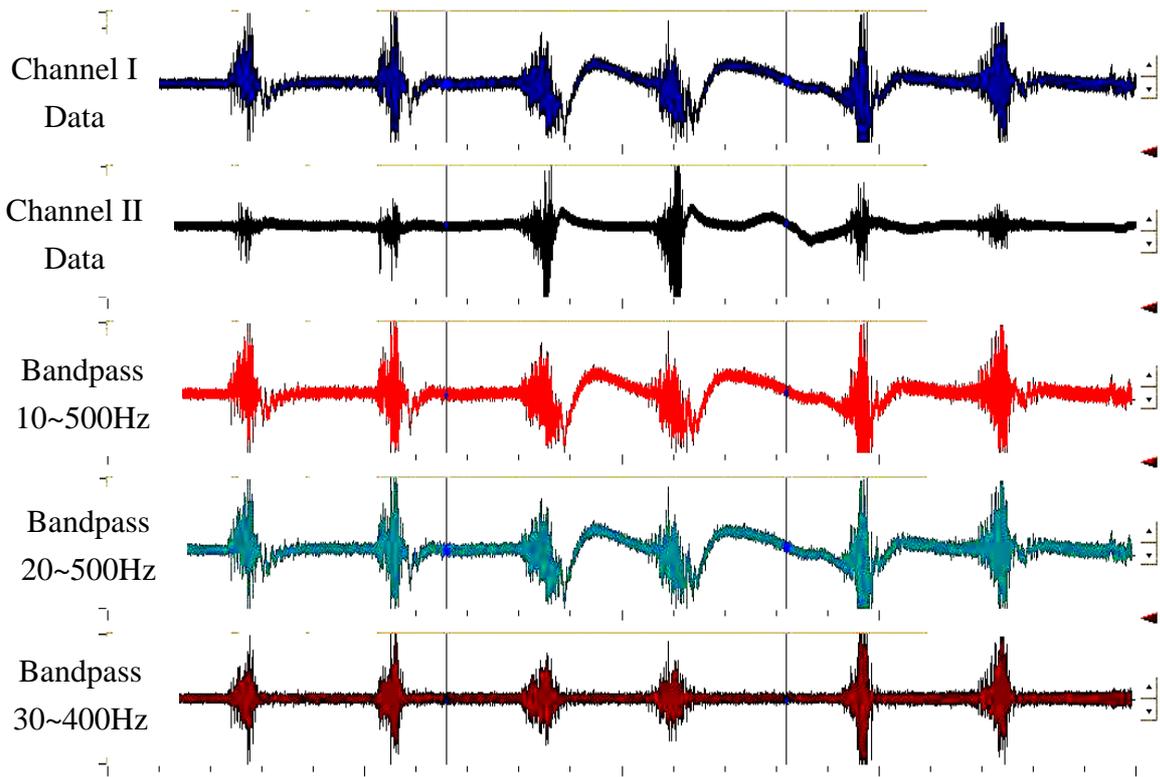
圖 3.2 Butterworth、Chebyshev 一型、Chebyshev 二型、Elliptic、Bessel 濾波器實現的帶通、帶拒與低通濾波器的頻率響應圖

在確定好所要使用的濾波器型式後，接下來要決定的就是濾波器的參數，目前我們所使用的濾波器有三種：帶通濾波器、帶拒濾波器以及 Smooth 濾波器。選擇帶通濾波器的主要考量因素是 EMG 訊號本身的頻率分佈範圍，大體而言，EMG 訊號皆分佈在 500 赫茲以下，再加上必須濾除諸如脈搏訊號的干擾(EGC crosstalk)以及電極鬆動的干擾之類的雜訊[28]，一般而言皆將帶通濾波器的通帶頻率設定為 30 赫茲至 500 赫茲左右，但是這些都只是大略的值，外界的說法也是眾說紛紜，諸如成大醫工東冠姣提出 5~800 赫茲的通帶範圍[36]、中原醫工陳建宇提出 10~500 赫茲的範圍[22,37]、Ottawa 大學 Gordon 與 Robertson 提出 20~500

