

影響人體脈搏的因子與昆蟲心動周期的觀察

臺北市中山女高 生物科 蔡任圉

Introduction-課程簡介

本課程模組透過測量人體脈搏，作為心動週期的生理表徵指標，以呼吸運動、身體姿勢變換、潛水反射等因素，探討各項因子對人體脈搏週期的調節作用。測量脈搏所記錄的數據，可與造價昂貴的生理訊號記錄儀所記錄的數據比較，例如可監測人體呼吸與脈搏的儀器—Power Lab (ADInstrument, USA)，透過兩種量化方式的數據比較，可與學生討論造價昂貴的儀器與簡單的測量方法，兩者的優、缺點，以討論研究工具在科學研究中的功能與角色。

另可進行蟑螂或其他昆蟲心臟運動的觀察，並探討溫度、餵食糖液兩項因子對昆蟲心動週期的效應。昆蟲屬於開放式循環的動物，若能另以閉鎖式循環的實驗動物，進行各項因子影響心動週期的相關探討，就可比較開放式與閉鎖式循環的動物，其維持循環系統恆定之機制的異同。本文介紹以人體為實驗動物(屬閉鎖式循環)，探討各項因子對心動週期的效應，不但易操作，效果明顯，可應證生物課所學，也能與昆蟲的心動週期性質比較，建立循環系統調節機制的整體概念，例如我們曾比較姿勢改變對蟑螂與人體心動周期的效應(高與蔡，民103)，可發展成探究性的實驗活動，或作為生物課程的延伸補充。

一、認知目標

- (一)、解人體心臟與循環系統的相關特性
- (二)、瞭解環境因子對人體循環系統的影響
- (三)、瞭解人體循環系統在生理恆定中的角色
- (四)、比較開放式與閉鎖式循環系統的異同

二、技能目標

- (一)、熟習實驗的流程、實驗設計與科學過程技能
- (二)、藉由團體合作方式，學習分工合作的技巧與相互協調、支援的能力

三、情意目標

- (一)、養成愛護生命的態度
- (二)、藉由互相分享觀察與實驗成果，培養欣賞他人努力與能力的習慣，進而學會尊重周遭的生物

Knowledge-背景知識

一、人體的心動周期

(一)、簡介

心臟每分鐘搏出的血量(毫升/分鐘)，稱為心輸出量(cardiac output)。心輸出量可由心搏量(stroke volume)和心跳率(heart rate)的乘積獲得。因為心搏量是心臟每次搏出的血液容積(毫升/次)，而心跳率為心臟每分鐘搏動的次數(次/分鐘)。換言之，只要測得動物血液循環時，心搏量和心跳率的數據，就可求出心輸出量。

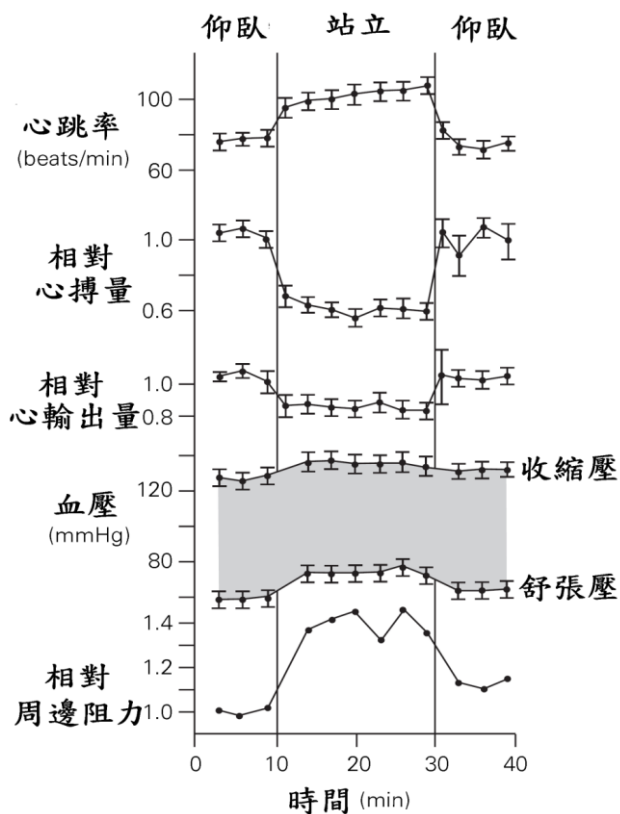
(二)、呼吸對人體心動週期的效應

人體心動週期受外在與內在環境的調節。例如：在人體吸飽氣後憋氣時，因肺泡漲大，刺激迷走神經，進而抑制了心跳率；另一方面，肺泡皮膜上的微血管網受到壓迫，使肺循環的血液無法順利流通。同樣的，在盡力呼氣後再憋氣時，因肺臟縮小造成肺泡塌陷，同樣使得微血管網受到壓迫，血液亦無法順利流通。在上述兩種情形下，因肺循環的回心血減少，使心臟的輸出(心輸出量)降低，此時心跳率下降，以因應血液不足的情形。

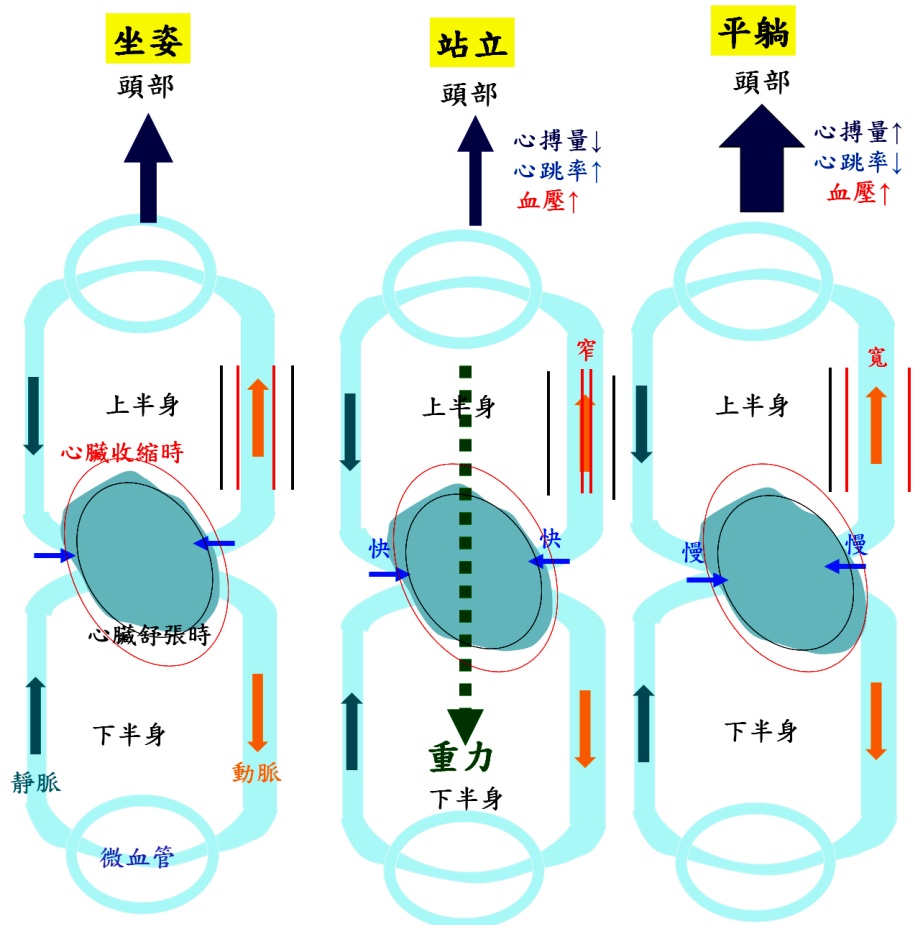
(三)、姿勢改變對人體心動週期的效應

身體的姿勢也會影響心跳週期，以維持腦部的血液供應。例如在平躺後上半身突然起身，或是蹲下時突然站起(圖一)，都會因血液流向下肢，同時回心血減少，使心搏量下降，造成心輸出量下降，這些情形使心臟附近的血壓受器(主動脈與頸動脈上的血壓受器)偵測到血壓下降，透過交感神經的反射作用，使心跳率增加、血管收縮，使得血壓回升，以維持血壓的恆定。人體屬於閉鎖式循環(closed circulatory system)，血壓較開放式循環(open circulatory system)的動物為高，且運輸效率較佳，在姿勢改變時，可快速調節循環系統的生理反應。

