

第十七屆旺宏科學獎

成果報告書

參賽編號：**SA17-131**

作品名稱：探討昆蟲之物理性麻痺的機制與應用

姓名：陳品煊

關鍵字：物理性麻痺、神經節、代謝率

-摘要-

本研究探討壓迫昆蟲各部位神經節引發物理性麻痺的現象，透過壓迫蟑螂頭部、胸部、腹部或單側後足基節肌肉，比較對步足反射與對心臟活動、代謝生理的效應。我們發現壓迫頭部神經節、胸部神經節、腹部神經節及壓迫單側後足基節肌肉，所產生的結果皆有很大的差異，其中壓迫負責步足運動功能的胸神經節，可引發強烈的步足麻痺效果；且若壓迫強度適宜，可於停止壓迫後快速恢復步足運動能力。本研究利用中樞神經系統屬分散式的昆蟲，探討物理性麻醉不同神經節間各特定功能區域的麻醉效果與對代謝生理的效應，期望透過針對特定中樞神經系統區域的物理性麻醉，可利用屬於集中式中樞神經系統的人體，若以物理性麻痺方式進行醫療手段，可避免因化學性麻醉所造成的潛在風險。

壹、研究動機

觀察鳥類捕食昆蟲時，常常觀察到鳥喙會夾緊昆蟲的胸部，此時昆蟲動也不動(不太掙扎)(圖一)，甚至一開始即使鳥喙沒有夾住昆蟲胸部，隨後鳥也會調整成以鳥喙夾住昆蟲胸部(圖二)。一開始我們認為這是因為昆蟲步足被鳥喙夾住而無法動彈，但之後曾看到一則有關蟑螂點穴的報導，介紹如何利用敲擊蟑螂胸部使蟑螂麻痺(圖三)，讓我們反思鳥喙夾住昆蟲胸部時，可能也是透過壓迫昆蟲胸部引發昆蟲麻痺。

武俠小說或是電影中常出現「點穴」的劇情，透過於身體之特定穴位施與壓力，使人暫時麻痺或失去運動能力。上述壓迫昆蟲胸部引發麻痺的現象，就像是點穴的效果，也許可透過昆蟲研究的動物模式，研究「點穴」而引發物理性麻痺的相關生理機制。張等人(2006)一篇相關的文獻回顧中，作了以下定義與說明：「穴位」是「腧穴」常用的說法，「腧」與人體形肉有關，表示轉輪流注，是氣血運行出入處，「穴」乃是人體組織上之交會銜接處，必有穴隙可指，喻氣血之低陷集注處。可知點穴所施予壓力的位置，可能是肌肉組織或是組織交會之處，我們認為組織交會之處，包含血管、神經等組織，但因昆蟲的血液循環屬開放式循環系統，我們之前也觀察到：即使蟑螂心臟停止跳動，仍維持行為能力。所以我們推論組織交會之處，可能是指神經組織。昆蟲胸部壓迫可造成麻痺，而胸部包含了步足的肌肉，與支配步足肌肉的神經節(張與林，1991)。為何壓迫昆蟲胸部可以產生點穴的效果？是因為壓迫足部肌肉導致步足無法動彈？還是壓迫到神經節導致暫時麻痺呢？



圖一 觀察鳥類捕捉昆蟲時，鳥喙常常夾住昆蟲的胸部，此時昆蟲幾乎一動也不動。

左圖來源：<https://www.whatsthatbug.com/2011/05/12/brown-thrasher-eats-insect/>。

右圖來源：<https://www.whatsthatbug.com/category/birds/>。



圖二 此影片中的翠鳥剛捕捉到昆蟲時，鳥喙夾住昆蟲的腹部，但隨後調整成鳥喙夾住昆蟲的胸部。 影片來源：<https://www.youtube.com/watch?v=O9LIGCRjGn0>。



圖三 節目報導如何敲擊蟑螂胸部引發麻痺作用，產生「點穴」的效果。
影片來源：八大電視台(GTV)節目：生活一級棒(2010.05.31 播出)。

水波·誠教授在《探索昆蟲微小腦》一書中提到：大腦與脊髓來主宰神經的控管，而多數昆蟲是由分散於頭、胸與腹部的「微小腦」負責反射的控管，這些微小腦就是分佈於全身的多個神經節。這些現象令我們不禁好奇昆蟲各部位的神經節在受到壓迫後，所發生的反射行為是會相同抑或相異呢？若受到壓迫的是肌肉，結果又會有何不同？

人類與昆蟲的神經系統皆相當的發達，但昆蟲是分散的控管系統，而人類則是集中於腦部的地方，兩者的分區卻有相對應的功能，例如：昆蟲的頭部神經節相當於人類大腦皮質，掌管意識、記憶、決策等高階功能；昆蟲胸部神經節相當於人類腦部基底核與小腦，掌管隨意運動與附肢反射的整合、調節功能；而昆蟲的腹部神經節相當於人類延腦，控制與調節內臟活動。但因人體腦部過於複雜不易研究，而各神經節在空間上具明顯區隔的昆蟲，其神經系統較人體單純、簡單，適合作為探討中樞神經功能分區與物理性麻痺效應的動物模式。

基於上述的相似處，我們所探討之壓迫昆蟲各部位神經節所引發的效應，可探討壓迫特性功能的中樞神經區域，何者可產生物理性麻痺？這些研究的成果，是否能夠應用在人體醫學的應用性呢？這些問題引發我們的好奇心，因此展開了以下的實驗。

貳、研究目的

基於上述有關螳螂點穴(物理性麻痺)的疑問，本研究的目的如下：

- 一、比較壓迫頭神經節、胸部神經節、腹部神經節及壓迫單側後足基節肌肉，對刺激螳螂尾毛引發後足反射的行為表現，包含以下運動參數：
 - (一)、反應率
 - (二)、潛伏期
 - (三)、伸直與縮回所花時間
 - (四)、後足腿節的轉動角度
- 二、比較壓迫頭部神經節、胸部神經節、腹部神經節及壓迫雙側後足基節肌肉，對代謝生理的效應，包含以下生理參數：
 - (一)、耗氧速率
 - (二)、產二氧化碳速率
 - (三)、呼吸商
- 三、比較壓迫胸部神經節及壓迫雙側後足基節肌肉，對心臟運動的效應，包含以下生理參數：
 - (一)、心臟收縮與舒張時間(耗時)，與心動周期時間(耗時)
 - (二)、心臟收縮與舒張時的內徑，與心搏量
- 四、探討研究結果之應用性

參、研究設備及器材

一、實驗動物

美洲蟑螂(American cockroach，學名：*Periplaneta americana*)飼養於室內昆蟲箱，為本校自行飼養繁殖。飼養之環境溫度約 20~28°C，定期換水、提供充足飼料(玉米、大麥磨成粉製成)。實驗的進行皆以色澤明亮、身體外表無破損之雄性成蟲作為實驗動物，以避免雌蟲生殖週期或攜夾卵鞘的干擾，且實驗過的動物不再進行實驗。本研究為了方便以觀察蟑螂生理活動變化的進行，皆先進行蟲體麻醉以利操作。

二、實驗設備與器材(表一)

表一 本研究的實驗設備與器材

編號	名稱	型號及規格	備註
1	氫氧化鈉	Choneye Pure Chemicals 以紗布包裹備用	可以吸收水分和二氧化碳氣體
2	透氣紗布	紗布兩張一組，交疊成十字狀	包裹氫氧化鈉並綁緊
3	電子磅秤/秤量紙	BBAH-600	電子磅秤準確至小數點後兩位
4	中培養皿/小培養皿	直徑 9 公分/直徑 6 公分	玻璃製
5	蟑螂屋貼紙	剪成 2.5cm x 4.5cm 的小紙片	蟑螂上黏蟑螂屋
6	微量滴定管	最小刻度為0.01毫升	
7	針筒	50 毫升	
8	橡皮管	4 公分長	呼吸速率檢測器材
9	二氧化碳鋼瓶		用於麻醉蟑螂
10	鑷子/剪刀		將蟑螂固定於蟑螂屋貼紙， 與刺激蟑螂尾毛
11	透明膠帶		固定蟑螂翅膀用
12	網路攝影機		
13	亞甲藍液		使微量滴定管內的液體 移動更為明顯
14	迴紋針		製作壓迫神經節或步足肌肉的工 具以及應用性部分
15	複式顯微鏡	Primo Star(ZEISS)	觀察、測量蟑螂心臟
16	強力磁鐵	4500 高斯	

肆、研究過程或方法

一、驗證壓迫昆蟲胸部是否具有抑制步足運動的點穴效果

以鑷子模擬鳥喙，分別夾住蟑螂翅膀、胸腹與腹部，以攝影機記錄蟑螂的運動狀態，以驗證壓迫昆蟲胸部是否具有抑制步足運動的點穴效果。

將夾住蟑螂翅膀、胸腹與腹部的蟲體，以六腳朝天的姿勢放在培養皿中，觀察其翻正反射所耗時間與步足運動情形，全程錄影紀錄(參考自：鄭等人，2007；蔡與蔡，2011)，分析比較「翻正反射耗時」(單位為秒)、翻正反射期間後腳步「不運動的時間比率」(單位為%)。若蟑螂翻正過程超過一分鐘皆未成功，則翻正反射時間紀錄為 60 秒。

二、比較壓迫頭部神經節、胸部神經節、腹部神經節及壓迫單側後足基節肌肉，對運動參數的效應

刺激尾毛可引發昆蟲步足反射，此反射透過腹部的神經節將訊息經過神經索，傳遞至各個神經節(張等人，1993)，進而引發步足反射。本研究利用刺激尾毛引發的步足反射，作為步足運動能力的指標。為了比較壓迫頭部神經節、胸部神經節、腹部神經節或單側後足基節肌肉，何者對蟑螂具有點穴的效應，操作步驟如下：

- (一)、將蟑螂黏貼於蟑螂屋貼紙上，其翅膀張開並用透明膠帶固定。
- (二)、以鑷子輕觸蟑螂尾毛，以網路攝影機與 popplayer 軟體(屬自由軟體，可免費下載)進行錄影，待反應停止後，再次重複刺激蟑螂尾毛，每次實驗流程大約刺激 10 次尾毛。
- (三)、以迴紋針製作壓迫神經節或步足肌肉的工具，稱為「壓迫器」(圖四)。
- (四)、壓迫胸神經節組、頭部神經節、腹部神經節的蟑螂先置放於電子秤上，再以壓迫器於蟑螂頭部腹側、胸部、腹部分別進行壓迫，壓迫的力量以電子秤的刻度變化為依據，壓迫力量皆約 250 公克(換算成壓力約為 12.5 公克重/平方毫米)，壓迫時間皆持續 10 秒。
- (五)、壓迫單側後足基節肌肉組，是以壓迫器於蟑螂隨機之單側後步組的腿節進行壓迫，壓迫力量皆約 250 公克(換算成壓力約為 25.0 公克重/平方毫米)，壓迫時間皆持續 10 秒。
- (六)、無論是壓迫頭部神經節組、胸部神經節、腹部神經節或壓迫單側後足基節肌肉組，壓迫後立即刺激蟑螂尾毛，錄影記錄兩側後步足的行為反應，每次實驗流程大約刺激 10 次尾毛。
- (七)、將蟑螂靜置一小時後，再次刺激蟑螂尾毛，錄影記錄兩側後步足的行為反應，每次實驗流程大約刺激 10 次尾毛。
- (八)、再將蟑螂靜置一小時後(也就是壓迫後的第二小時)，再次刺激蟑螂尾毛，錄影記錄兩側後步足的行為反應，每次實驗流程大約刺激 10 次尾毛。
- (九)、以 tracker 軟體(屬自由軟體，可免費下載)播放本研究所記錄的影片，並測量、記