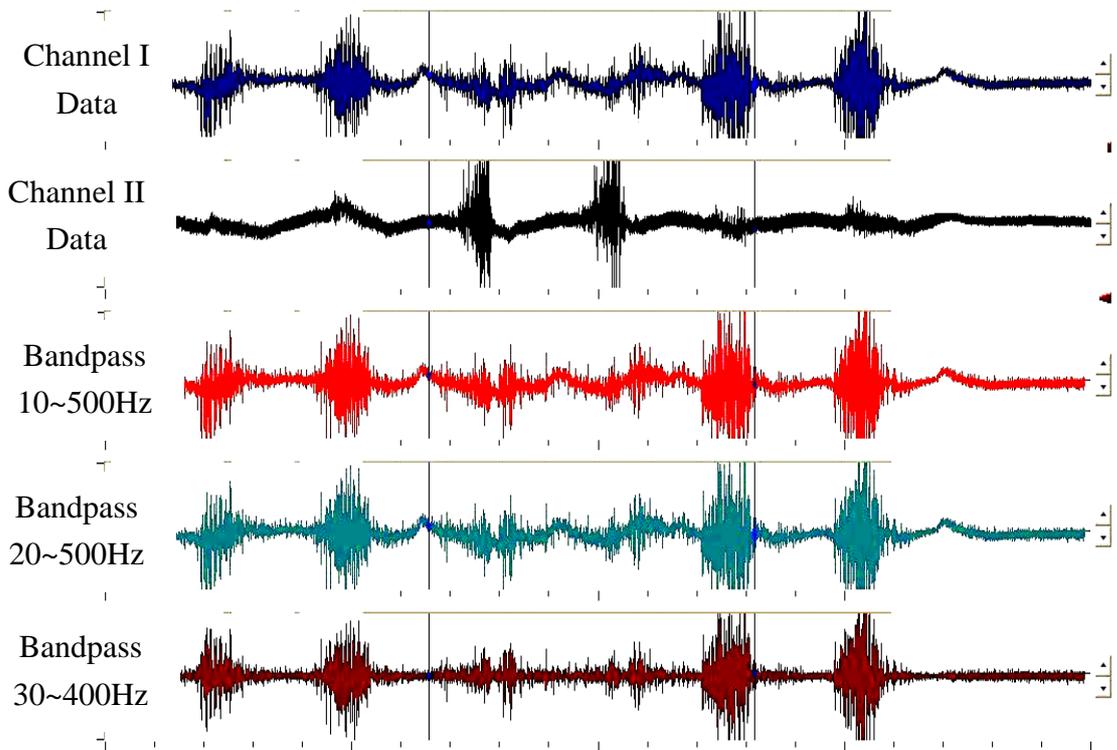
赫茲的範圍[27]以及台大機械黃漢邦教授提出 30~400 赫茲的範圍[4]，況且不同的電極位置也會有些許的差異，因此我們進行一些實驗，將我們五位實驗者實際所量到的 EMG 訊號分別做 10~500 赫茲、20~500 赫茲以及 30~400 赫茲的帶通濾波，實際地觀察各個濾波器的輸出效果，希望夠藉由這些實驗找出適合我們的濾波器規格，結果如圖 3.3 所示，可以發現 EMG 訊號經過 30~400 赫茲的帶通濾波器濾波後所輸出的訊號干擾最少也最為平穩。