當人體姿勢由坐姿轉變成立姿時(圖二)，由於重力的拉力，造成回心血減少，進而使得心搏量被動地下降，此時為了避免頭部缺血，心跳率主動地增加，但是由於心臟在人體循環系統中所佔的體積小，因此所能做出的改變並不大，心輸出量仍略微減少，此時閉鎖式循環動物遍布全身的血管就扮演了重要的角色，血管增加了其收縮程度，使得血壓升高，讓血液流速加快，讓頭部能及時獲得足夠血量。而當人體由坐姿轉為平躺時，由於躺姿有利血液回流，此時回心血增加，心搏量也就被動地增加，此時為避免上半身獲得過多血量，心跳率會主動地減少，血壓也會減少，減緩血液流速。



圖一 人體姿勢改變時，心臟與血壓生理表現的改變情形(修改自 Smith, et al., 1970)。



圖二 重力方向改變時對人體循環系統的調節作用示意圖。

(四)、潛水反射對人體心動週期的效應

外界的刺激亦會調節心跳率，例如將沾濕的毛巾蓋於臉上，會使心跳率下降(Bradycardia)，這個反射稱為潛水反射(Diving Reflex)，常見於海洋哺乳類。當這些動物潛水時，其呼吸終止，心跳率、代謝率下降，以節省氧氣的消耗，但人體也存在著這種反射，部分科學家因這個原因與其他理由，提出水猿理論(The Aquatic Ape Hypothesis)(伊蓮·摩根，2005)，認為人類過去曾有一段時間是行水生或半水生生活的，但這個理論仍證據不足，不被大多數科學家接受。

在臉部浸入比體溫低的水中時，屬於副交感神經系統的三叉神經(Trigeminal nerve)中的眼神經(Ophthalmic branch)與上頷神經(Maxillary branch)的冷受器受到刺激，進一步激發迷走神經的運動神經元(Vagal motoneurons)，使心跳速率降低(Shattock and Tipton, 2012)。

二、昆蟲的心動周期

(一)、為何選用蟑螂作為實驗動物

高中生物實驗以水蚤作為觀察心跳週期的實驗動物，其身體透明，在顯微鏡下可觀察心臟跳動，進而探討溫度因子對其心跳率的影響。該實驗所收集的數據難以精準，這是因為水蚤具有許多缺點，例如：個體小且需置於水中，造成操作不易；需於顯微鏡下進行觀察，操作顯微鏡的能力影響實驗的成果；探討溫度因子時不易維持恆溫(介質過小)；對環境要求高而不易飼養；除溫度因子外，較難探討其他因子的作用等。

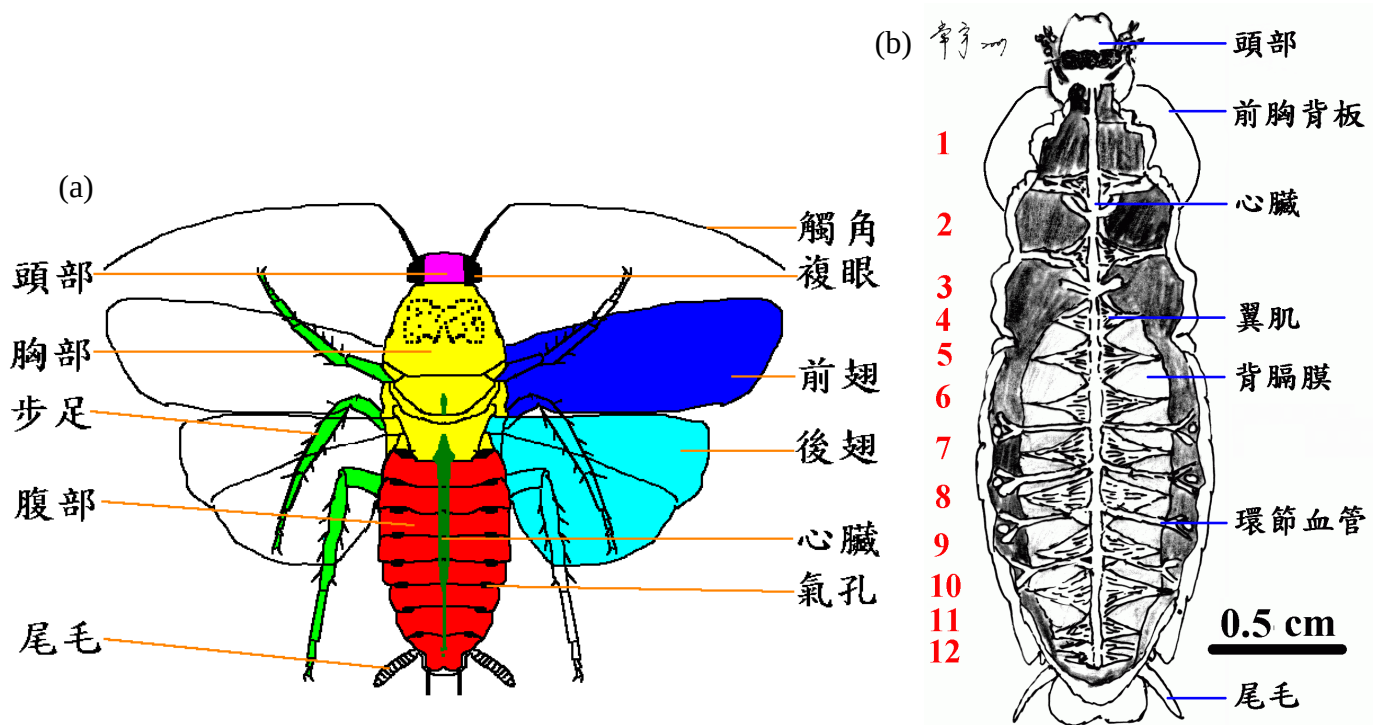
本實驗課程利用常見的昆蟲—美洲蟑螂(American cockroach, *Periplaneta americana*)作為觀察心跳活動的實驗動物，其生理反應明顯且易觀察，可透過肉眼或解剖顯微鏡直接進行心跳週期的觀察，並不需要解剖蟲體、殺死生命，可幫助學生建立基本觀念與練習實驗操作技巧。

美洲蟑螂為家家戶戶常見的昆蟲，容易捕捉，容易飼養。成蟲的體長約3至4公分，體積較大而易操作，可透過肉眼或放大鏡直接進行心跳週期的觀察。蟑螂心跳速率適中(約70~120次/分鐘)，容易測量，適合用於探討溫度或其他因子，對其心跳週期的影響。

(二)、蟑螂心臟的特性

昆蟲的循環系統屬於開放式循環，心臟位於身體的背側中央，從胸部的背側一直延伸至腹部背側(圖三)。美洲蟑螂心臟共十二節，胸部三節，腹部九節。心臟搏動時，血淋巴(hemolymph)在心臟中向前推進，將血淋巴推向頭部，再由頭部流至胸部、腹部等處。蟑螂的循環系統只有一條血管，位於背側稱為背血管，其中膨大且具規律性收縮能力的構造稱為心臟，而身體的其他部位皆不具有微血管，故血淋巴直接在體腔中流動，且相較於閉鎖式循環的動物，其血流速率較慢。

昆蟲的心臟只由一層心肌細胞構成，是一個非常脆弱又敏感的器官，在解剖時，心臟常常會停止搏動，所以要觀察心臟的搏動，必須在不傷害蟲體的情況下進行。蟑螂的背板為透明的構造，所以可在不干擾蟑螂生理活動的情況下，觀察並測量心搏的情形。此外，蟑螂的心臟由複雜的神經與內分泌系統支配，對化學與機械的刺激非常敏感，所以在探討各項因子對心搏活動的調節作用，蟑螂是一個非常適合的實驗動物。