錄兩側後步足轉節與腿節末端的坐標與相對應的時間。

(十)、計算兩側後步足的以下運動參數(參考自：蔡與蔡，2011)：

1. 反應率：刺激尾毛可引發步足反應的次數，占所有刺激尾毛側數的比例，單位為「%」。
2. 潛伏期：觸碰尾毛至步足開始反應的時間差，單位為「秒」。
3. 伸直與縮回所花時間：因刺激尾毛引發步足伸直，隨後縮回。從後足開始伸直至停止伸直的時間差，為伸直所花時間，單位為秒；從後足開始縮回至停止縮回的時間差，為縮回所花時間，單位為「秒」。
4. 後足腿節的轉動角度：將所記錄之兩側後步足基節轉節與腿節末端的坐標，轉換成腿節角度(轉節至腿節末端的角度)。刺激蟑螂尾毛時，分別計算步足伸直與縮回過程中，基節角度與腿節角度的改變量，單位為「度」。



圖四 以壓迫器於蟑螂胸部腹側的中線進行壓迫(壓迫胸部神經節)的照片。



圖五 蟑螂後步足上記錄基節基部、轉節與腿節末端的坐標位置

(●：基節基部、○：轉節、●：腿節末端)。

三、比較壓迫頭部神經節、胸部神經節、腹部神經節及壓迫雙側後足基節肌肉，對代謝生理的效應

我們參考、改良蔡等人(2004)、高與胡(2015)、劉(2018)測量蟑螂代謝率的方法，步驟如下：

- (一)、將 50 毫升的針筒與微量滴定管(最小刻度為 0.01 毫升)用橡皮管連接，將實驗動物與滴一小滴水的氫氧化鈉(包裹於紗布中)放入針筒中(圖六)。
- (二)、吸入亞甲藍液至微量滴定管內，橫放使此自製呼吸週期檢測系統靜置於桌面上
- (三)、當蟑螂吸收氧氣而排出二氧化碳，二氧化碳可經氫氧化鈉吸收而造成針筒內氣體體積減少，可透過微量滴定管內之水的移動情形，測量針筒內氣體體積於 5 分鐘內所發生的變化，進而計算蟑螂的耗氧速率，單位為「毫升/公克·分鐘」。
- (四)、當針筒內無放置氫氧化鈉，此時蟑螂呼吸時消耗的氧氣與產生的二氧化碳氣體將滴定管內的亞甲藍液帶動，並測量其移動速度，此時的氣體體積變化速度 = 產二氧化碳速度 - 耗氧速度，單位為「毫升/公克·分鐘」。
- (五)、將(三)與(四)兩項氣體體積變化速率，經計算可得產二氧化碳速率，單位為「毫升/公克·分鐘」。
- (六)、將產二氧化碳速率除以耗氧速率所得數值即為呼吸商(respiratory quotient, RQ)，呼吸商的大小可推論動物正在代謝的主要物質，當呼吸商接近於 1 時，代表以醣類為主要代謝物，當呼吸商的接近於 0.7 時，代表以脂質為主要代謝物，若介於 0.7 至 1 之間，則可能同時代謝醣類與脂質(蔡等人，民 93；劉，2018)。
- (七)、比較對照組，與壓迫頭部神經節、胸部神經節、腹部神經節或兩側後足基節肌肉兩組，分別對代謝生理的參數(耗氧速率、產二氧化碳速率與呼吸商)有何效應。點穴方法如步驟二。



圖六 測量代謝率的器材照片。

四、比較壓迫頭部神經節、胸部神經節、腹部神經節及壓迫雙側後足基節肌肉，對循環生理的效應

我們參考、改良高與蔡(2014)、鄧等人(2017)測量蟑螂心臟活動的方法，步驟如下：

- (一)、將蟑螂黏貼於蟑螂屋貼紙上，其翅膀張開並用透明膠帶固定。
- (二)、蟑螂置於顯微鏡載物台上，由蟑螂上方以燈源照明，觀察蟑螂心臟運動。以網路攝影機與 popplayer 軟體紀錄心臟運動。
- (三)、以 tracker 軟體播放、測量蟑螂心臟於舒張與收縮時的內徑與相對應的時間。

(四)、測量蟑螂心臟收縮與舒張時間，單位為秒；收縮與舒張時間的和為心動周期時間，單位為秒。另亦測量心臟收縮與舒張時的內徑，單位為相對像素；
計算： $(\text{舒張內徑}^2 - \text{收縮內徑}^2) \times \pi$ ，可得心搏量，單位為相對平方像素。

五、探討研究結果之應用性

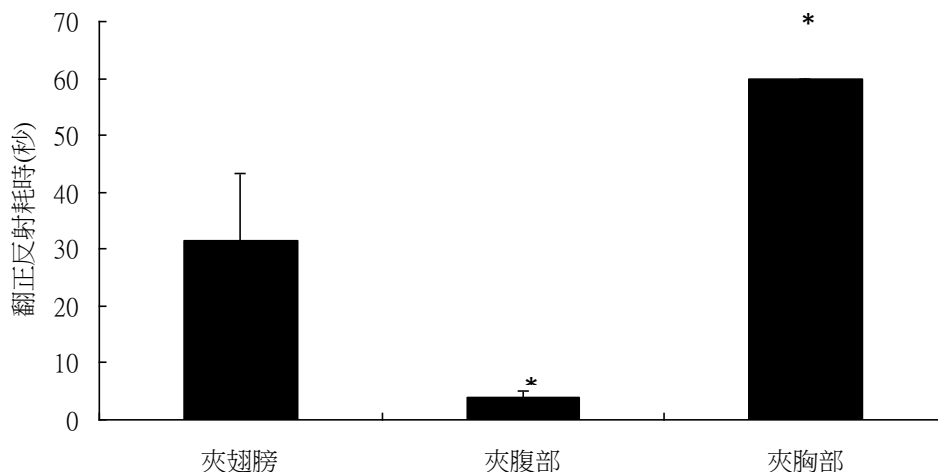
以強力磁鐵與迴紋針可相互吸引之性質，作為在適當壓力下持續壓迫胸神經節的方式，探討以此方式壓迫胸神經節與解除壓迫後，蟑螂的行為是否能恢復，若適當的壓力若能造成物理性麻痺，且解除壓迫後麻痺現象能於短期內恢復，則代表物理性麻痺不但有效，且具有短期內的可逆性，可作為未來醫療手段的應用技術。

伍、研究結果

一、驗證壓迫昆蟲胸部是否具有抑制步足運動與抑制翻正反射的點穴效果

以鑷子輕輕夾住蟑螂翅膀、胸腹與腹部，觀察其步足運動。發現夾住其腹部時，蟑螂掙扎反應最強烈，夾住翅膀次之，夾住胸部時步足幾乎沒有運動，即使晃動、敲擊鑷子使之震動亦無法引發步足運動。

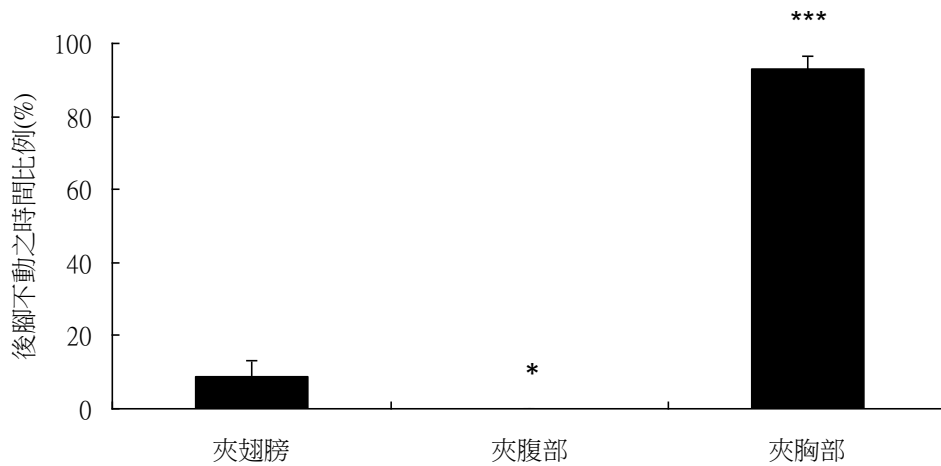
以鑷子輕輕夾住蟑螂翅膀、胸腹與腹部，以六腳朝天姿勢放在培養皿中，發現夾住胸部後全數皆無法翻正成功，夾過腹部的蟑螂翻正成功時間最短(圖七)。夾住胸部後的翻正反射期間，後腳步足幾乎沒有運動，夾過腹部則是幾乎沒有停過(圖八)，翻正反射的行為結果與前項以鑷子夾住期間的行為結果趨勢相符。



圖七 夾蟑螂翅膀、腹部與胸部後，翻正成功耗時(平均 \pm 標準誤， $n = 5$)，若未翻身成功，則以 60 秒紀錄。

與夾翅膀組相比(單尾 t 檢定)：*： $p < 0.05$ ；

與夾腹部組相比(單尾 t 檢定)：●： $p < 0.05$ 。



圖八 夾翅膀、腹部與胸部後，翻正反射期間後腳不動的時間比例 (平均 ± 標準誤，n = 5)。

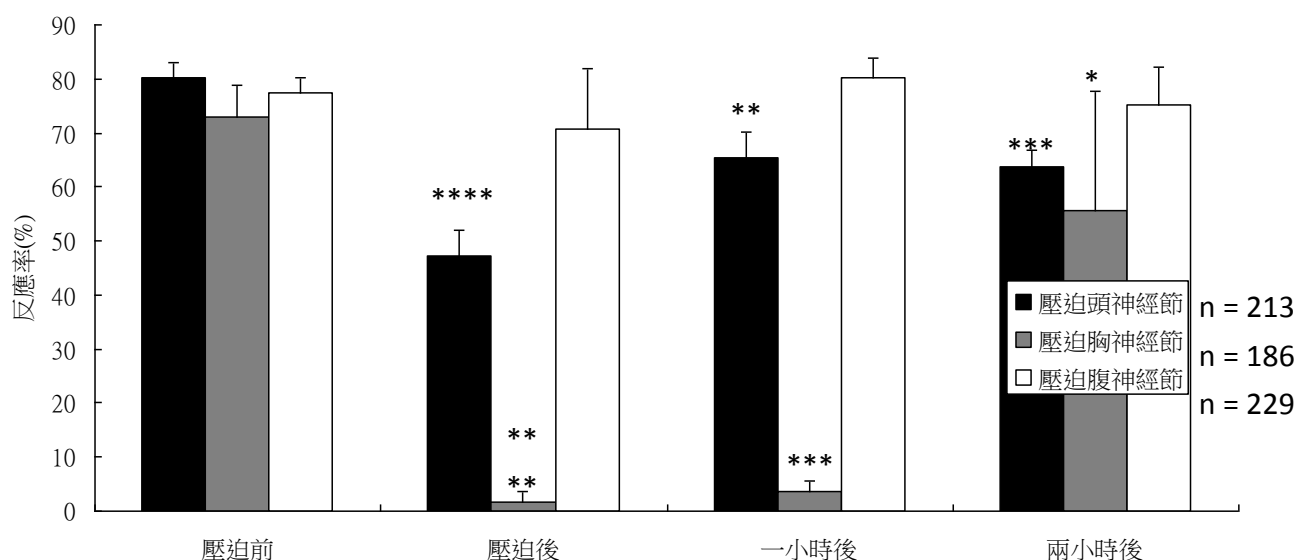
與夾翅膀組相比(單尾 t 檢定)：* : $p < 0.05$ 、**** : $p < 0.001$