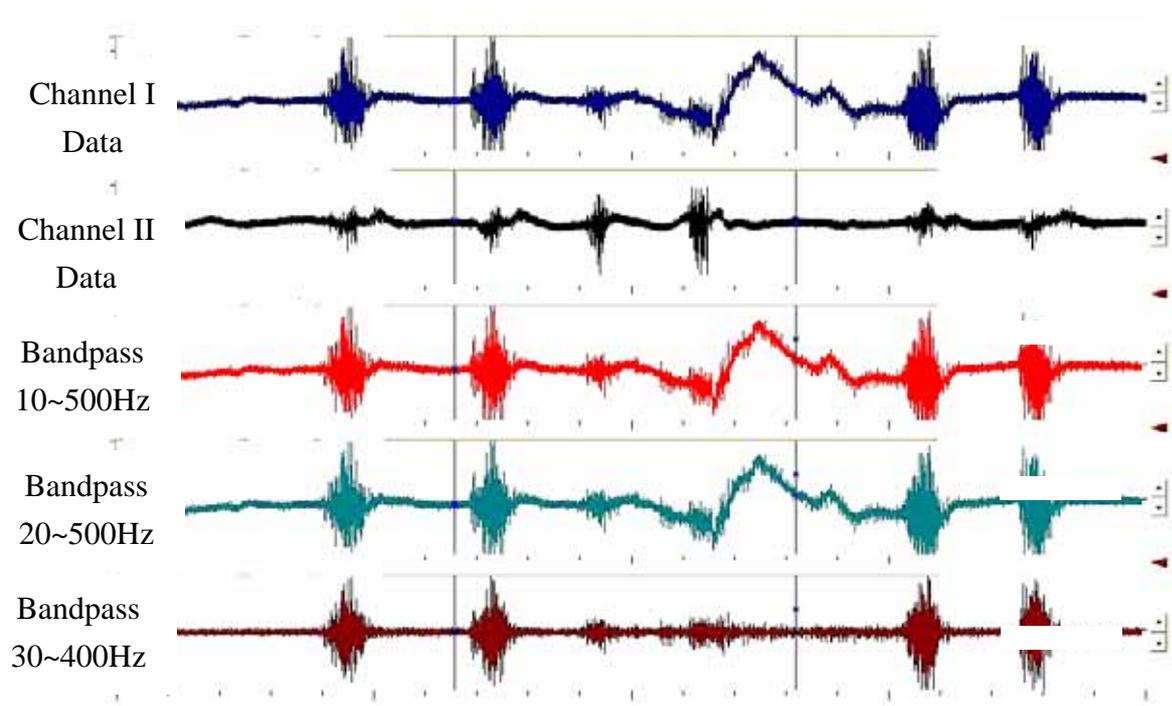
(a)一號實驗者



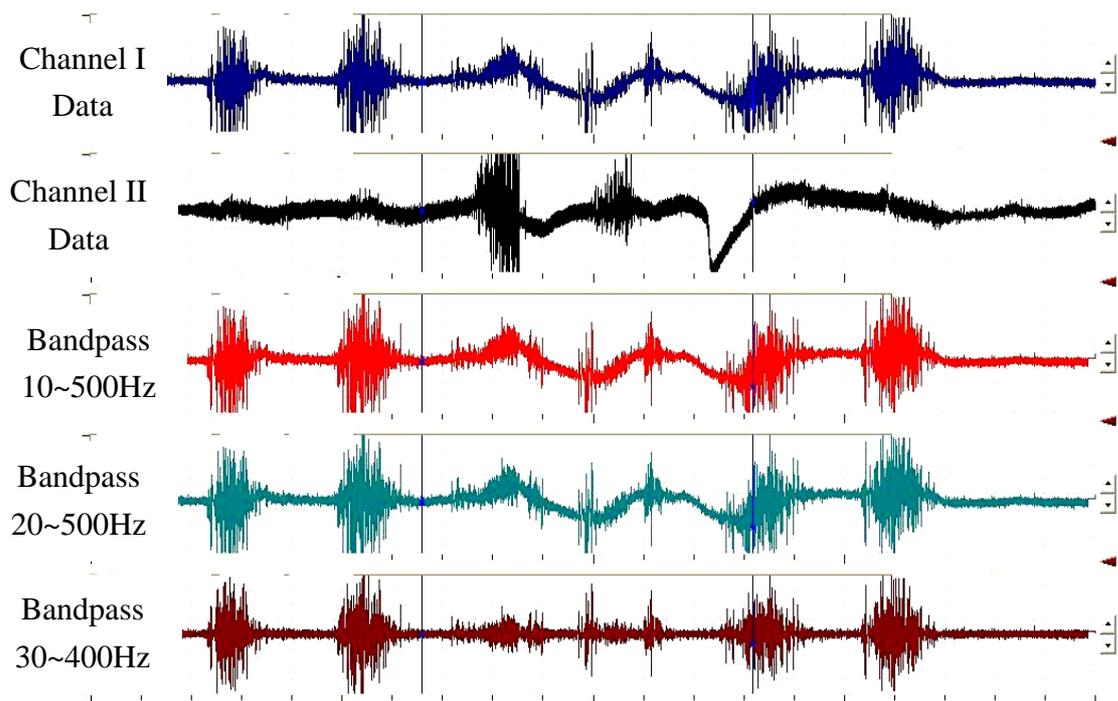
(b) 二號實驗者



(c) 三號實驗者



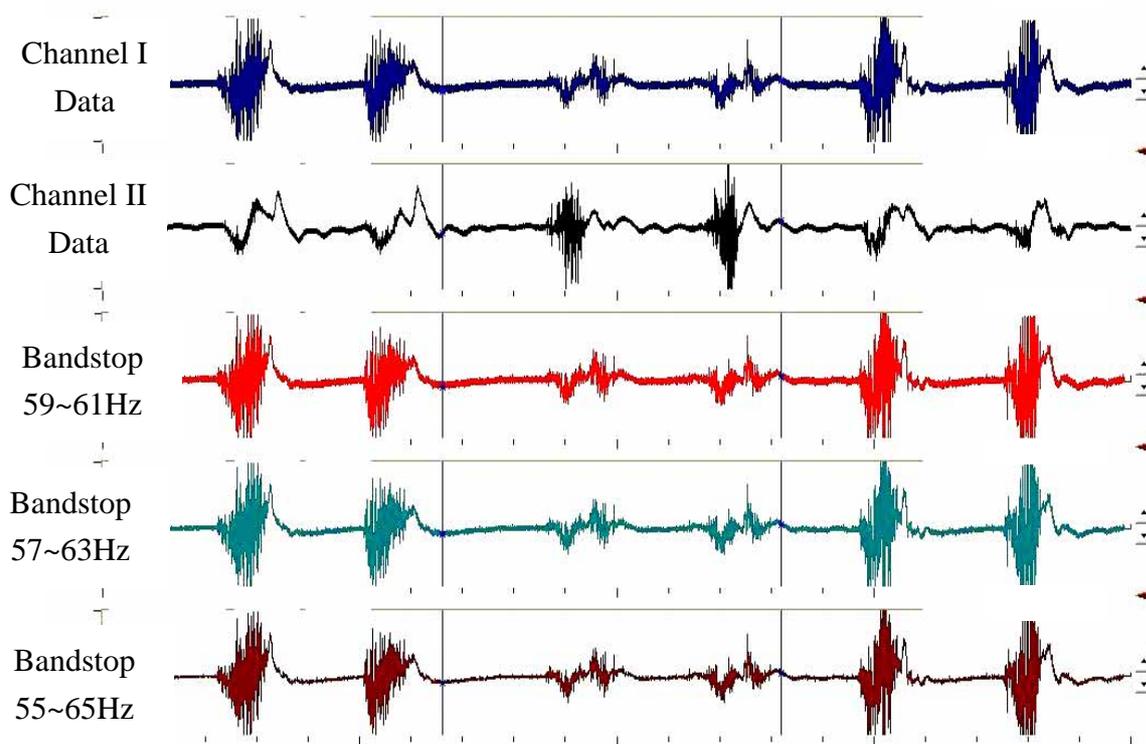
(d) 四號實驗者



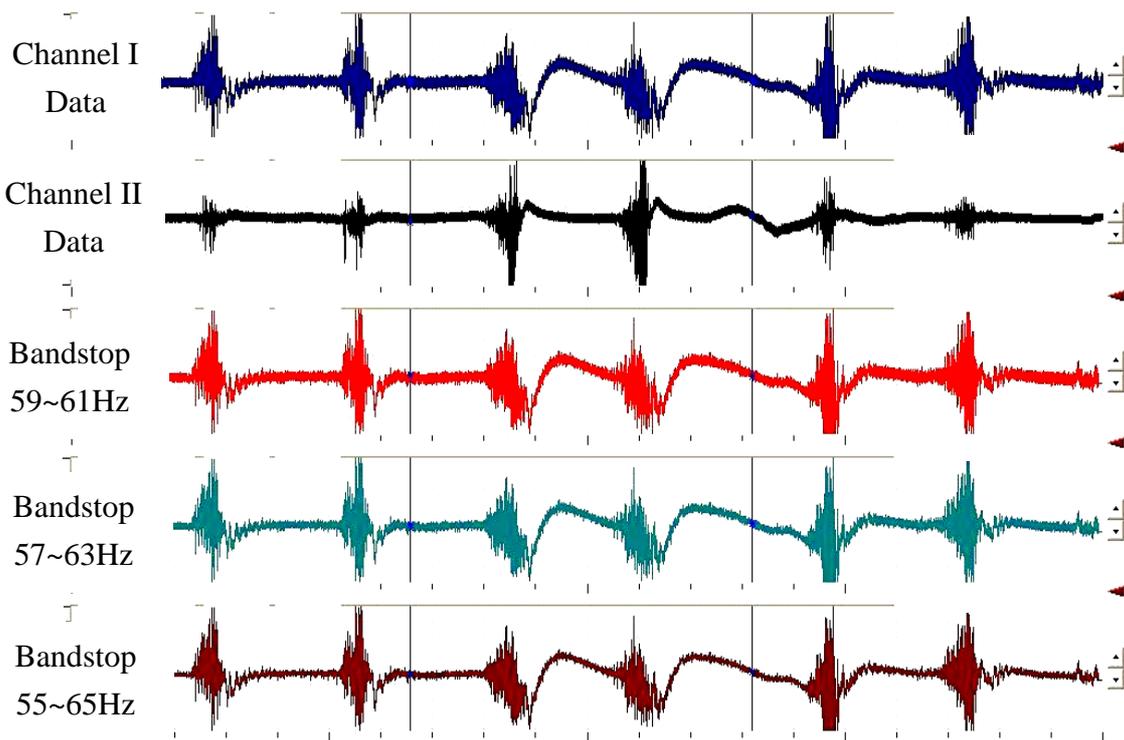
(e) 五號實驗者

圖 3.3 五位實驗者的帶通濾波器輸出波形圖：(a) 一號實驗者, (b) 二號實驗者, (c) 三號實驗者, (d) 四號實驗者, 和(e) 五號實驗者