圖三 蟑螂心臟的位置與分佈示意圖。(a)背面觀。(b)腹面觀，去除內臟後(數字為心臟編號)。

(三)、溫度對蟑螂心動週期的效應

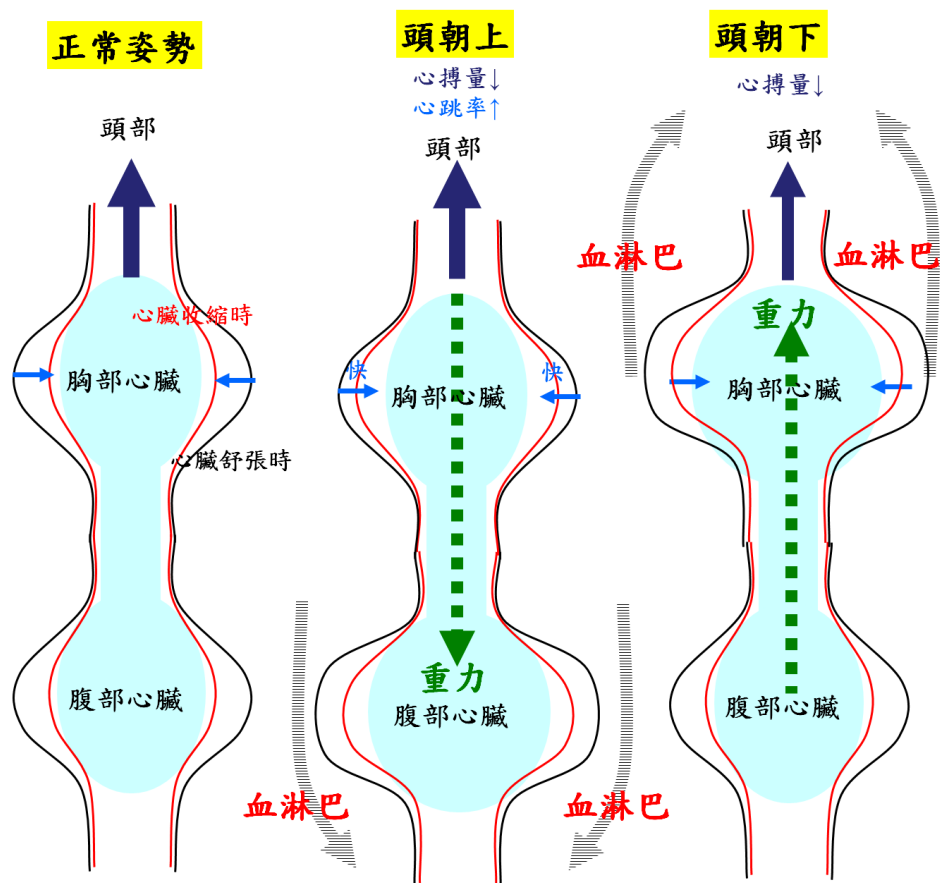
水蚤與蟑螂的心跳率皆受溫度的影響，這是因為在適當範圍內，溫度的增加可增加化學反應的速率，進而增加神經放電、肌肉收縮的速率。

蟑螂進食時(餵食糖液)，心跳率會增加，由於心跳率的增加可促進血淋巴的循環，增加血淋巴流過消化道的速度，而增加腸胃道內養分擴散至血淋巴的效率(昆蟲為開放式循環)，所以在餵食糖液時，不但口器會產生吸吮反射，此時心臟的心跳率亦會增加，為吸收養分預作準備，這與人類聞到食物香味，胃液就開始分泌的道理類似。

(四)、姿勢改變對蟑螂心動週期的效應

姿勢的改變也會影響蟑螂的心動週期(圖四)。當美洲蟑螂頭朝上站姿時，由於重力方向不利血淋巴由心臟前方搏出，反而將血淋巴滯留於心臟中，此時舒張時間減少，心跳率增加，使頭部能及時獲得足夠的血淋巴。頭朝下站姿時，心搏量減少，進而減少心輸出量，此時血淋巴受重力影響，能順利流至頭部，為避免頭部獲得過多的血淋巴，因此心搏量、心輸出量皆減少。

將美洲蟑螂與人體的循環系統的參數變化整理成表一進行比較，同樣是頭朝上站姿時，受重力的影響，兩者的心搏量皆會被動地減少，為避免頭部缺血，人體會增加其心跳率，但是心搏量減少的幅度較大，因此心輸出量仍下降，此時人體主要靠增加血壓來幫助血液循環維持恆定；而美洲蟑螂雖然心搏量減少，仍可透過心跳率的增加，而維持了心輸出量的恆定，另外，由於美洲蟑螂循環系統只有心臟及少量之環節血管，較無法調控全身性的血壓。由上述可歸納出，屬閉鎖式循環的人體主要透過調節血管之血壓來因應體位變化，而屬開放式循環的美洲蟑螂則是由心臟本身進行主動調節。



圖四 重力方向改變時對美洲蟑螂循環系統的調節作用示意圖。

表一 體位改變時人體(閉鎖式循環系統)與蟑螂(開放式循環系統)之比較。

項目		心跳率	收縮時間	心搏量	心輸出量	周邊血管阻力	血壓
人體 (閉鎖式循環)	立起後	↑	↑	↓ (回心血↓)	↓	↑	↑
	平躺後	↓	↓	↑	↑	↓	↓
Cybulski et al., 2009 MacWilliam, 1933							
蟑螂 (開放式循環)	頭朝上 立起	↑	—	—	—	?	?
	頭朝下 立起	—	—	↓	↓	?	?

(五)、味覺刺激對蟑螂心動週期的效應

蟑螂的小顎鬚(maxillary palpus) 對糖溶液亦很敏感，碰觸到糖溶液會引發攝食行為，口器中含有醣受器(carbohydrate chemoreceptor)，在吸食糖液時，透過口器上的受器使心跳速率增加。

一般而言，昆蟲味覺受到食物的刺激會引起攝食反射，同時增加循環器官和消化管的運動，及消化器官的血流量，以增加食物吸收的效益。例如：葡萄糖對蟑螂口器上味毛的刺激會快速增加心輸出量，以增加通過腸道表面的血淋巴量，促進葡萄糖從腸道內擴散至體腔內的速度；此情形下蟑螂心輸出量的增加，主要由於心跳率的增加，與心搏量沒有顯著的改變，可能是因為葡萄糖吸收的效率與血淋巴流動的速度有關，而與血淋巴流動的力量關係較小，故心搏量受味覺刺激的影響不具有顯著性差異。

Experiment-實驗練習(封閉式實驗)

一、測量人體脈搏的實驗流程

- (一)、將學生進行分組，每組約四人，其中一人為受試者，一人負責把脈，一人負責計時，一人負責記錄。計時者利用碼表進行計時(圖五)。
- (二)、受試者以坐姿閉眼的狀態放輕鬆，把脈者持續進行脈搏的計算。
- (三)、計時者每十秒鐘報時一次，記錄者每十秒鐘記下把脈者報出的脈搏次數(紀錄於表二)，只計算十秒內的脈搏次數，不需累加。
- (四)、依上述方法計算受試者的平穩脈搏約 20 秒(記錄 2 次)。
- (五)、接著改變受試者的狀態或姿勢，也就是所探討的因子開始作用，同時進行記錄 20 秒(記錄 2 次)。可探討的因子如下：
 - 1.呼吸運動的效應：吸氣後憋氣、呼氣後憋氣等。
 - 2.改變姿勢的效應：由蹲姿或躺姿立起(圖六)、由立姿或坐姿蹲下或躺下、以躺姿抬起雙腳(圖七)等。
 - 3.潛水反射的相關探討：臉上覆蓋濕紙(圖八)、臉上覆蓋乾紙、脖子覆蓋濕紙等，其中覆臉的紙預留孔洞，供呼吸所需。
- (六)、隨後恢復正常的狀態，繼續測量受試者的脈搏約 30 秒(記錄 3 次)。
- (七)、受試者輪流擔當，重複以上步驟。
- (八)、將所有紀錄之脈搏數據計算成心跳率(單位為：次/分鐘)繪製成圖，比較改變受試者的狀態或姿勢時的心跳率，與前後狀態的差異。



圖五 測量人體脈搏(心跳率)時的任務分配照片。

一人為受試者，一人負責把脈，一人負責計時，一人負責記錄。

表二 測量人體脈搏的實驗數據記錄表。

時間		0-10 秒	11-20 秒	21-30 秒	31-40 秒	41-50 秒	51-60 秒	61-70 秒
處理		正常狀態		因子作用		恢復正常狀態		
心跳率 (次/10 秒)	1							
	2							
	3							
	4							