與夾腹部組相比(單尾 t 檢定)：●●●● : $p < 0.001$

二、不同壓迫位置對蟑螂後足反射之行為表現的效應

(一)、反應率

壓迫胸神經節後，刺激尾毛引發步足的反射，兩側後步足的反應率皆大幅下降，一小時後反應率亦無法完全恢復；壓迫頭神經節後，對步足反射反應率的抑制效果較差；而壓迫腹神經節對步足反射反應率不具影響(圖九)。壓迫單側後足基節肌肉，可大幅降低壓迫側後足的反應率，但不影響非壓迫側後步足反應率(圖十)，且在一小時後，反應率恢復成與壓迫前一致。

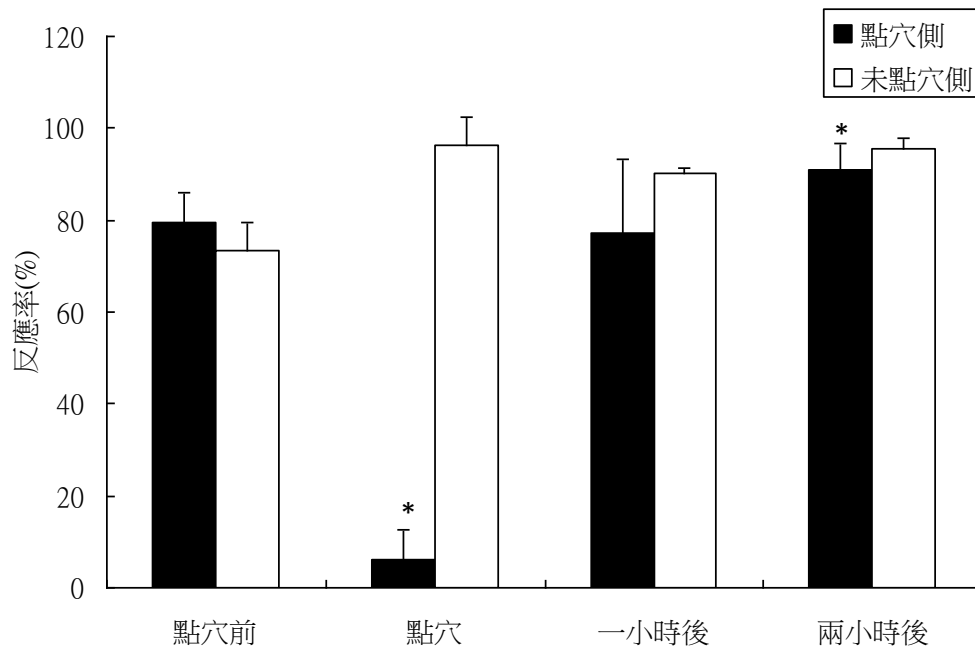


圖九 壓迫頭部、胸部與腹部神經節對刺激蟑螂尾毛引發後足反射的反應率比較

(平均 ± 標準誤，各組 3 隻個體，記錄刺激-反射行為 n 次)。

與對照組(點穴前)相比：** : $p < 0.01$ ；*** : $p < 0.005$ ；**** : $p < 0.001$

(單尾配對 t 檢定)。



圖十 壓迫單側後足基節肌肉對刺激蟑螂尾毛引發後足反射的反應率比較 (平均 \pm 標準誤，取樣數=3 隻個體，共記錄刺激-反射行為共 186 次)。與對照組(點穴前)相比：*： $p < 0.05$ (單尾配對 t 檢定)。

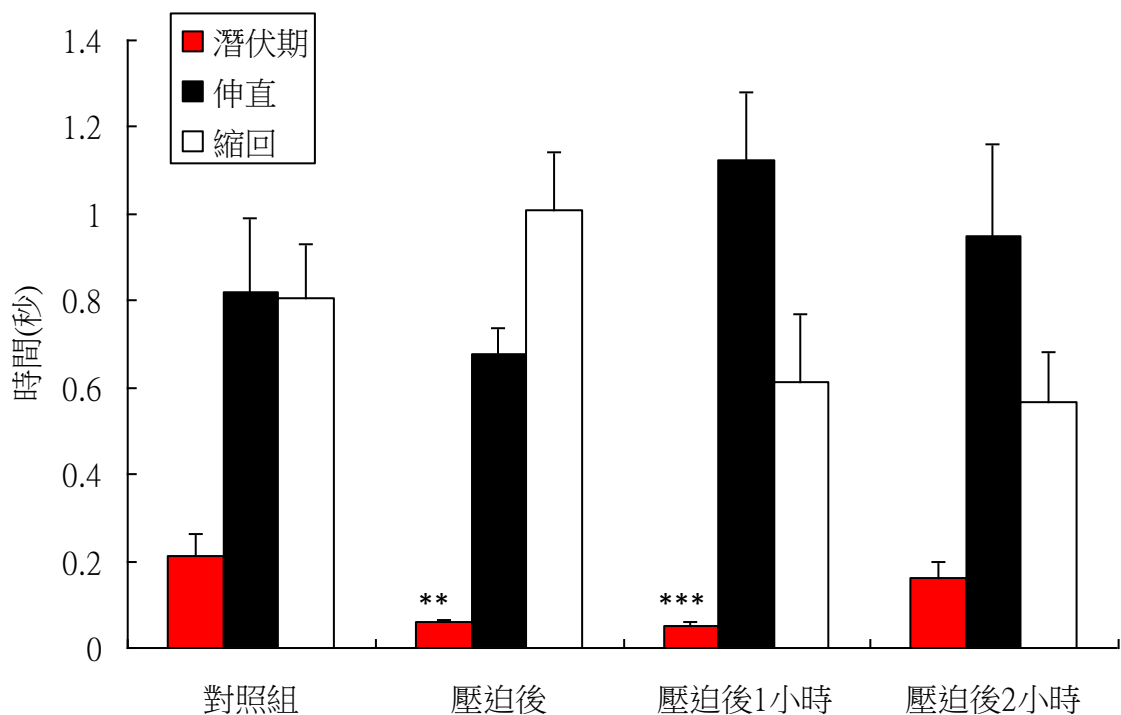
(二)、潛伏期及伸直與縮回所花時間

壓迫頭神經節後(圖十一)，可減少刺激尾毛後步足反射的潛伏期，代表步足的反射更為快速，但對步足伸直與縮回所花時間不具效應；壓迫後一小時，步足潛伏期仍未完全恢復。

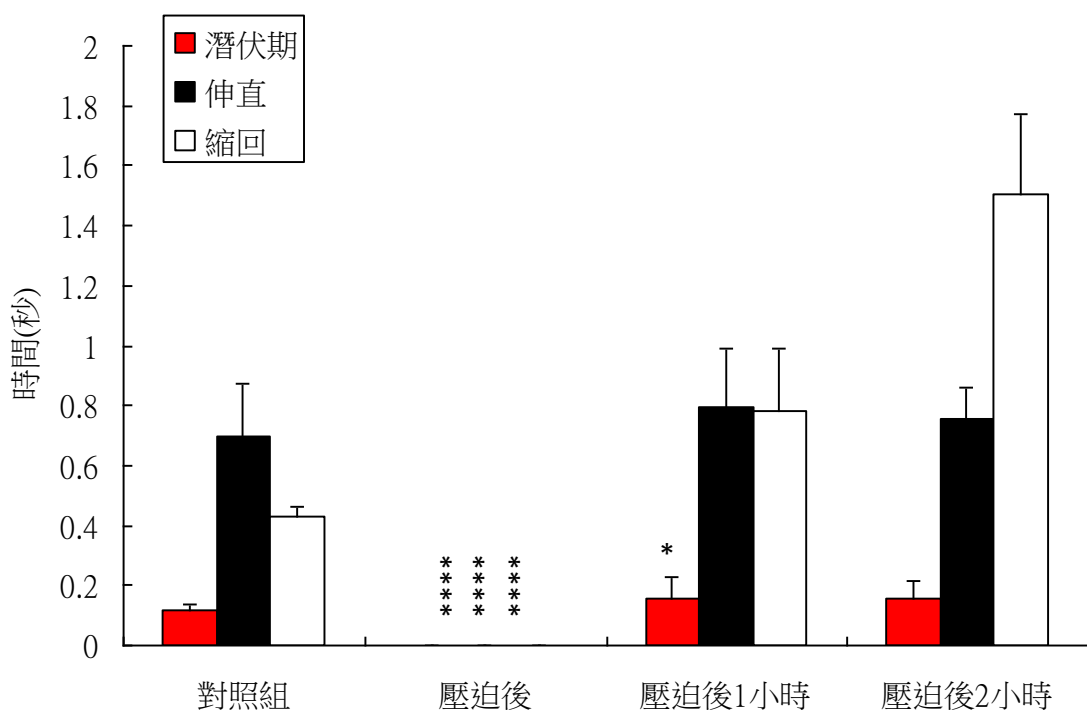
壓迫胸神經節後(圖十二)，因步足幾乎沒有反應，故無法測量刺激尾毛後步足反應的潛伏期、伸直與縮回所花時間。壓迫後一小時，步足潛伏期增加，代表步足的反射仍未完全恢復，但步足伸直與縮回所花時間則與壓迫前一致。

壓迫腹神經節後(圖十三)，除減少步足反射中步足縮回時間外，對潛伏期、伸直與縮回所花時間皆不具效應。

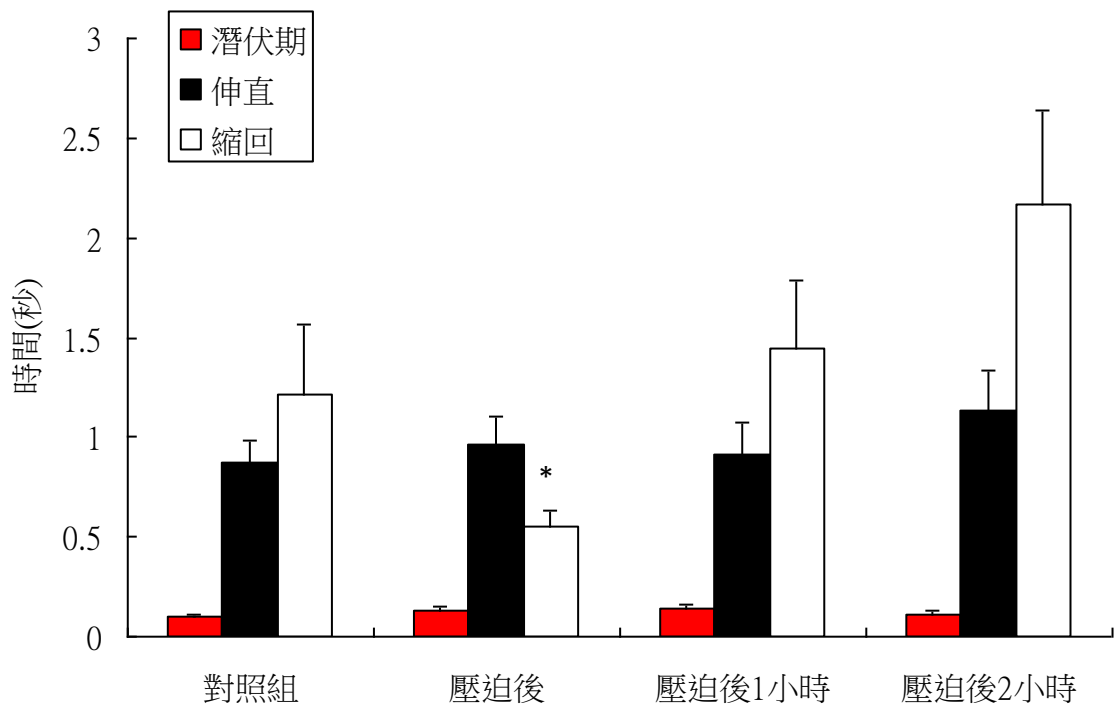
壓迫單側後足基節肌肉後，壓迫側後足因幾乎沒有反應，故無法測量刺激尾毛後步足反應的潛伏期、伸直與縮回所花時間。壓迫後一小時，步足潛伏期減少，代表步足的反射更為快速，而步足伸直與縮回所花時間則與壓迫前一致(圖十四)。非壓迫側步足於壓迫單側步足肌肉後，其潛伏期及伸直與縮回所花時間皆不受影響。壓迫後一小時，非壓迫側步足的步足伸直所花時間略微增加(圖十五)。