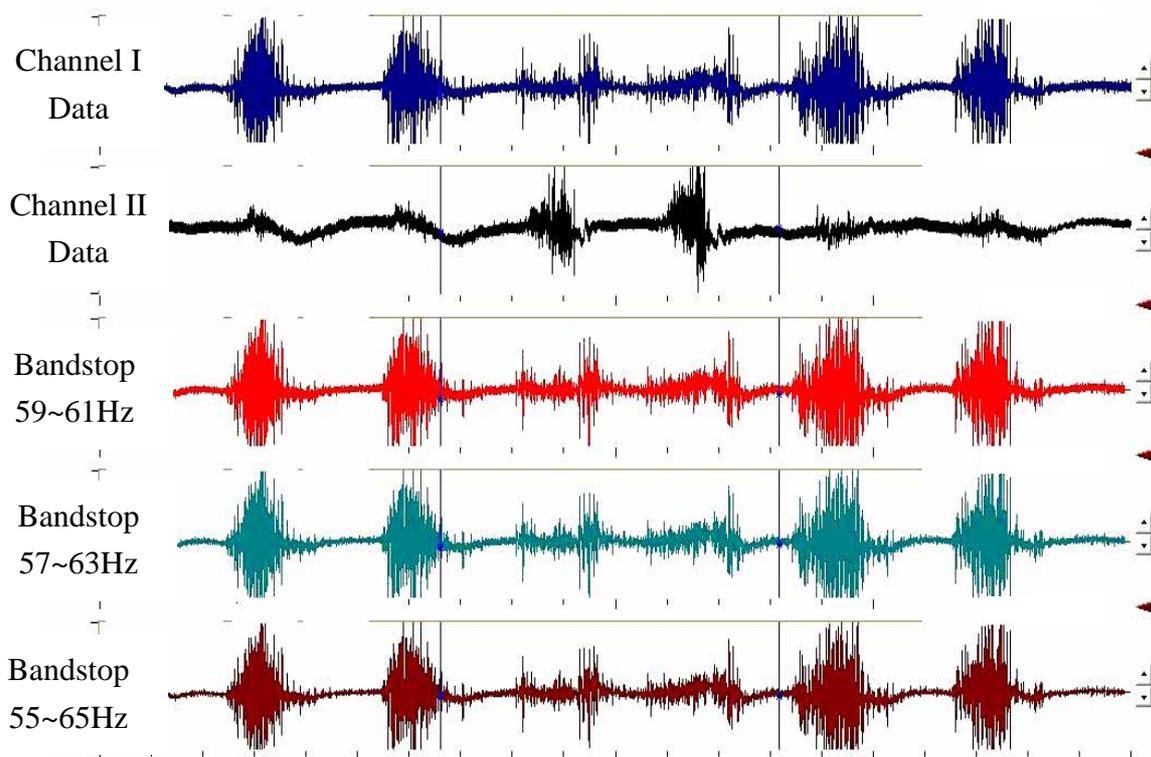
在觀察圖 3.3 的輸出圖形時不難發現，雖然經過帶通濾波器濾波後的輸出訊號已經有不錯的效果，但是 60 赫茲的交流雜訊依然存在，這種交流雜訊會影響我們對 Fire-Point 的判定，因此我們希望能夠用帶拒濾波器予以濾除，同樣地，我們使用實驗的方法決定帶拒濾波器的頻率，實驗中，分別對五位實驗者的 EMG 訊號使用了三種帶拒頻率，分別是 59 赫茲~61 赫茲、57 赫茲~63 赫茲以及 55 赫茲~65 赫茲，最後發覺選擇 55 赫茲~65 赫茲的帶拒濾波器效果最佳，交流雜訊的濾除效果最顯著，如圖 3.4 所示。