註：表中的因子作用代表執行所探討的因子，例如：吸氣後憋氣、呼氣後憋氣、由蹲姿或躺姿立起、由立姿或坐姿蹲下或躺下、臉上覆蓋濕紙、臉上覆蓋乾紙、脖子覆蓋濕紙等因子。



圖六 探討改變姿勢對人體心動周期的效應時，由蹲姿立起的過程照片。



圖七 探討改變姿勢對人體心動周期的效應時，由躺姿抬起雙腳的過程照片。



圖八 進行潛水反射的相關探討時，臉上覆蓋濕紙的過程照片。紙片預留孔洞供呼吸所需。

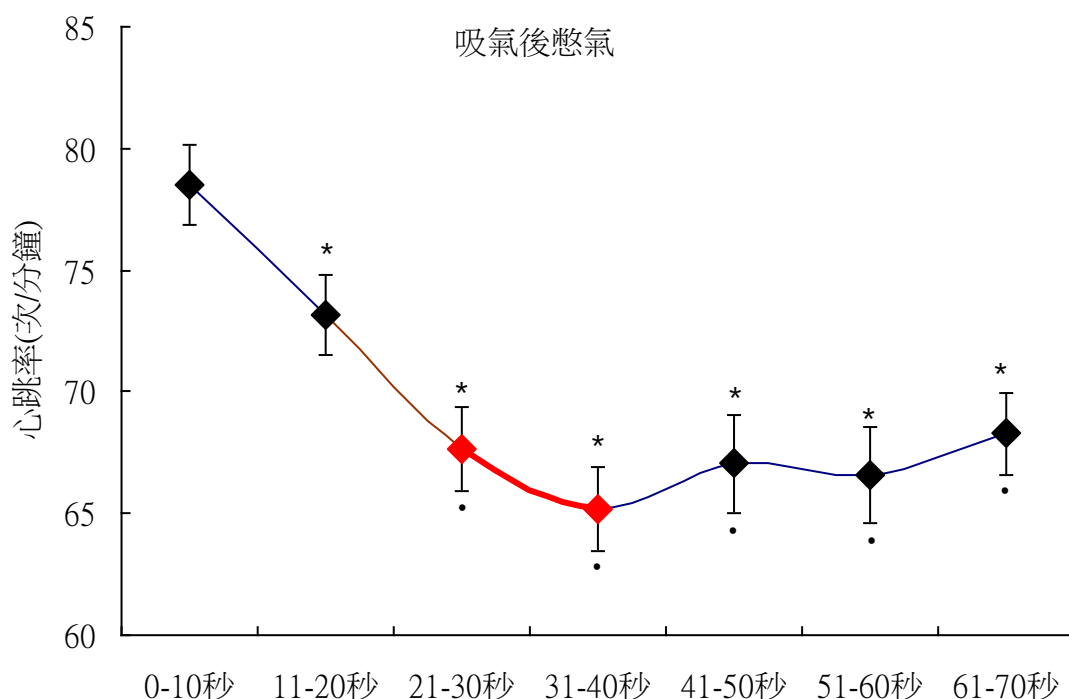
二、人體脈搏實驗結果範例

在吸氣後憋氣期間心跳率下降，且恢復正常呼吸後，心跳率並不會立即恢復(圖九)，若以生理訊號紀錄儀測量人體脈搏，則有類似的現象(圖十)，在吸氣後憋氣期間脈搏振幅下降，時間間距增加(心跳率下降)。

在改變姿勢的效應方面，以躺姿將腳高舉，或以立姿突然蹲下，心跳率下降且恢復正常姿勢後心跳率很快的恢復(圖十一)。若以躺姿坐起，或以蹲姿突然起立，心跳率沒有改變，但恢復姿勢後心跳率反而下降(圖十二)，但此實驗的結果易受操作過程的影響，若只計算其中一個班級的實驗數據，卻發現以躺姿坐起，或以蹲姿突然起立時期間，心跳率增加(圖十三)，較符合預期。

針對人體潛水反射之引發因子的探討，我們發現只要有觸覺刺激(例如乾紙覆臉，圖十四)就可降低心跳率，臉覆濕紙(圖十五)或脖子覆濕紙(圖十六)，也都可降低心跳率，其中臉部刺激的效應較為持久，即使恢復成未覆蓋外物，心跳率仍未恢復，但脖子覆濕紙刺激的效應較為短暫，恢復成脖子未覆蓋外物，心跳率在短期內即恢復。若以生理訊號紀錄儀測量人體脈搏，亦可紀錄到潛水反射的現象(圖十七)，在臉覆濕紙期間脈搏振幅下降。

從實驗結果中我們也發現，許多數據指出在操作變因還未發生作用時，心跳率可能先發生變化(第 11 至 20 秒時)，包含圖九、圖十一、圖十二、圖十四、圖十五、圖十六，這可能是心理預期因素所致，此現象值得繼續探究。