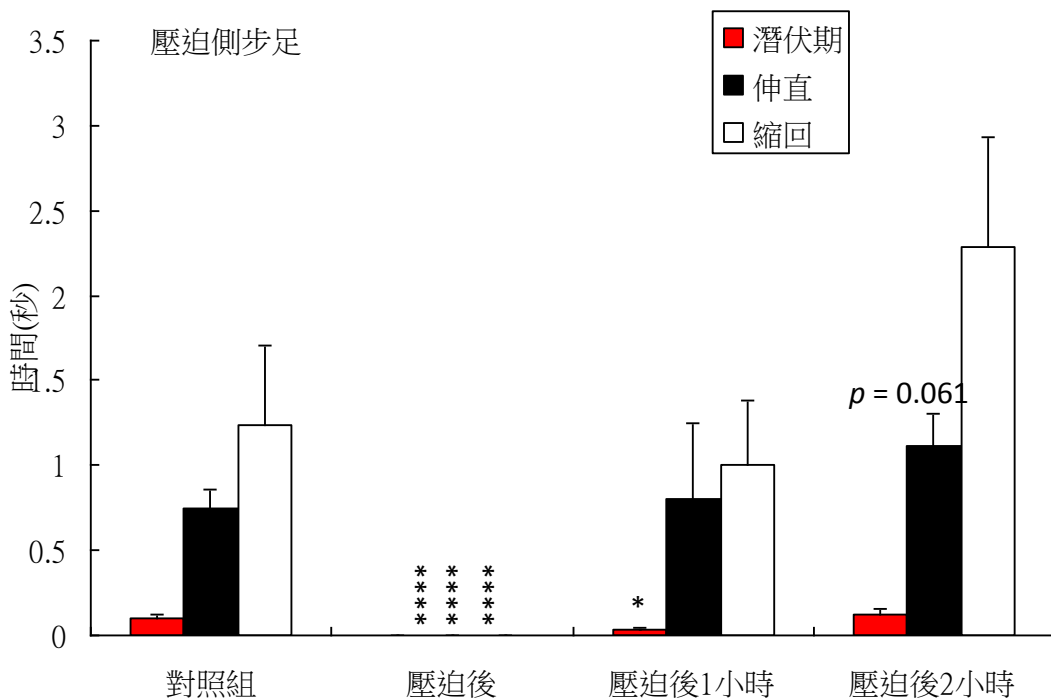
圖十一 壓迫**頭部神經節**對刺激蟑螂尾毛引發後足反射的潛伏期、伸直與縮回所花時間的比較(平均 ± 標準誤，每處理組取樣數=30)。
與對照組相比：**： $p < 0.01$ ；***： $p < 0.005$ (單尾 t 檢定)。



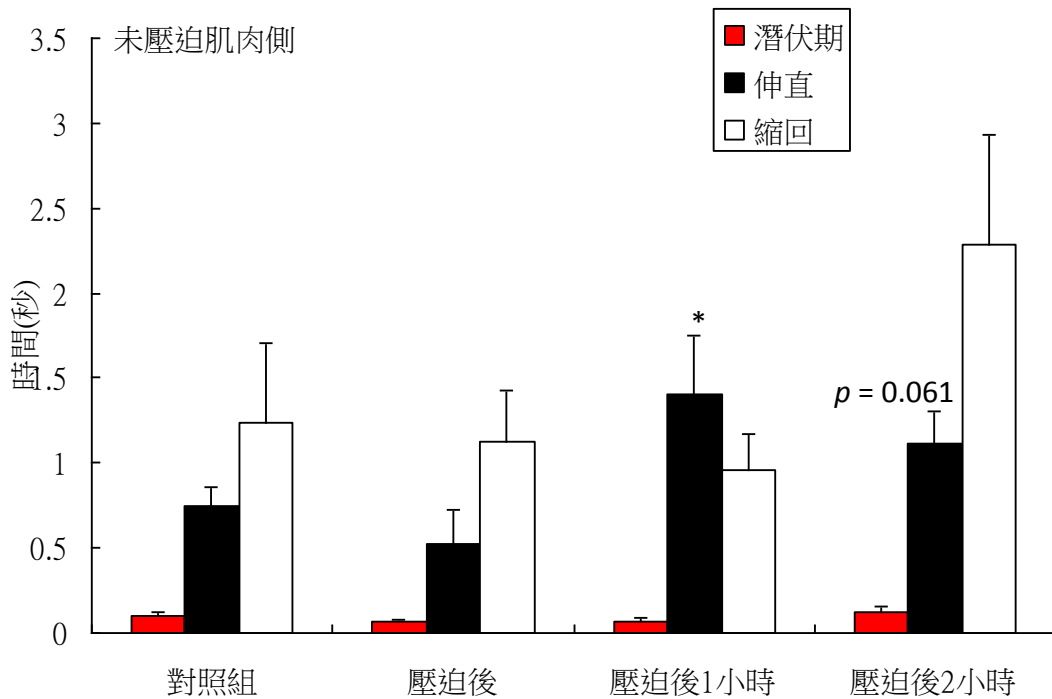
圖十二 壓迫**胸部神經節**對刺激蟑螂尾毛引發後足反射的潛伏期、伸直與縮回所花時間的比較(平均 ± 標準誤，每處理組取樣數=25)。
與對照組相比：*： $p < 0.05$ ；****： $p < 0.001$ (單尾 t 檢定)。



圖十三 壓迫腹部神經節對刺激蟑螂尾毛引發後足反射的潛伏期、伸直與縮回所花時間的比較(平均 ± 標準誤，每處理組取樣數=30)。與對照組相比：*： $p < 0.05$ (單尾 t 檢定)。



圖十四 壓迫肌肉側之步足對刺激蟑螂尾毛引發後足反射的潛伏期、伸直與縮回所花時間的比較(平均 ± 標準誤，每處理組取樣數=25)。與對照組相比：*： $p < 0.05$ ；****： $p < 0.001$ (單尾 t 檢定)。



圖十五 未壓迫肌肉側之步足對刺激蟑螂尾毛引發後足反射的潛伏期、伸直與縮回所花時間的比較(平均 \pm 標準誤，每處理組取樣數=25)。

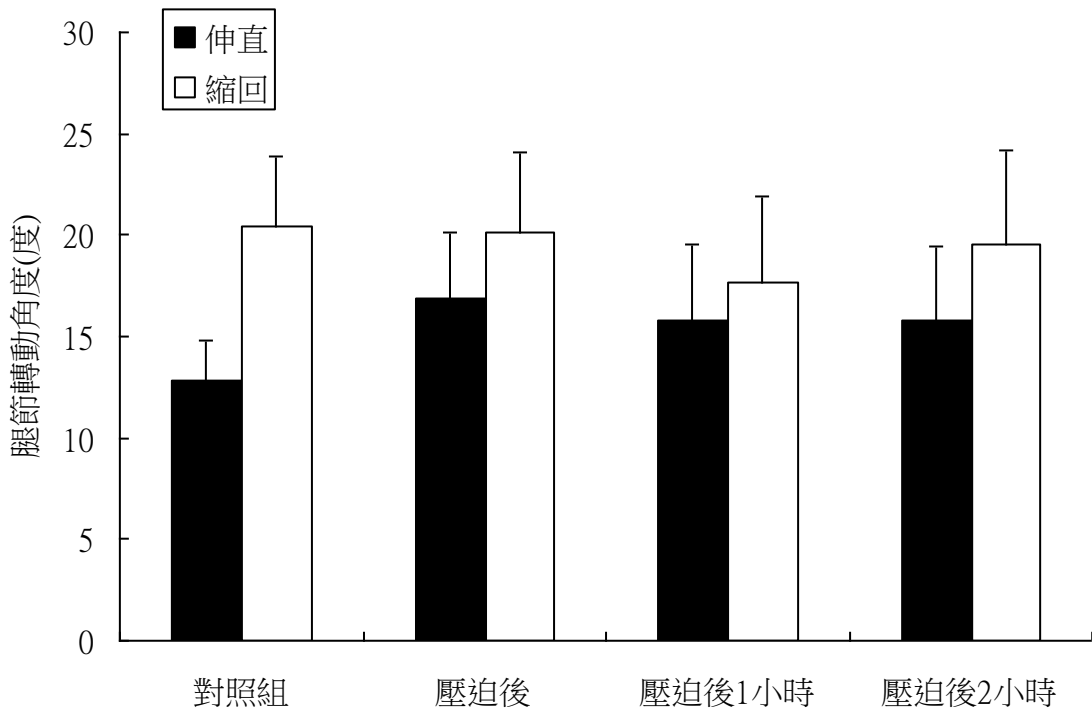
與對照組相比：*： $p < 0.05$ ；****： $p < 0.001$ (單尾 t 檢定)。