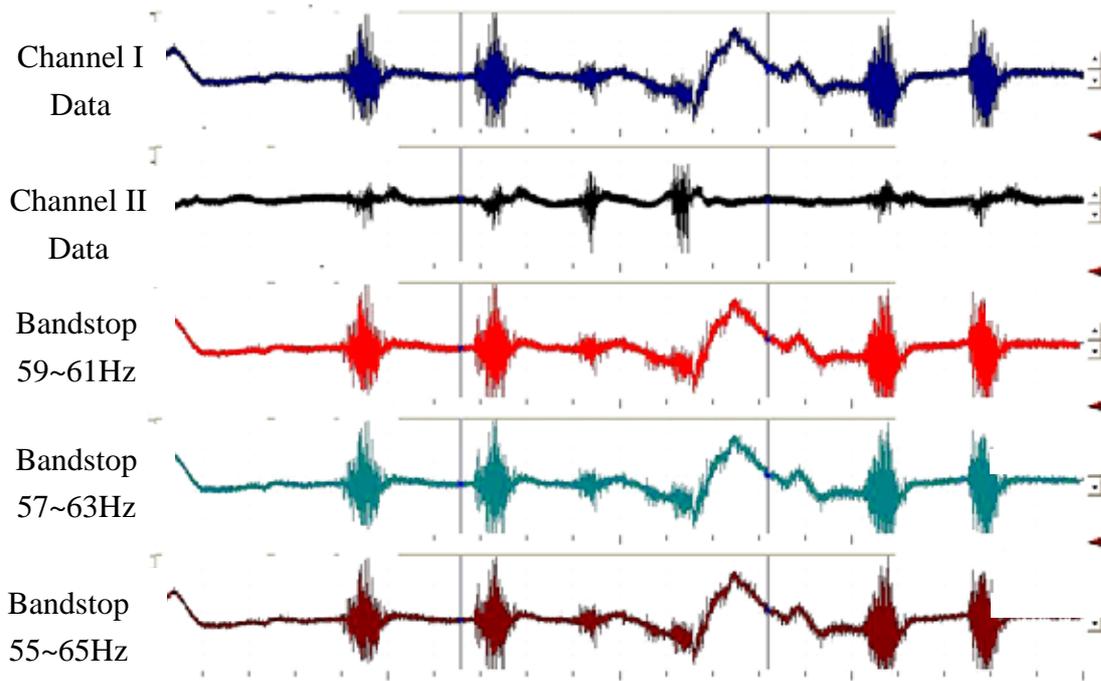
(a) 一號實驗者



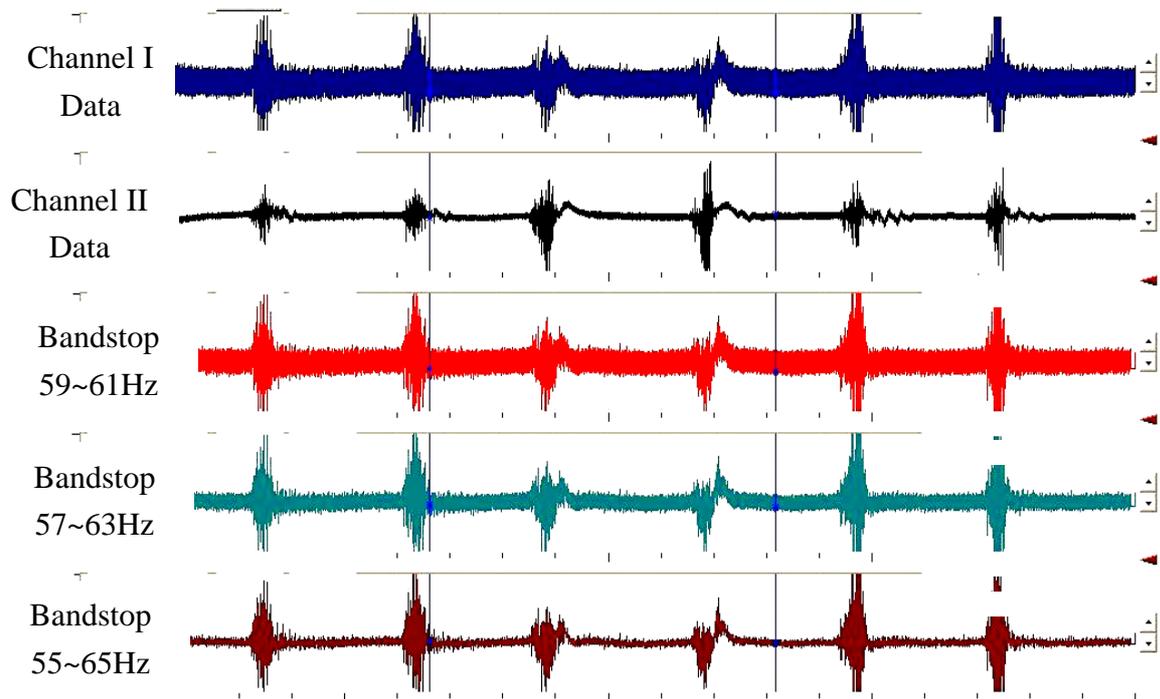
(b) 三號實驗者



(c) 三號實驗者



(d) 四號實驗者