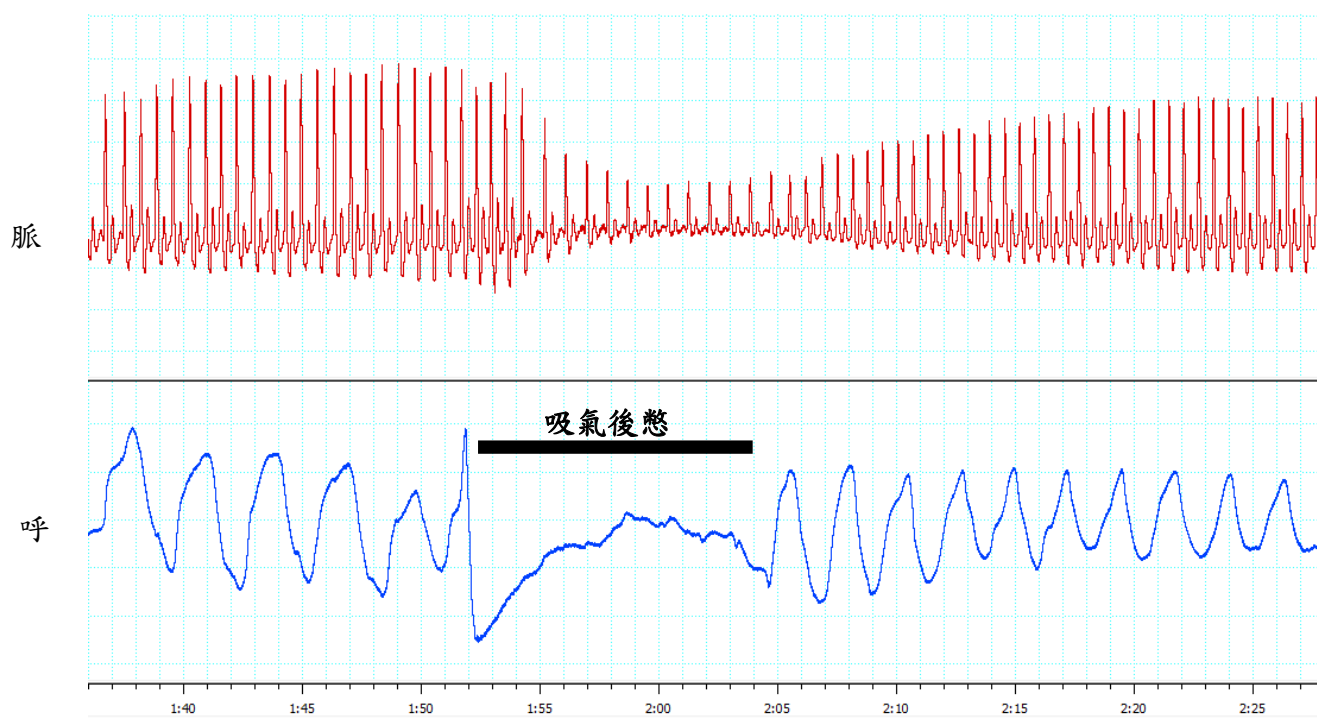


圖九 吸氣後憋氣對人體心跳率的效應(平均±標準誤，取樣數=51)。

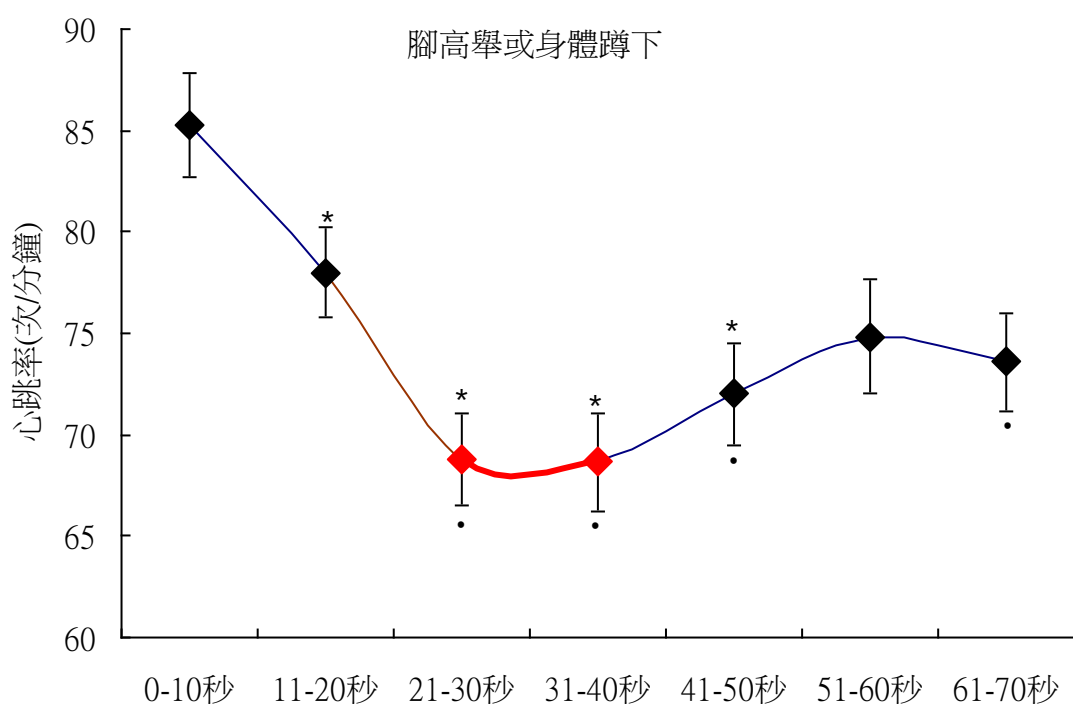
第 21 至 40 秒期間受試者進行吸氣後憋氣(以紅色標註)。

與 0-10 秒的心跳率平均值相比(單尾配對 t 檢定)：*： $p < 0.05$ 。

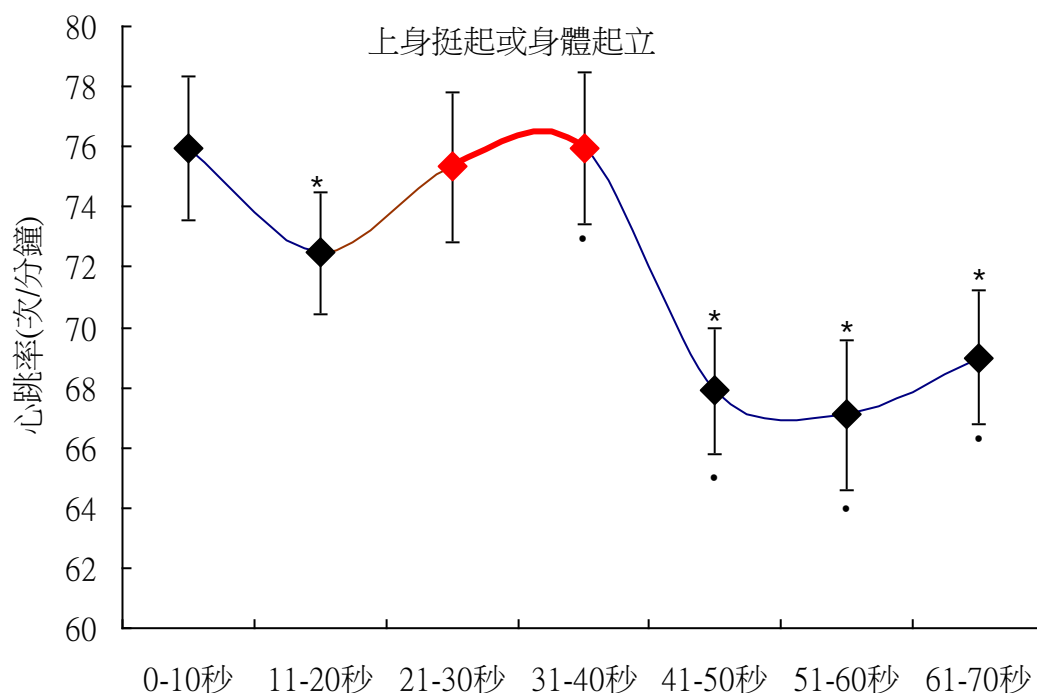
與 11-20 秒的心跳率平均值相比(單尾配對 t 檢定)：•： $p < 0.05$ 。



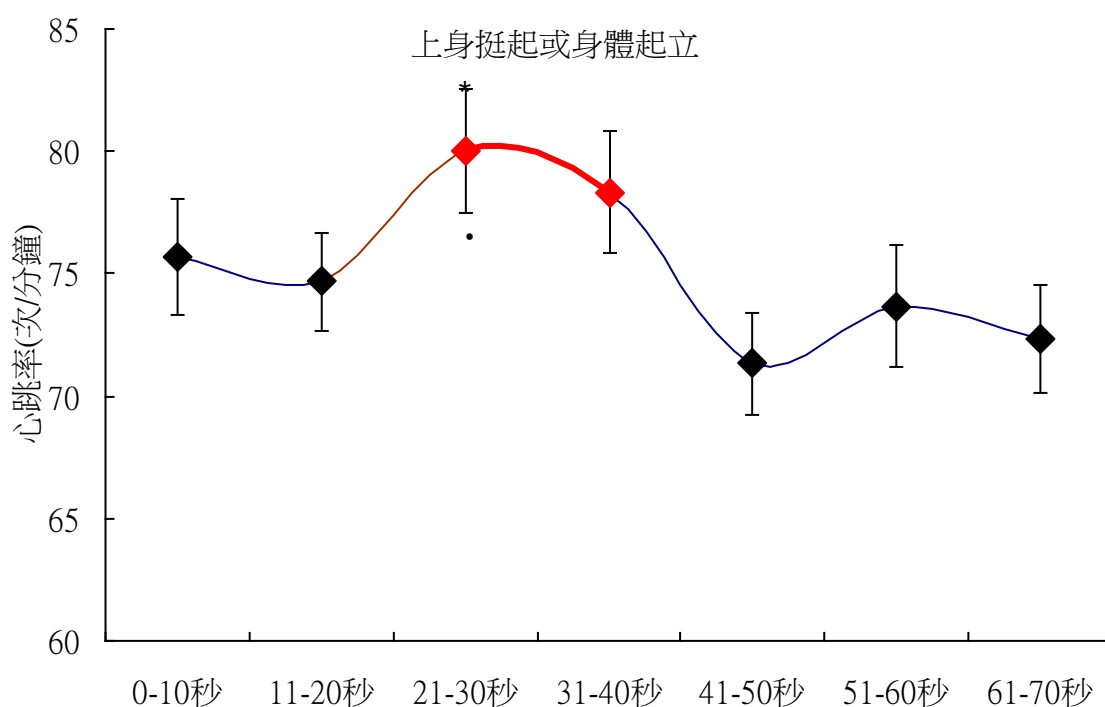
圖十 利用生理訊號紀錄儀，探討吸氣後憋氣對人體脈搏紀錄的效應。
圖中上方為脈搏紀錄，下方為呼吸運動曲線向上代表吸氣，向下代表呼氣)。



圖十一 改變姿勢對人體心跳率的效應(平均±標準誤，取樣數=34)。
第 21 至 40 秒期間受試者進行腳高舉或蹲下(以紅色標註)。
與 0-10 秒的心跳率平均值相比(單尾配對 t 檢定)：*： $p < 0.05$ 。
與 11-20 秒的心跳率平均值相比(單尾配對 t 檢定)：•： $p < 0.05$ 。