(三)、後足腿節的轉動角度

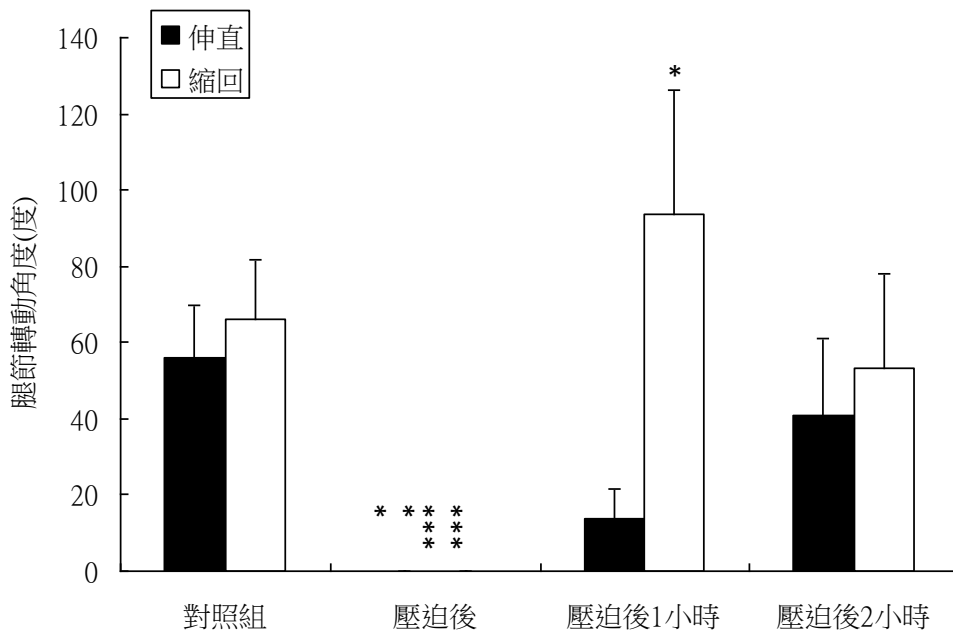
壓迫頭神經節後，對後足腿節的伸直與縮回的轉動角度皆不具效應(圖十六)。

壓迫胸神經節後，因步足幾乎沒有反應，故無法測量後足腿節的轉動角度；壓迫後一小時，腿節縮回的轉動角度較壓迫前增加(圖十七)。

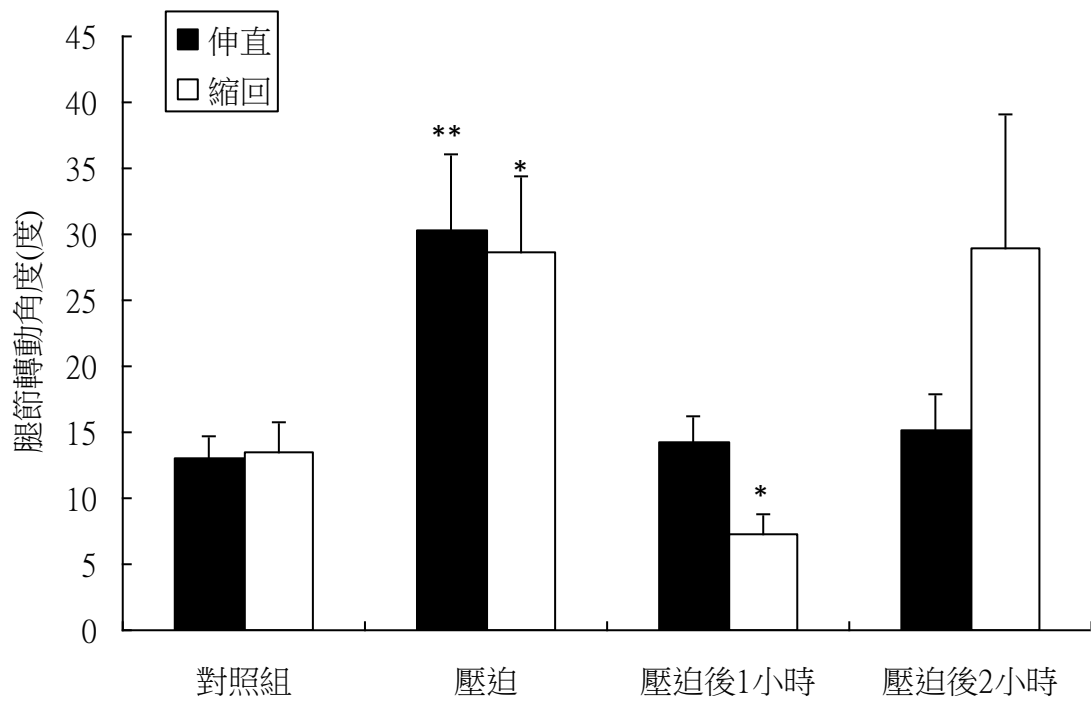
壓迫腹神經節後，可增加後足腿節的伸直與縮回的轉動角度；壓迫後一小時，腿節縮回的轉動角度較壓迫前減少(圖十八)。



圖十六 壓迫**頭神經節**對刺激蟑螂尾毛引發後足腿節轉動角度的比較 (平均 ± 標準誤，每處理組取樣數=30)。
與對照組相比：皆未達統計上的顯著差異(單尾 t 檢定)。



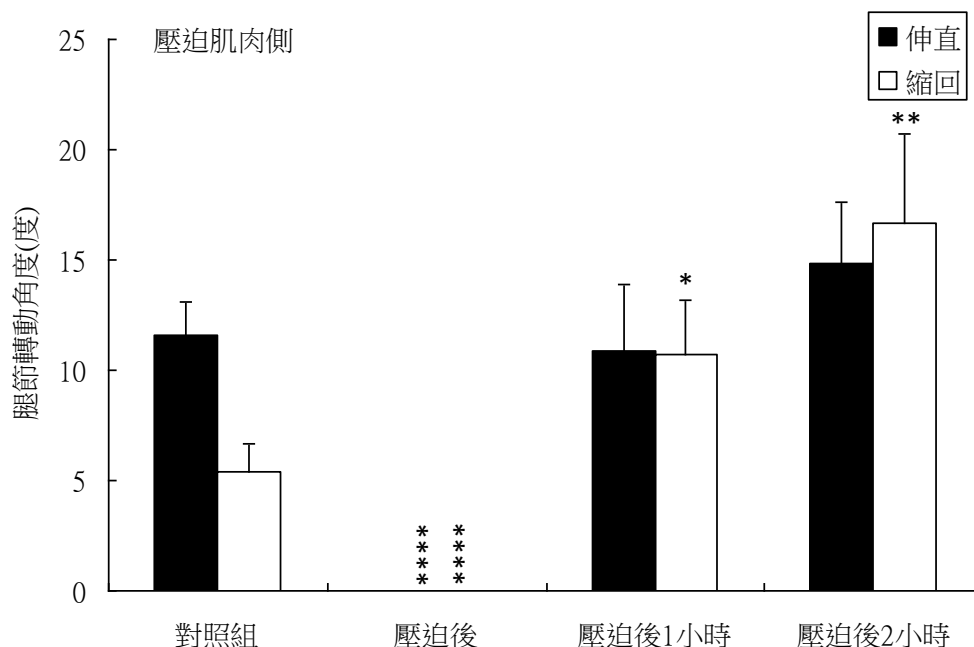
圖十七 壓迫**胸神經節**對刺激蟑螂尾毛引發後足腿節轉動角度的比較 (平均 ± 標準誤，每處理組取樣數=25)。
與對照組相比：* : $p < 0.05$; **** : $p < 0.001$ (單尾 t 檢定)。



圖十八 壓迫腹神經節對刺激蟑螂尾毛引發後足腿節轉動角度的比較
 (平均 ± 標準誤，每處理組取樣數=30)。
 與對照組相比：*： $p < 0.05$ ；**： $p < 0.01$ (單尾 t 檢定)。

壓迫單側後足基節肌肉後，因壓迫側步足幾乎沒有反應，故無法測量壓迫單側步足腿節的轉動角度。壓迫單側步足後一小時，腿節縮回的轉動角度較壓迫前增加(圖十九)。

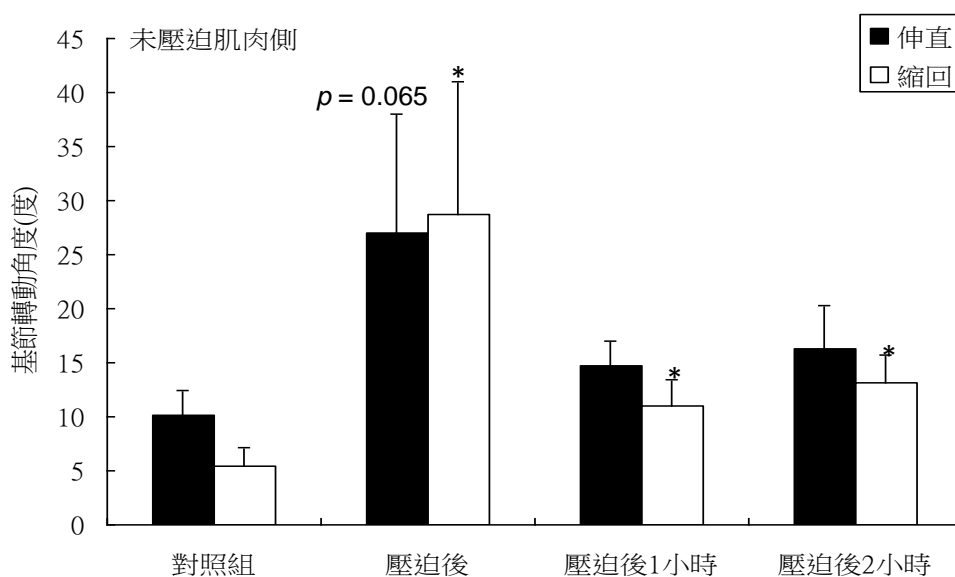
壓迫單側後足基節肌肉後，非壓迫側步足腿節的伸直角度及縮回角度皆增加；壓迫單側步足後一小時與兩小時，後足腿節的縮回角度仍比壓迫前大(圖二十)。



圖十九 壓迫單側步足肌肉對壓迫肌肉側步足腿節轉動角度的比較

(平均 ± 標準誤，每處理組取樣數=25)。

與對照組相比：*： $p < 0.05$ ；**： $p < 0.01$ ；****： $p < 0.001$ (單尾 t 檢定)。



圖二十 壓迫單側步足肌肉對未壓迫肌肉側步足腿節轉動角度的比較

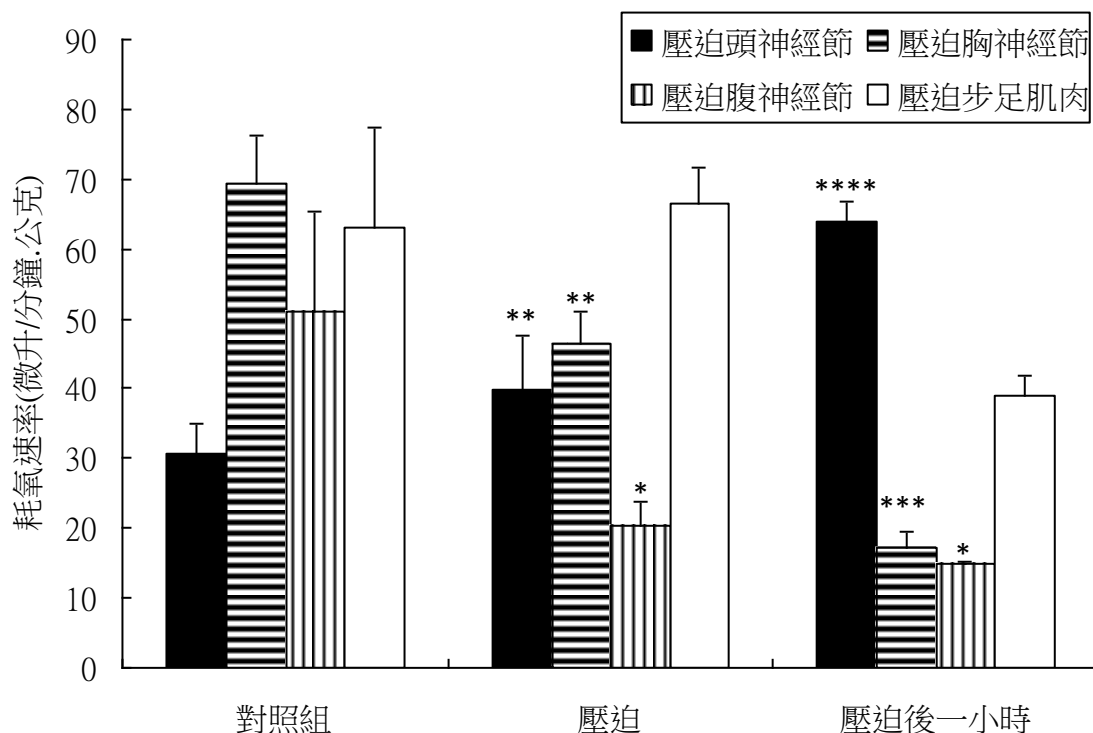
(平均 ± 標準誤，每處理組取樣數=25)。

與對照組相比：*： $p < 0.05$ (單尾 t 檢定)。

三、不同點穴方式對蟑螂代謝生理的效應

(一)、耗氧速率

壓迫頭神經後可使蟑螂的耗氧速率增加，壓迫後一小時，其耗氧速率增加幅度更大；壓迫胸神經後可使蟑螂的耗氧速率減少，壓迫後一小時，其耗氧速率減少幅度更大；壓迫腹神經後可使蟑螂的耗氧速率減少，壓迫後一小時，其耗氧速率減少幅度更大；壓迫後足基節肌肉時，不影響蟑螂耗氧速率，但一小時後，蟑螂的耗氧速率下降(圖二十一)。各組的壓迫處理對蟑螂耗氧速率改變率的影響可見圖二十四。