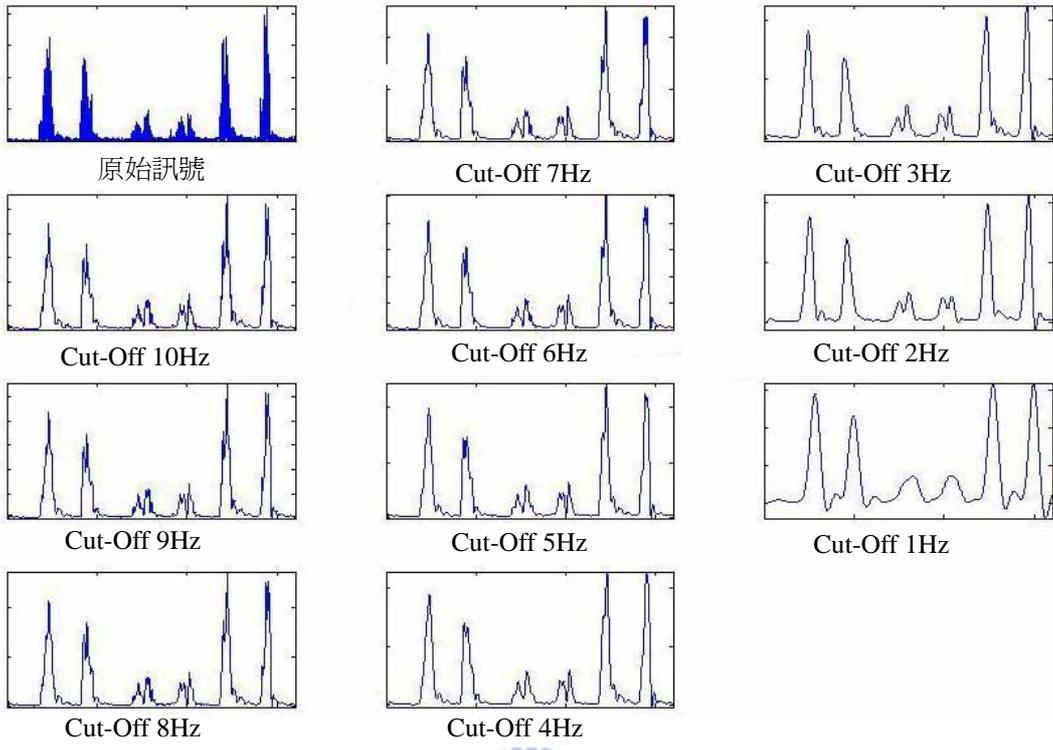


(e) 五號實驗者

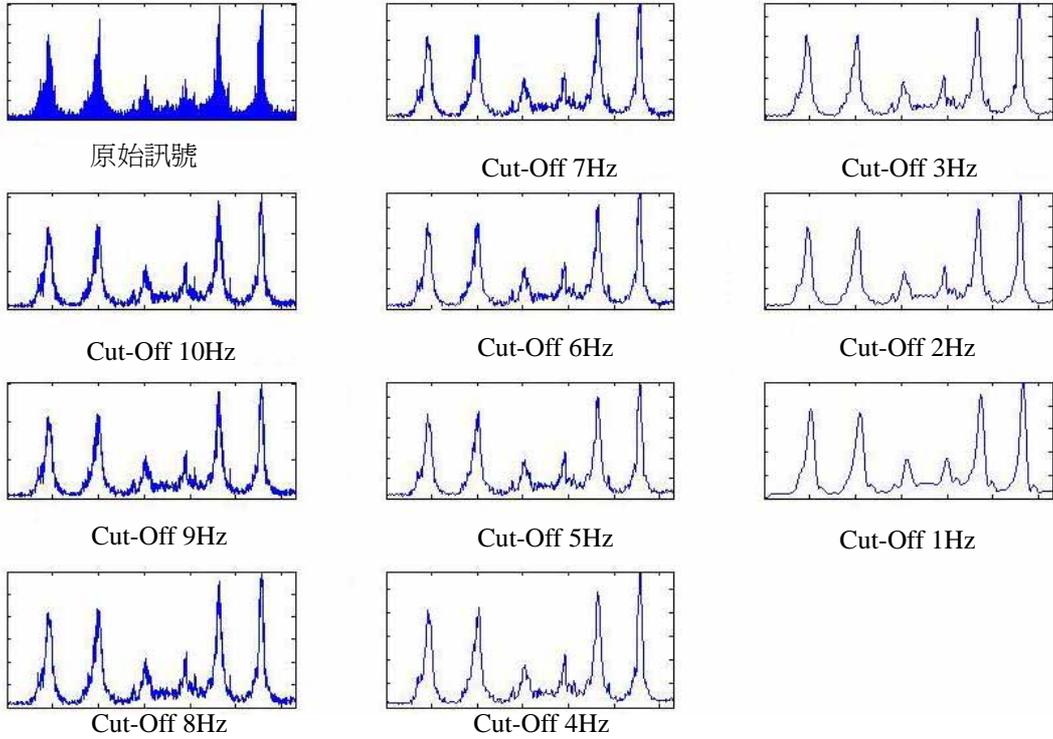
圖 3.4 五位實驗者的帶拒濾波器輸出波形圖：(a) 一號實驗者, (b) 二號實驗者, (c) 三號實驗者, (d) 四號實驗者, 和(e) 五號實驗者