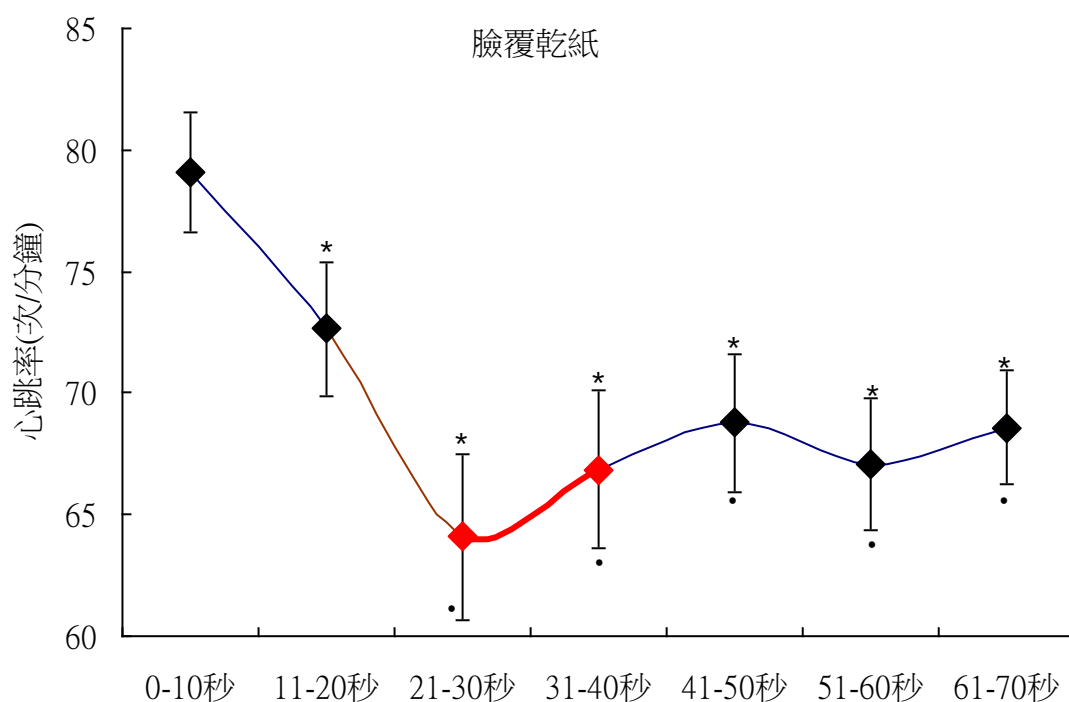
圖十二 改變姿勢對人體心跳率的效應(平均±標準誤，取樣數=38)。
 第 21 至 40 秒期間受試者進行上身挺起或起立(以紅色標註)。
 與 0-10 秒的心跳率平均值相比(單尾配對 t 檢定)：*： $p < 0.05$ 。
 與 11-20 秒的心跳率平均值相比(單尾配對 t 檢定)：•： $p < 0.05$ 。