圖二十一 壓迫頭部、胸部與腹部神經節，對蟑螂耗氧速率的影響

(平均 ± 標準誤，各組取樣數 = 5 隻個體)。

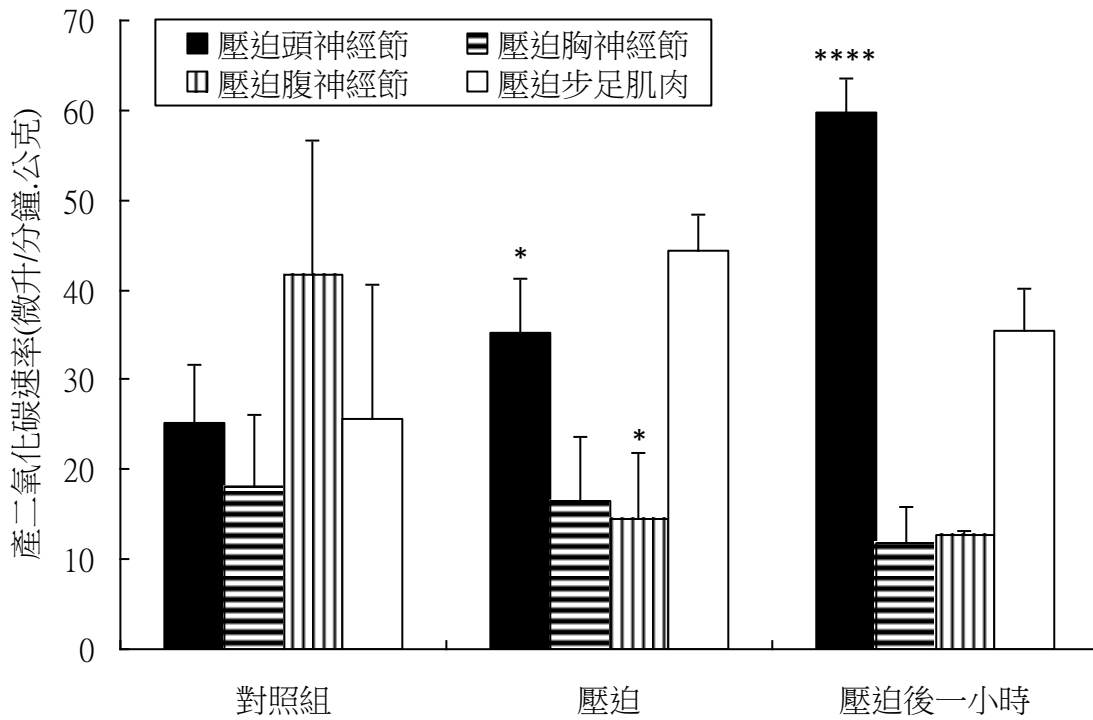
與對照組相比：*： $p < 0.05$ ；**： $p < 0.01$ ；***： $p < 0.005$ ；****： $p < 0.001$ (單尾配對 t 檢定)。

(二)、產二氧化碳速率

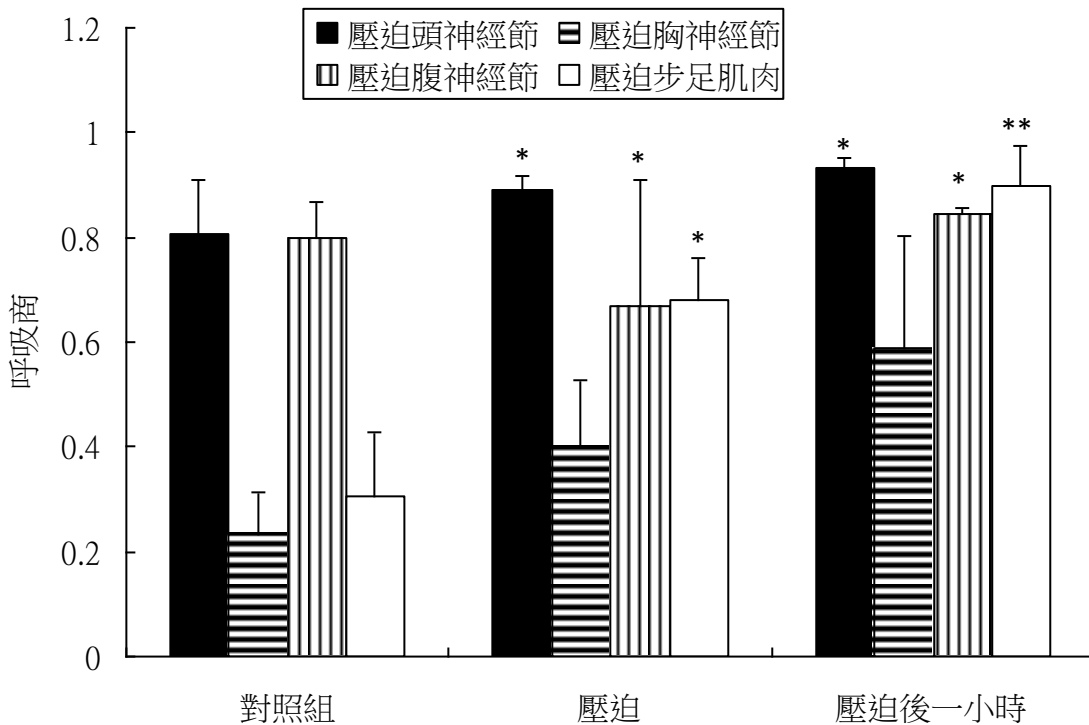
壓迫頭神經後可使蟑螂的產二氧化碳速率增加，壓迫後一小時，其耗氧速率增加幅度更大；壓迫胸神經後不影響蟑螂產二氧化碳速率；壓迫腹神經後可使蟑螂的二氧化碳速率減少；壓迫後足基節肌肉後不影響蟑螂產二氧化碳速率(圖二十二)。各組的壓迫處理對蟑螂產二氧化碳速率改變率的影響可見圖二十五。

(三)、呼吸商

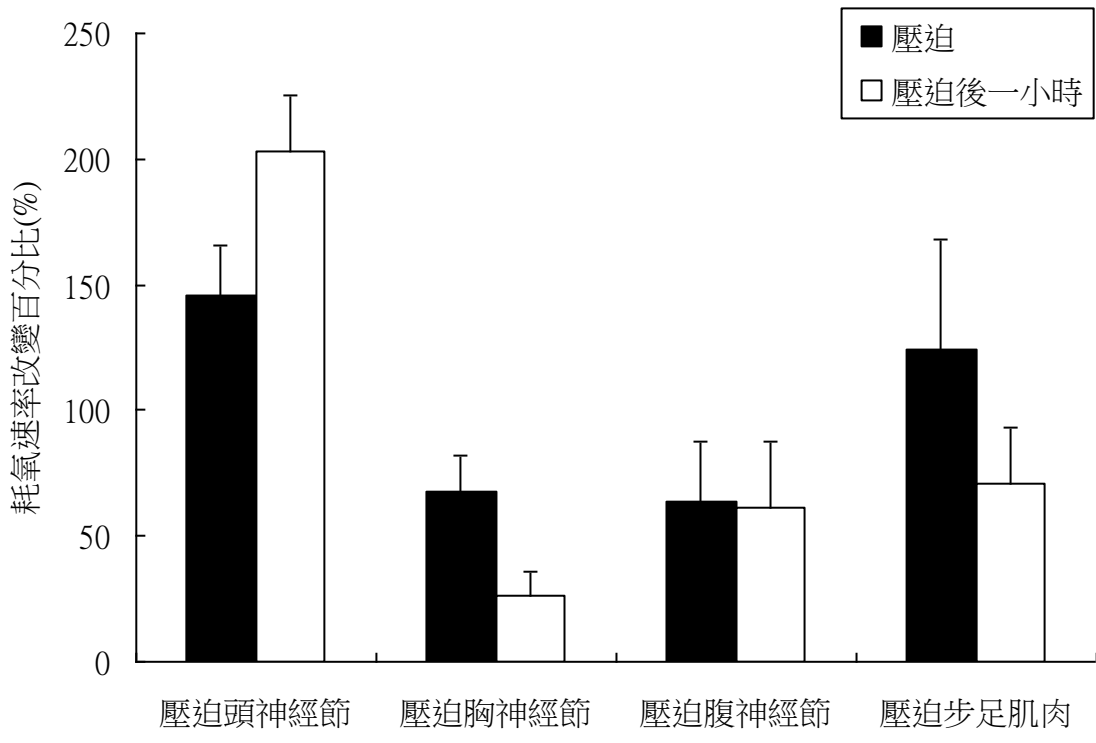
壓迫頭神經後可使蟑螂的呼吸商增加，壓迫後一小時，呼吸商依然比對照組高，代表蟑螂轉為以醣類代謝為主；壓迫胸神經節對蟑螂呼吸商的影響未達統計上的顯著差異；壓迫腹神經後可使蟑螂的呼吸商減少，壓迫後一小時，呼吸商比對照組高一些；壓迫後足基節肌肉，可使蟑螂呼吸商增加，一小時後增加幅度更大，代表蟑螂轉為以醣類代謝為主(圖二十三)。



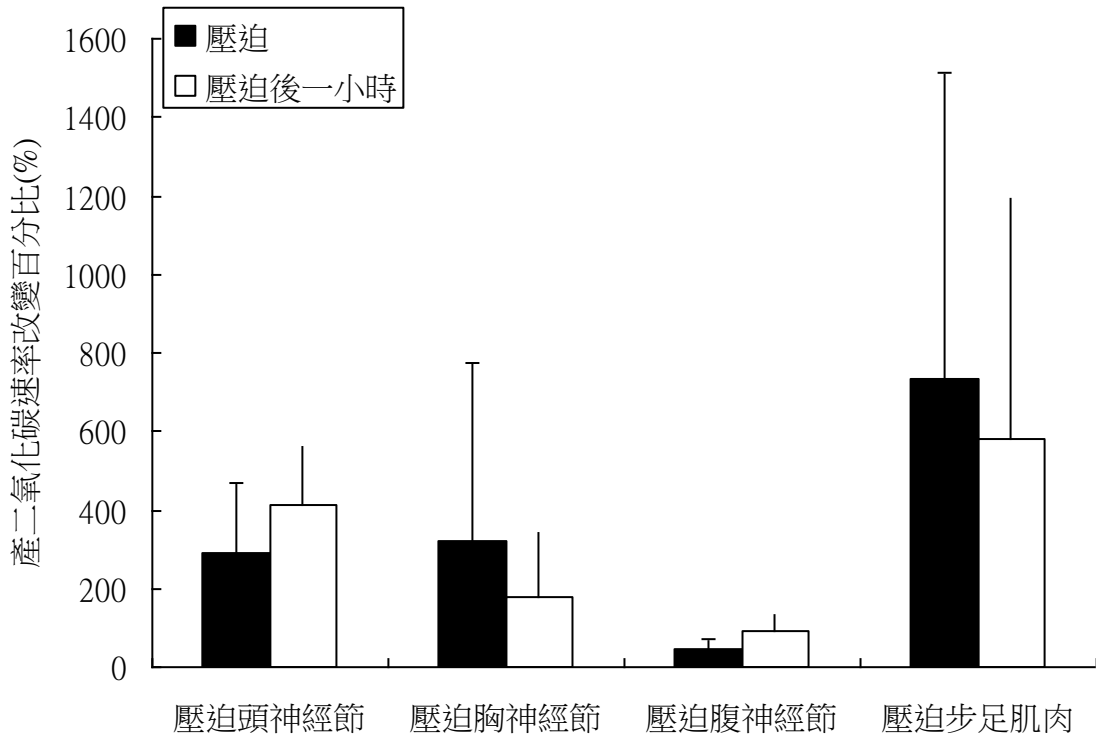
圖二十二 壓迫頭部、胸部與腹部神經節，對蟑螂產二氧化碳速率的影響 (平均 ± 標準誤，各組取樣數 = 5 隻個體)。
與對照組相比：*: $p < 0.05$ ；***: $p < 0.001$ (單尾配對 t 檢定)。