平滑濾波器的截止頻率是一個很重要的參數，如果截止頻率選擇太高會導致平滑處理後的波形過於尖銳，如此便失去了平滑濾波器的意義了，相反地，如果選擇的頻率過低，平滑處理後的肌電波可能會失去我們所想要的重要訊息，因此如何找到適當的平滑濾波器截止頻率是一個相當重要的課題。要找出適當的截止頻率其實也不是沒有線索可循，因為我們的目的是要藉由肌電波來偵測肌肉的運動，而人類手部的肌肉運動頻率大抵上是不會超過 10 赫茲，因此我們可以將肌電波分別透過截止頻率為 10 赫茲以下的平滑濾波器來濾波，觀察不同截止頻率的輸出狀況，以決定所需要的截止頻率，並且為了顧及不同使用者之間肌電波的差異，我們將五個使用者的 EMG 訊號經過相同的處理，然後觀察個別的狀況，經過實驗後的輸出波形如圖 3.5 所示。由結果可以發現，平滑濾波器的截止頻率大約在 3 赫茲左右較為適合，這個結果也跟 Winter 的理論不謀而合[25]，根據 Winter 的理論 Smooth 濾波器的截止頻率大約是在 3~6Hz 為最佳值。

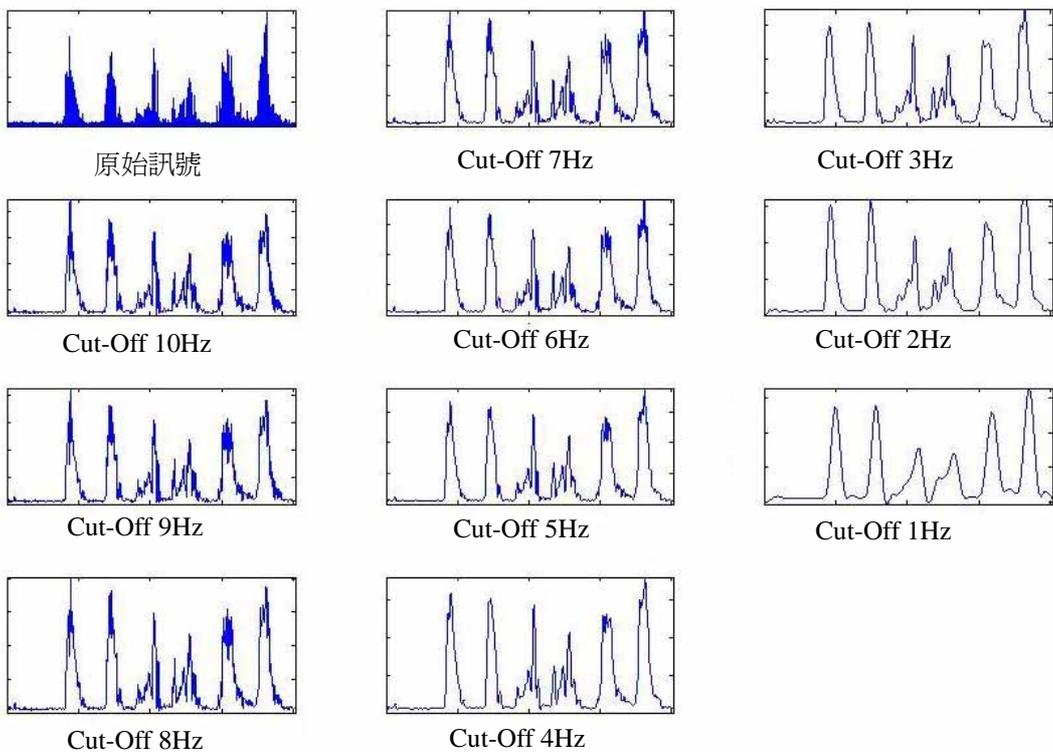
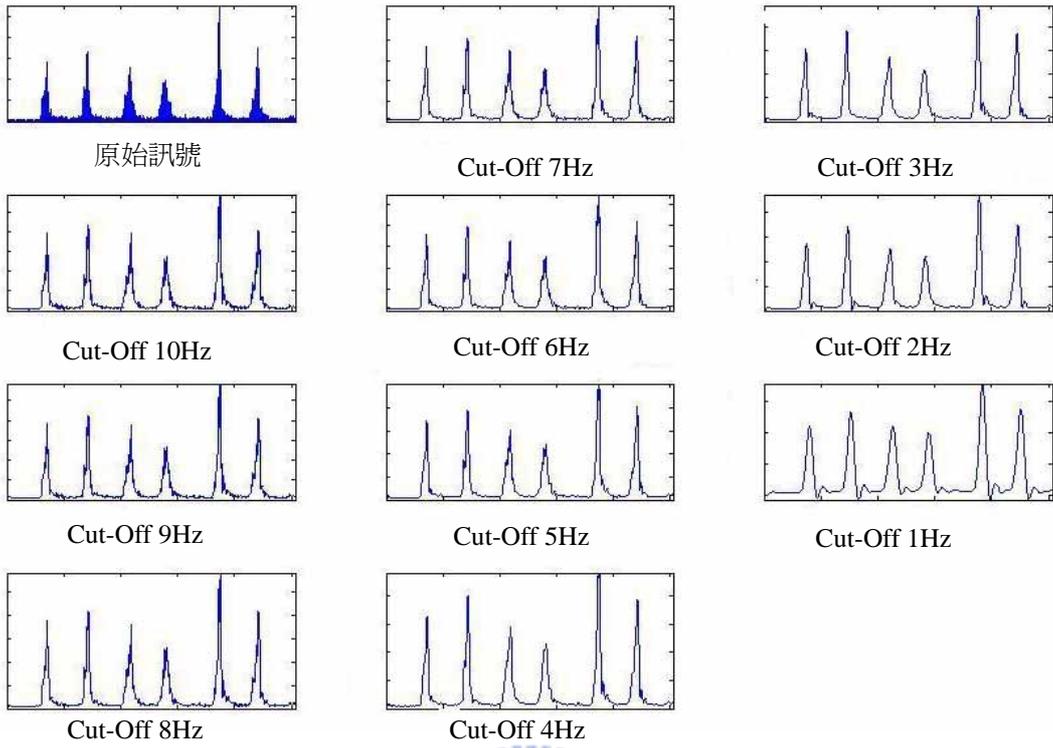