圖十三 某一班探討改變姿勢對人體心跳率的效應所紀錄數據(平均±標準誤，取樣數=15)。
 第 21 至 40 秒期間受試者進行上身挺起或起立(以紅色標註)。

與 0-10 秒的心跳率平均值相比(單尾配對 t 檢定)：*： $p < 0.05$ 。

與 11-20 秒的心跳率平均值相比(單尾配對 t 檢定)：·： $p < 0.05$ 。

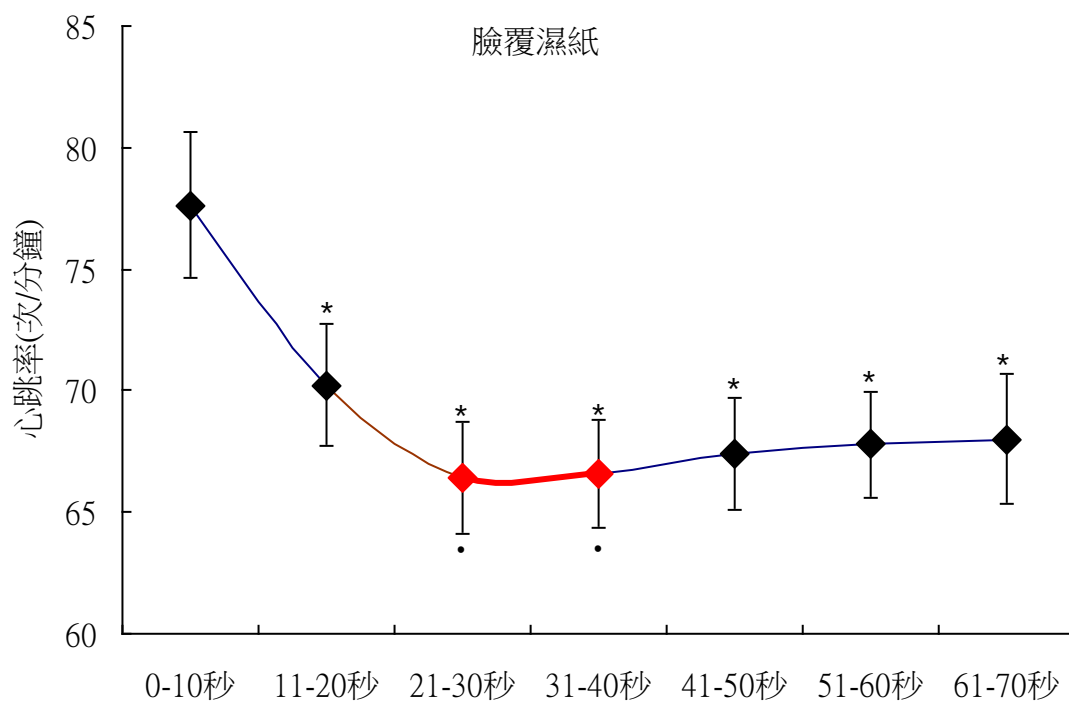


圖十四 探討人體潛水反射相關性質所紀錄的心跳率數據(平均±標準誤，取樣數=28)。

第 21 至 40 秒期間受試者進行臉覆乾紙(以紅色標註)。

與 0-10 秒的心跳率平均值相比(單尾配對 t 檢定)：*： $p < 0.05$ 。

與 11-20 秒的心跳率平均值相比(單尾配對 t 檢定)：·： $p < 0.05$ 。

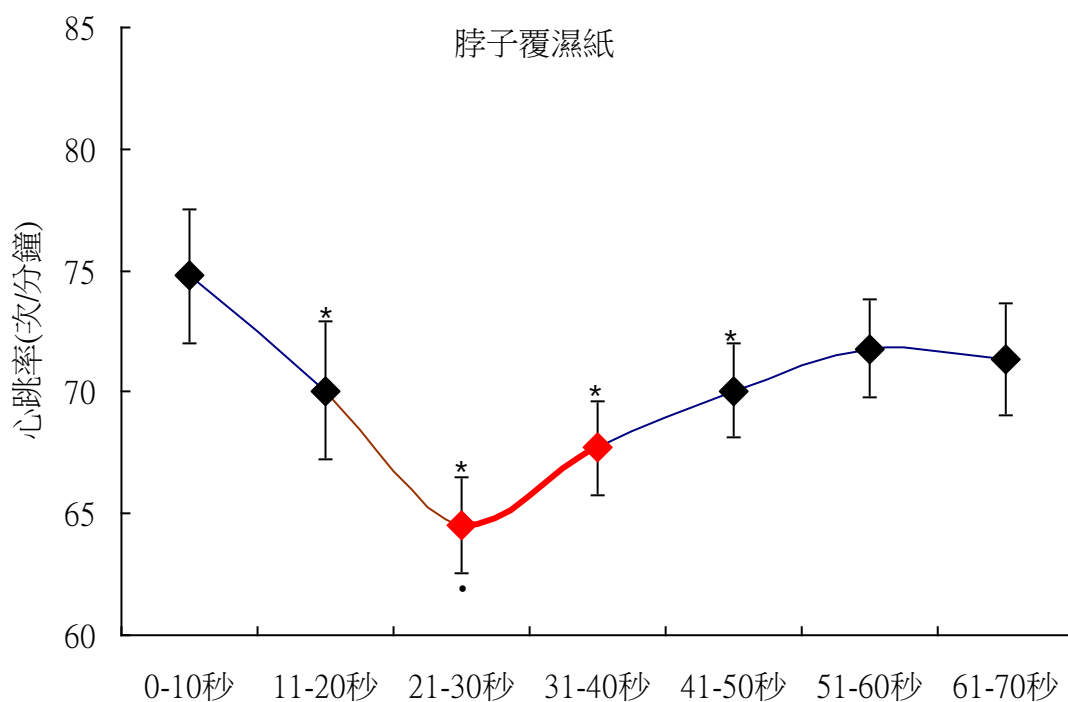


圖十五 探討人體潛水反射相關性質所紀錄的心跳率數據(平均±標準誤，取樣數=30)。

第 21 至 40 秒期間受試者進行臉覆濕紙(以紅色標註)。

與 0-10 秒的心跳率平均值相比(單尾配對 t 檢定)：*： $p < 0.05$ 。

與 11-20 秒的心跳率平均值相比(單尾配對 t 檢定)：•： $p < 0.05$ 。

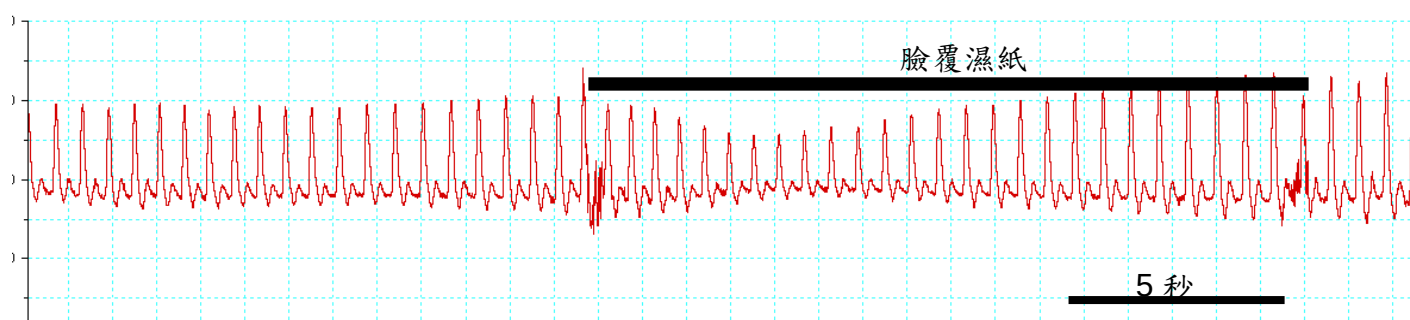


圖十六 探討人體潛水反射相關性質所紀錄的心跳率數據(平均±標準誤，取樣數=28)。

第 21 至 40 秒期間受試者進行脖子覆濕紙(以紅色標註)。

與 0-10 秒的心跳率平均值相比(單尾配對 t 檢定)：*： $p < 0.05$ 。

與 11-20 秒的心跳率平均值相比(單尾配對 t 檢定)：•： $p < 0.05$ 。



圖十七 利用生理訊號紀錄儀，探討臉覆濕紙對人體脈搏紀錄的效應。

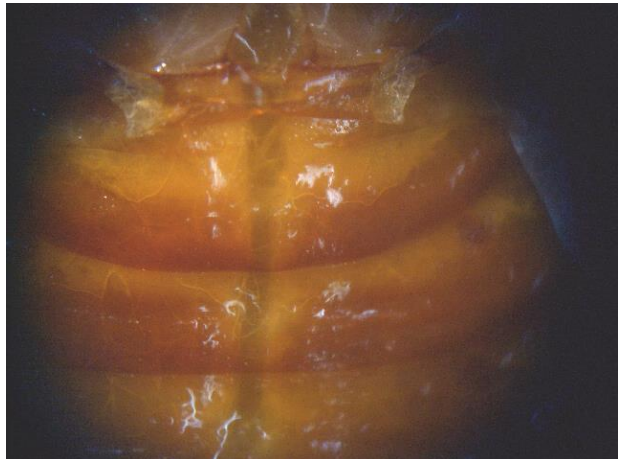
三、測量蟑螂心跳的實驗流程

(一)、麻醉與固定步驟

1. 利用市售蟑螂屋中的貼紙，剪成適當大小(約 3×4 公分)。
2. 將蟑螂低溫麻醉(置於冷凍庫中)，或溺水麻醉(浸於水中)，待其麻醉，將其身上水分擦乾，將蟑螂六足朝下黏於蟑螂屋中的貼紙上。
3. 將蟑螂的翅膀張開，亦黏於兩側的貼紙上(圖十八)，使其背部露出。
4. 背部中央有一條黑線，從胸部延伸至腹部，即為心臟(圖十九 A)。
5. 於解剖顯微鏡下觀察蟑螂心跳週期(圖十九 B)。



圖十八 將蟑螂固定於蟑螂屋貼紙的照片(蔡，民 92)。



圖十九 在解剖顯微鏡下所觀察的蟑螂心臟。

(二)、探討溫度對蟑螂心跳率的影響

1. 於室溫下，計算蟑螂心跳率，測量數次之後，求其平均值。
2. 將蟑螂放置於培養皿(含蓋)之上，培養皿內放入冰塊，控制蟑螂周邊的溫度，使溫度降低到比室溫低 10°C，再測量心跳率數次，求其平均值。
3. 將蟑螂放置於培養皿之上(含蓋)，燒杯內放入熱水，使熱水的蒸汽將蟑螂加熱，使溫度維持比室溫高 10°C，並測量心跳率數次，求其平均值。

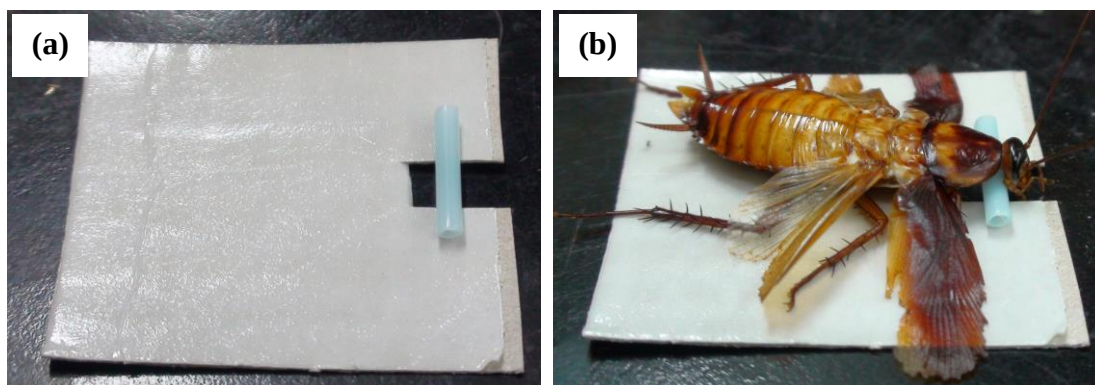
(三)、攝食糖水對蟑螂心跳率的影響

固定方式的教學影片請見：<https://goo.gl/VCZUwX>

1. 將蟑螂屋的貼紙剪出一半圓形或方形缺口(圖二十 a)，並於缺口基部處橫向黏貼一段棉花棒的桿子，以便將蟑螂頭部抬起，露出其口器。
2. 將蟑螂進行麻醉後，黏於蟑螂屋的貼紙上(背面朝上)，將頸部跨於棉花棒桿子上，使口器位於貼紙之缺口處(圖二十 b)。
3. 將蟑螂的六肢與翅膀黏於貼紙有空位之處，使心臟露出。
4. 將蟑螂置於解剖顯微鏡下，於背側的中央，可見一條類似黑線的構造，此構造(背血管)會收縮舒張，即為心臟。
5. 以清水沾濕棉花棒，觸碰蟑螂口器餵食清水，同時測量蟑螂心跳率。