圖二十三 壓迫頭部、胸部與腹部神經節，對蟑螂呼吸商的影響 (平均 ± 標準誤，各組取樣數 = 5 隻個體)。
與對照組相比：*: $p < 0.05$ ；**: $p < 0.01$ (單尾配對 t 檢定)。



圖二十四 壓迫頭神經節、胸神經節、腹神經節與後足基節肌肉，對蟑螂耗氧速率改變率的影響(平均 ± 95%信賴區間，取樣數=5 隻個體， $\alpha = 0.05$)。

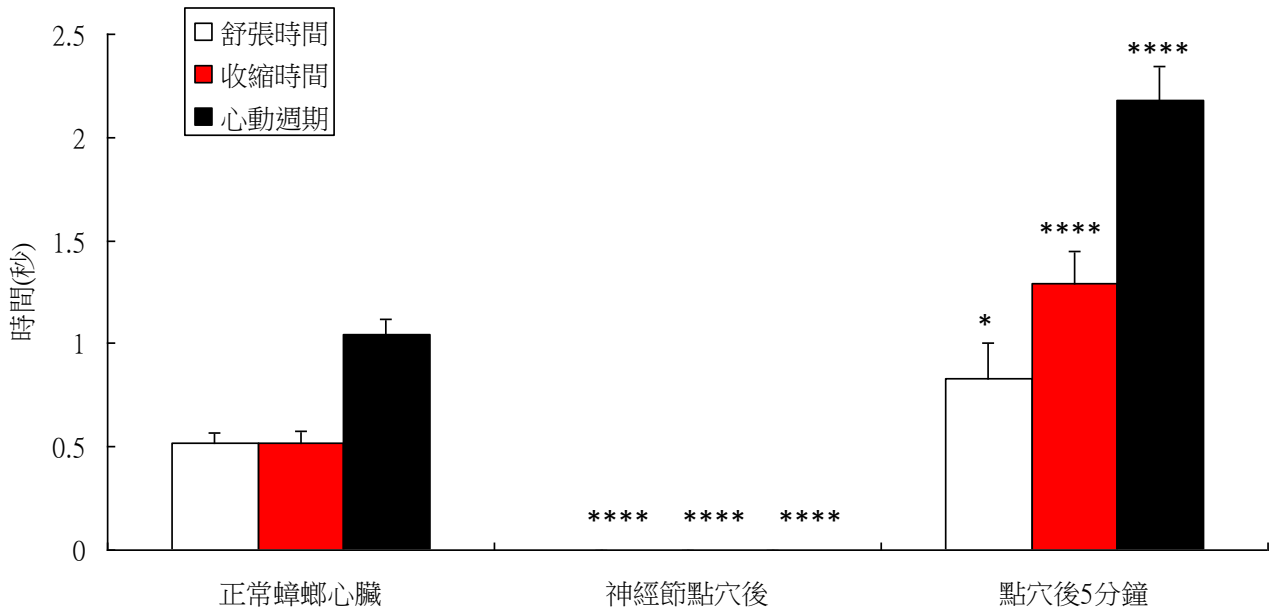


圖二十五 壓迫頭神經節、胸神經節、腹神經節與後足基節肌肉，對蟑螂產二氧化碳速率改變率的影響(平均 ± 95%信賴區間，取樣數=5 隻個體， $\alpha = 0.05$)。

四、壓迫胸神經對蟑螂心臟活動的效應

(一)、心臟收縮、舒張時間與心動周期時間

壓迫胸神經後可使蟑螂的心臟停止，約五分鐘後心臟開始跳動，但舒張與收縮時間皆增加，尤其收縮時間的增加更為顯著。由於舒張與收縮時間皆增加，心跳周期的時間長度亦增加，代表心跳率大幅下降(圖二十六)。



圖二十六 壓迫胸神經節，對蟑螂心臟舒張、收縮時間與心動週期的影響

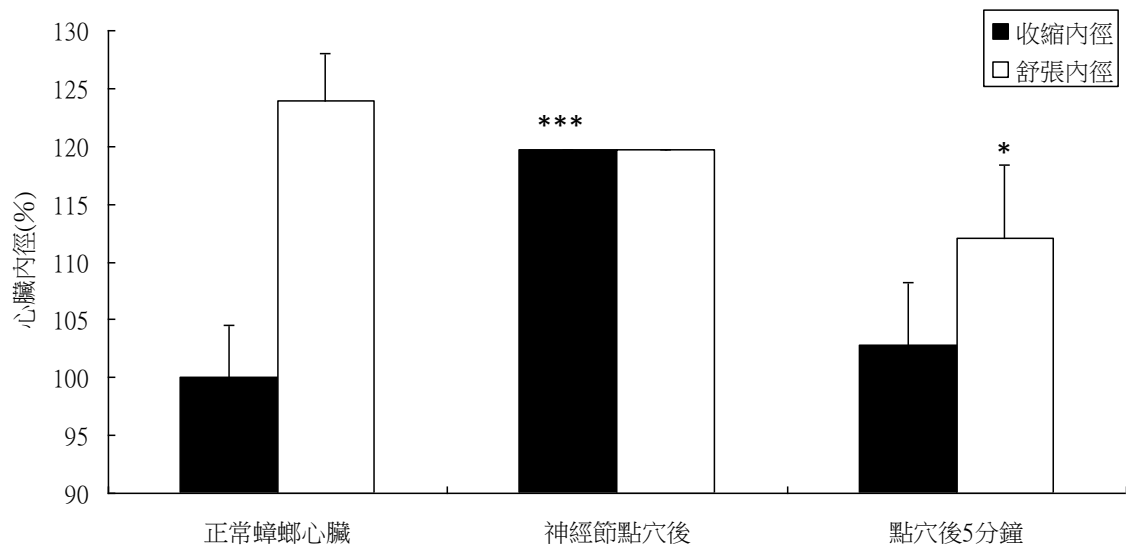
(平均 \pm 標準誤，取樣數=10)。

與正常蟑螂相比：*： $p = 0.06$ ；****： $p < 0.001$ (單尾配對 t 檢定)。

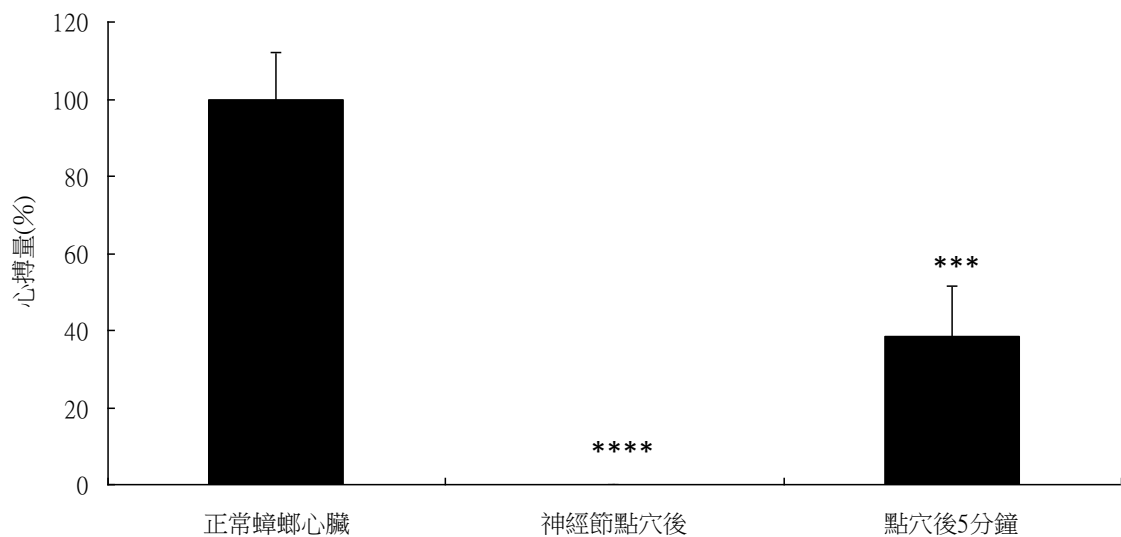
(二)、心臟收縮與舒張時的內徑，與心搏量

壓迫胸神經節後可使蟑螂的心臟停止，此時心臟的內徑大約與正常狀態的舒張內徑一致。約五分鐘後心臟開始跳動，此時收縮內徑恢復，但舒張的內徑比正常時小(圖二十七)。

由於壓迫胸神經節後蟑螂的心臟停止，心搏量為 0。五分鐘後心臟開始跳動，此時因舒張內徑比正常時小，故心搏量比正常時小(圖二十八)。



圖二十七 壓迫胸神經節，對蟑螂心臟舒內徑張與收縮內徑的影響(平均 \pm 標準誤， n =取樣數)。
與正常蟑螂相比：*： $p = 0.06$ ；****： $p < 0.001$ (單尾配對 t 檢定)。



圖二十八 壓迫胸神經節，對蟑螂心臟心搏量的影響(平均 \pm 標準誤， n =取樣數)。
與正常蟑螂相比：***： $p < 0.005$ ；****： $p < 0.001$ (單尾配對 t 檢定)。

本研究透過壓迫蟑螂頭神經節、胸神經節、腹神經節或步足肌肉，探討對步足運動行為與代謝生理的效應，所得之研究結果彙整成表二與表三。

表二 壓迫頭部神經節、胸部神經節、腹部神經節或單側後足基節肌肉，對各項後足運動參數的效應比較。(↑：增加；↓：減少；—：不變，黃色背景代表點穴期的效應)

比較項目		壓迫神經節			壓迫單側後足基節肌肉	
		頭部	胸部	腹部	壓迫側後足	非壓迫側後足
反射反應率		↓	↓↓	—	↓↓	—
潛伏期	壓迫後	↓	未反應	—	未反應	—
	恢復後	—	↑	—	↓	—
耗時	伸直	壓迫後	未反應	—	未反應	—
		恢復後	—	—	—	↑
	縮回	壓迫後	未反應	↓	未反應	—
		恢復後	—	—	—	—
腿節轉動角度	伸直	壓迫後	未反應	↑	未反應	↑
		恢復後	—	—	—	—
	縮回	壓迫後	未反應	↑	未反應	↑
		恢復後	—	↑	↓	↑