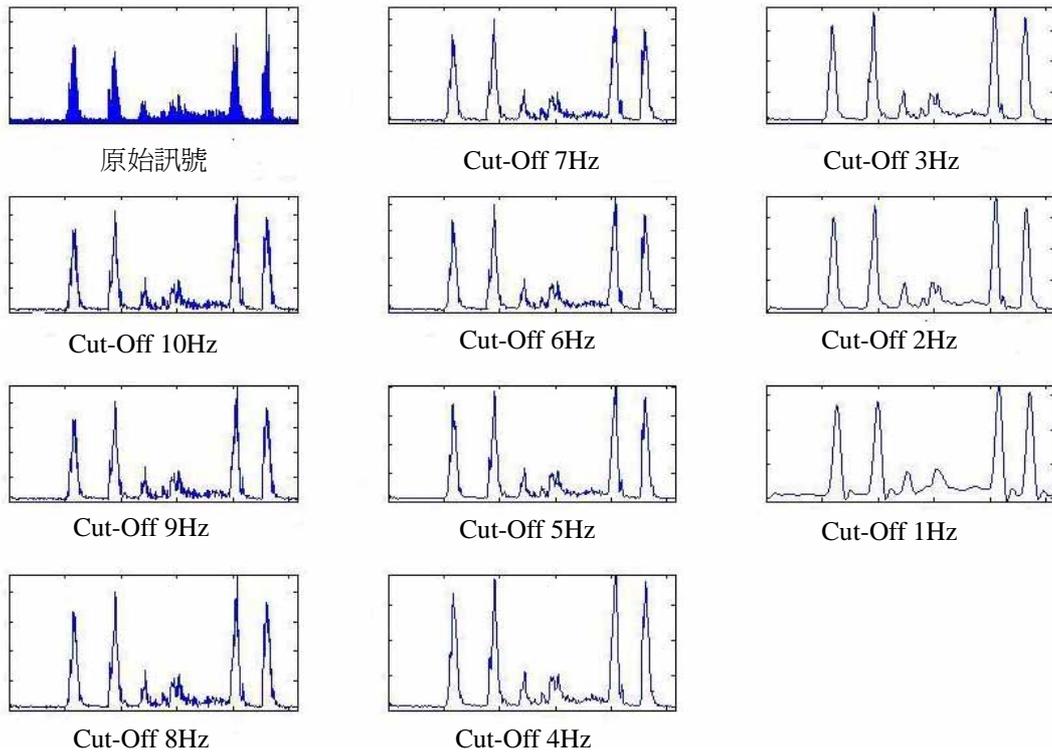
(a) 一號實驗者



(b) 二號實驗者



(d) 四號實驗者



(e) 五號實驗者

圖 3.5 五位實驗者伸指肌的肌電波分別經過十種不同截止頻率的平滑濾波器濾波後的圖形：(a) 一號實驗者, (b) 二號實驗者, (c) 三號實驗者, (d) 四號實驗者, 和 (e) 五號實驗者