6.隔五分鐘後，以葡萄糖液(濃度高於5%)沾濕棉花棒，再將之觸碰蟑螂口器餵食糖液，直至產生吸吮反射，同時測量蟑螂心跳率。

7.重複上述步驟三次，每次相隔五分鐘。



圖二十 將蟑螂黏於蟑螂屋貼紙的方法。

(a).將蟑螂屋貼紙的一側剪出一半方形缺口，並黏上一小段棉花棒桿。

(b).將蟑螂頸部跨於棉花棒桿子上，背面朝上黏貼於蟑螂屋貼紙上，利用蟑螂屋貼紙的缺口與棉花棒桿，使蟑螂的口器騰空露出。

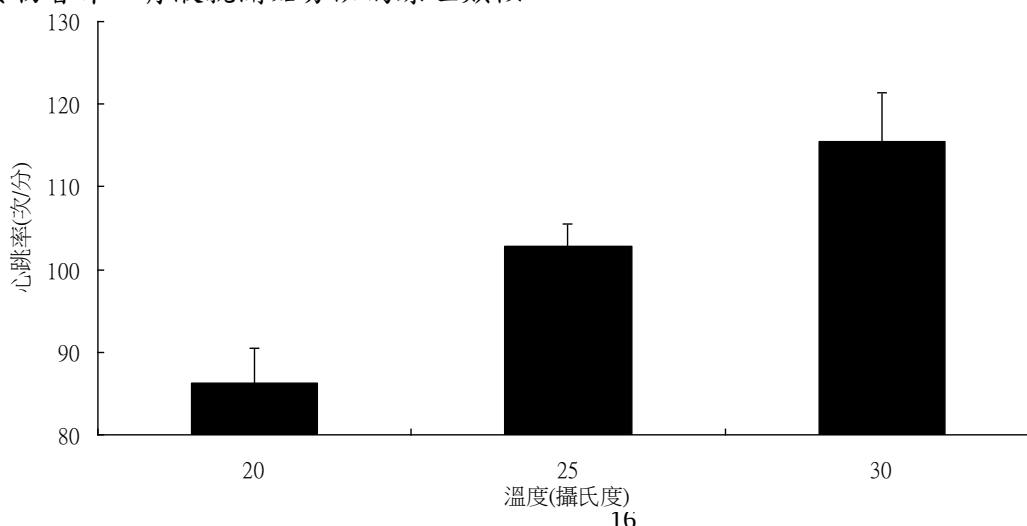
(四)、攝食咖啡對蟑螂心跳率的影響

步驟如(三)，實驗組改為以咖啡溶液沾濕棉花棒，再將之觸碰蟑螂口器餵食，隨後測量蟑螂心跳率。

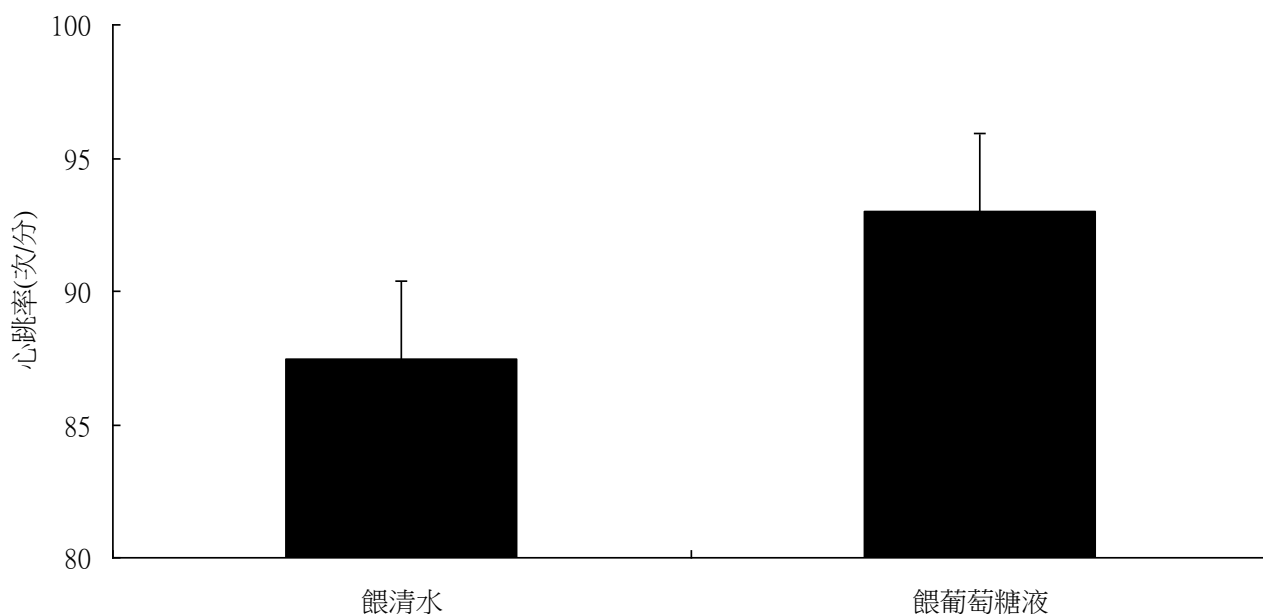
四、蟑螂心搏實驗結果範例

蟑螂在 20℃、25℃ 與 30℃ 的環境中，心跳率有隨溫度增加而增加的現象(圖二十一)，在此三個溫度條件下，其溫度與心跳率呈線性關係，其趨勢線可以 $y = 2.92x + 14.05$ 表示(x:溫度；y:心跳率)，相關係數(R)為 0.997。

蟑螂的口器若接觸到糖水，會引起吸吮反射，所以實驗過程中若有觀察到此反射，代表蟑螂確實受到糖液刺激，其心跳率的實驗結果通常會較明顯。餵食蟑螂糖液時，心跳率會增加(圖二十二)，其意義在於：心跳率的增加可促進血淋巴的循環，增加血淋巴流過消化道的速度，而增加腸胃道內養分擴散至血淋巴的效率(昆蟲為開放式循環)，所以在餵食糖液時，不但口器產生吸吮反射，此時心臟的心跳率亦會增加，為吸收養分預作準備，這與人類聞到食物香味，胃液就開始分泌的原理類似。



圖二十一 不同溫度對心跳率的影響(平均 $\pm$ 標準誤，取樣數=6)(蔡，民 92)。
組別間達統計上顯著差異(單尾配對 t 檢定)。



圖二十二 餵食清水與糖水對心跳率的影響(平均 $\pm$ 標準誤，26 隻蟑螂，68 次實驗)。
達統計上顯著差異(單尾配對 t 檢定)。

Exploration-設計探索(開放式研究)

一、學理與技術探索

請先經初步收集資料後，構思一個與動物循環系統有關的議題，在透過收集相關資料、報導、文獻後，撰寫一篇「主題報告(topic report)」或「回顧與評論(review)」，內容可包含科學學理、技術應用、案例探討，或相關社會福利、倫理、法律議題。

二、科學現象探索

請設計一個人體或昆蟲心動週期相關的實驗，探討某項因子(factor)對心動週期的效應(effect)，並列出操縱變因、控制變因與應變變因，列出所需材料與器材，及實驗設計與流程規劃。例如：探討「預期心理」是否影響心跳率、攝取咖啡是否影響人體心跳率？

經討論、修改後，請執行你的研究計畫，並詳實記錄實驗結果。最後經整理、統計數據後，提出你的發現與研究過程所面臨的挑戰。

Presentation-討論表達

一、小論文撰寫

請將你在此課程的學習經驗與成果，撰寫成小論文，其段落依序為：主題、摘要(300字內)、前言(含動機與目的)、研究方法(含研究器材、實驗動物、實驗步驟)、研究成果、討論、心路歷程與心得、結論(條列式)、參考資料。

二、口頭發表

請將你在此課程的學習經驗與成果，以海報或 PPT 為媒體，進行 10 分鐘的口頭報告。

Extended reading and Reference-延伸閱讀與參考資料

- Cybulski, G., Niewiadomski, W., Strasz, A., Laskowska, D. and Gąsiorowska, A. 2009. Relationships between systolic time intervals and heart rate during initial response to orthostatic manoeuvre in men of different age. *J. Hum. Kinet.* 21: 57-64.
- Hertel, W., Pass, G. and Penzlin, H. 1985. Electrophysiological investigation of the antennal heart of *Periplaneta americana* and its reactions to proctolin. *J. Insect Physiol.* 31(7): 563-572.
- Johan, L. and Jonas, A. 1994. System for detecting changes in body posture. United states patent.
- MacWilliam, J. A. 1933. Postural effects on heart-rate and blood-pressure. *Exp. Physiol.* 23 (1): 1-33.
- Miller, T. and Usherwood, P. N. R. 1971. Studies of cardio-regulation in the cockroach, *periplaneta Americana*. *J. Exp. Biol.* 54: 329-348.
- Smith, J. J., Bush, J. E., Wiedmeier, V. T. and Tristani, F. E. 1970. Application of impedance cardiography to study of postural stress. *J. Appl. Physiol.* 29:133-137.
- 伊蓮·摩根(民 94)。水猿：人類演化過程的一段謎。(陳信宏譯)。臺北市：麥田。(原著出版年：1982 年)
- 高家敏、蔡任圃(民 103)。認識身旁的小傢伙(12)—利用心電圖與影像分析法探討昆蟲心臟因應體位變化的調節作用。科學教育月刊，366，29-41。(全文下載：<https://goo.gl/KtZ5mH>)
- 黃常宇、蔡任圃(民 96)。認識身旁的小傢伙(四)—開放式循環與心臟血球觀察方法。科學教育月刊，304，38-48。(全文下載：<https://goo.gl/5oqrdm>)
- 蔡任圃(民 105)。以昆蟲為實驗動物的推廣實驗。生物搜查線(龍騰文化)，17，10-14。(全文下載：<https://goo.gl/wrHkQv>)
- 蔡任圃(民 92)。蟑螂心臟活動的觀察方法。科學教育月刊，257，31-37。(全文下載：<https://goo.gl/boFKRL>)
- 蔡任圃(民 95)。認識身旁的小傢伙(一) 美洲蟑螂生態與行為的初步觀察。科學教育月刊，289，30-35。(全文下載：<https://goo.gl/8eIT3c>)
- 蔡任圃(民 95)。認識身旁的小傢伙(二) 美洲蟑螂外部型態與內部器官的初步觀察。科學教育月刊，290，43-47。(全文下載：<https://goo.gl/zTPQsT>)
- 蔡任圃(民 99)。昆蟲心搏與人體脈搏實驗活動。中山女高學報，10，171-190。(全文下載：<https://goo.gl/eZafi2>)
- 蔡任圃、黃璧祈、童麗珠、林金盾(民 90)。影像分析探討餵食葡萄糖液對蟑螂心輸出量的效應。台灣昆蟲，21，133-145。(全文下載：<https://goo.gl/VEI7qN>)