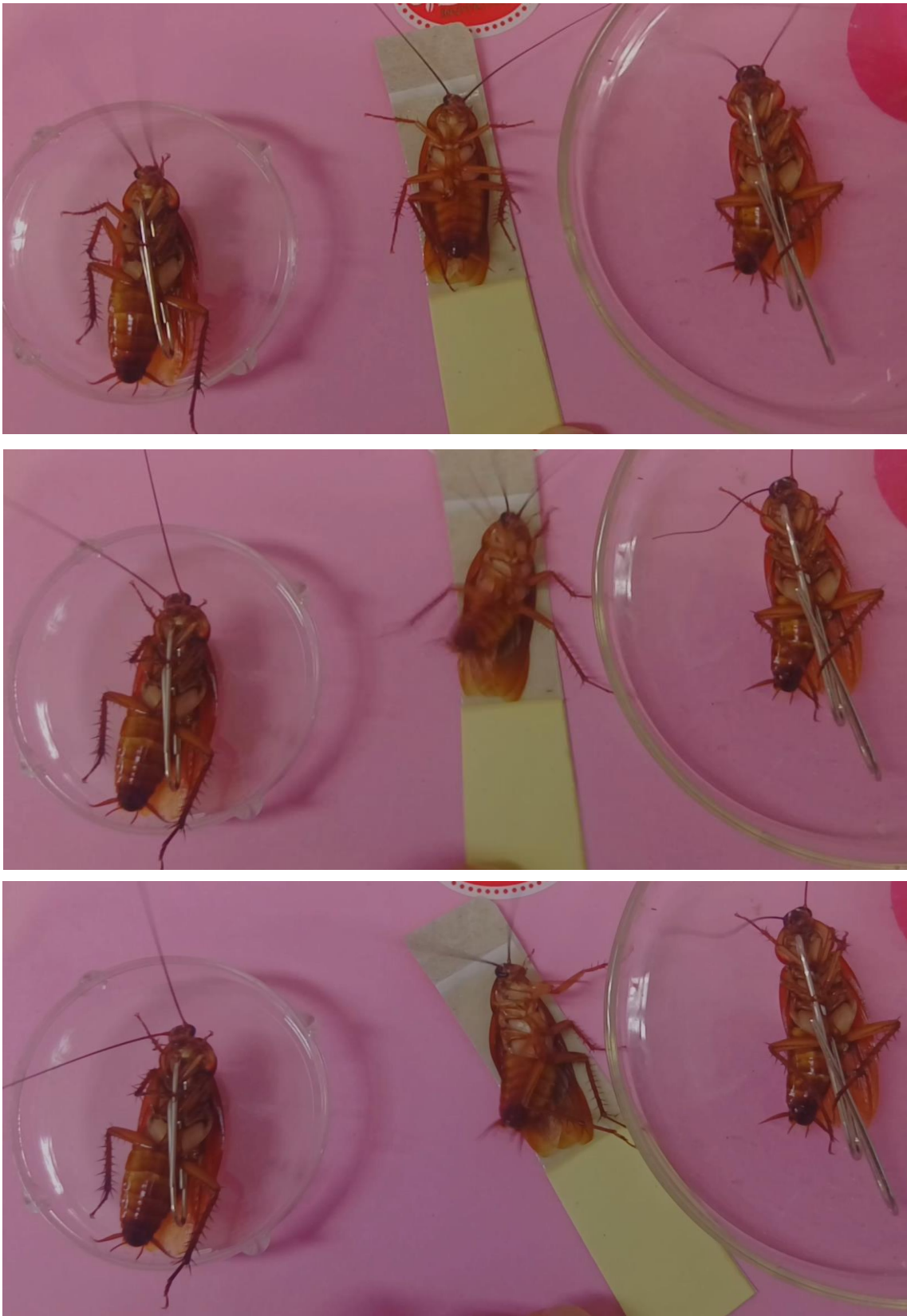
表三 壓迫頭部神經節、胸部神經節、腹部神經節或兩側後足基節肌肉，對各項代謝生理與心臟活動參數的效應比較。

(↑：增加；↓：減少；—：不變，黃色背景代表點穴期的效應)

比較項目		壓迫位置			
		胸部神經節	後足基節肌肉	頭部神經節	腹部神經節
耗氧速率	壓迫後	↓	—	↑	↓
	恢復後	↓	↓	↑	↓
產二氧化碳速率	壓迫後	—	—	↑	↓
	恢復後	—	—	↑	—
呼吸商	壓迫後	—	↑	↑	↓
	恢復後	—	↑	↑	↑
舒張時間	壓迫後	停止			
	恢復後	↑			
收縮時間	壓迫後	停止			
	恢復後	↑			
心動週期	壓迫後	停止			
	恢復後	↑			
舒張內徑	壓迫後	—			
	恢復後	↓			
收縮內徑	壓迫後	↑			
	恢復後	—			
心搏量	壓迫後	↓↓			
	恢復後	↓			

五、探討研究結果之應用性

以強力磁鐵與迴紋針以適當的吸引力夾住蟑螂胸神經節，可造成物理性持續麻痺效果(圖二十九)，而在取走強力磁鐵後解除物理性麻痺後，蟑螂步足的運動能力可於數十秒內逐漸恢復(圖三十)。代表物理性麻痺不但有效，且具有短期內的可逆性，可作為未來醫療手段的應用技術。



圖二十九 左與右側蟑螂以強力磁鐵與迴紋針以適當的吸引力夾住蟑螂胸神經節，造成物理性持續麻痺效果；中央蟑螂為對照組，六足持續強烈爭扎運動。



圖三十 解除物理性麻痺後，蟑螂步足的運動能力可於數十秒內逐漸恢復。

陸、討論

本研究在比較壓迫頭部神經節、胸部神經節、腹部神經節與步足肌肉後，我們發現壓迫胸部神經節對步足的麻痺效果大於壓迫頭部神經節、腹部神經節與步足肌肉，其所需的恢復時間較長，恢復期間的潛伏期亦較長。壓迫胸部神經節、腹部神經節或步足肌肉亦可抑制耗氧速率，壓迫胸神經節所需的恢復期間亦較長，壓迫頭部神經節則可增加耗氧速率。壓迫胸部神經節亦能抑制心跳，使心跳率與心搏量下降。證明物理性麻醉胸神經節，可針對胸神經節的功能－附肢運動的引發、整合與調解，產生麻痺的效果。

我們也發現壓迫單側後足基節肌肉後，同側步足在恢復期間，潛伏期下降、腿節縮回角度增加，可能可以補償步足功能的低下，屬於「時間上的補償效應」。另外對於非壓迫側的步足，不但無麻痺效果，腿節的伸直與縮回角度皆有增加的趨勢，可能可以補償另一側步足功能的低下，屬於「空間上的補償效應」。蔡與蔡(2011)曾探討蟑螂失去單側步足後對翻正反射的效應，發現了阻斷單側訊息輸入，對兩側後腳的調節作用是不同的「側化現象(lateralization)」。本研究亦發現壓迫單側步足肌肉，對非壓迫側的步足亦產生「空間上的補償效應」。在蔡與蔡(2011)的研究成果中，亦發現側化現象在不同恢復期間亦有不同的表現，本研究也發現類似的「時間上的補償效應」。

當昆蟲面臨危險與強烈刺激時，其體內的壓力激素-章魚涎胺濃度增加，引發戰或逃反應(fight or flight response)，使昆蟲的代謝速率增加(蔡，2003a、b)。壓迫胸部神經節、腹部神經節或後足基節肌肉，皆降低蟑螂耗氧速率，這個現象與一般刺激昆蟲所引發的戰或逃反應相反，代表蟑螂點穴時不會引發戰或逃反應，卻較為類似警告費洛蒙所引發的耗氧速率下降現象(鄧等人，2017)，也就是昆蟲進入了「低調與供應(Quiet & Supply)」的生理狀態，低調與供應是引發戰或逃反應之前的預備狀態(鄧等人，2017)。

壓迫胸部神經節可使蟑螂心跳停止，可能是因為壓迫蟑螂胸部中線時，亦會一併壓迫到心臟，在壓迫後五分鐘時，心跳逐漸恢復跳動，但心跳率與心搏量仍比對照組低。我們之前曾觀察：即使蟑螂心臟停止跳動，仍維持行為能力，故點穴的麻痺效果，並不是因為心臟停止所造成。

本研究可證明各部位之神經節若分別受到抑制，會產生不同的現象，此結果可使類似於此物理性麻痺的醫療，應用於人類醫學上。

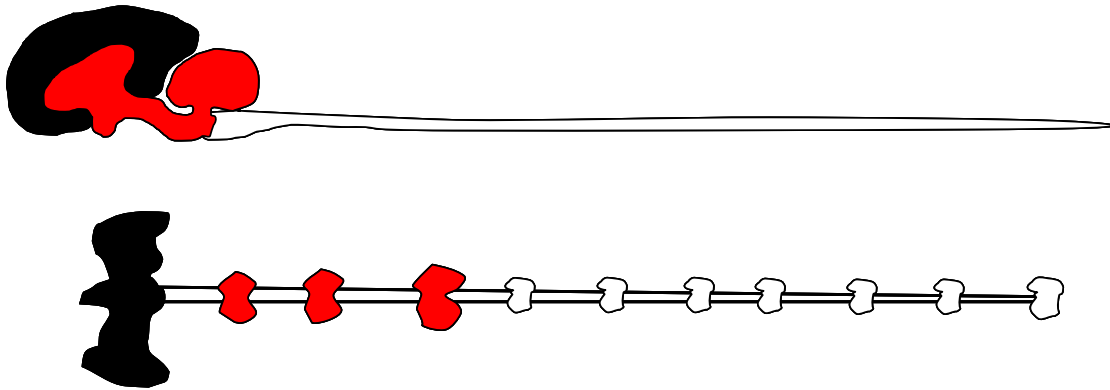
柒、應用性

人類與昆蟲的神經系統皆相當發達，但昆蟲管理各反應的神經分別分布於頭、胸、腹，而人類則是全部集中於腦部的部分(圖三十一)。即使如此，在分區功能的方面，仍然有異曲同工之妙。

依據本實驗的結果，當各部位的神經節分別受到抑制時，其個體所產生的反應也不盡相同，甚至有很大的差異。

這樣物理性痲痺的結果我們認為可應用於人類醫學上，像是利用儀器使大腦接受非化學性的治療，鎖定某個腦部區塊進行物理性的醫療，甚至根據我們的實驗結果，將這項技術應用於神經系統之外的動器上也非不可能。

此想法並非空談，先今已有運用類似於此醫療技術，像是無創式(非侵入性)超音波腦部局部藥物監控釋放。利用此物理性治療模式來醫治各種內傷疾病並在臨床上進行，無非是現代醫療的新趨勢。



圖三十一 人體與昆蟲的中樞神經系統型態比較。黑色區域負責意識、記憶、決策等功能；紅色區域負責附肢運動的整合與協調；白色區域負責內臟反射與局部附肢反射。

捌、結論

- 一、壓迫各部位神經節與步足肌肉對後足反射運動的效應：
 - (一)、壓迫胸部神經節或單側後足基節肌肉後，步足的反射大幅消失，但壓迫胸部神經節的恢復期較長，非壓迫側步足的潛伏期及伸直與縮回所花時間皆不受影響。壓迫頭部神經節的效果較弱，而壓迫腹部神經節則無影響。
 - (二)、壓迫胸部神經節一小時後，步足反射潛伏期增加，壓迫頭部神經節步足反射潛伏減少，但壓迫單側後足基節肌肉一小時後，步足潛伏期減少，同時非壓迫側步足的步足伸直所花時間略微增加，壓迫腹部神經節則是無明顯變化。
 - (三)、壓迫胸部神經節後一小時，腿節縮回的轉動角度增加，屬於「時間上的補償效應」。
 - (四)、壓迫單側後足基節肌肉後，非壓迫側步足腿節的伸直與縮回角度皆增加。兩小時後，腿節的縮回角度仍比壓迫前大，屬於「空間上的補償效應」。
- 二、壓迫各部位神經節與步足肌肉對代謝生理與心臟運動的效應
 - (一)、壓迫頭部神經節使耗氧速率逐漸上升。壓迫胸部神經節使耗氧速率下降，一小時後下降幅度更大。壓迫腹部神經節則使耗氧速率下降。壓迫後足基節肌肉時，耗氧速率不變，但一小時後下降。
 - (二)、壓迫頭部神經節會使產二氧化碳速率上升，壓迫腹部神經節則使產二氧化碳速率下降。無論是壓迫胸部神經節或後足基節肌肉，皆不影響蟑螂產二氧化碳速率。
 - (三)、壓迫後足基節肌肉，可使蟑螂呼吸商增加，一小時後增加幅度更大，壓迫頭部神經節則使呼吸商逐漸上升。壓迫胸部神經節與腹部神經節則對呼吸商無明顯效應。
 - (四)、壓迫胸部神經節可使蟑螂心跳停止，可能是壓迫到心臟所致
 - (五)、在壓迫胸部神經節五分鐘後，心跳逐漸恢復跳動，但心跳率與心搏量仍比對照組低
- 四、本研究證明各部位之神經節若分別受到物理性抑制，會產生不同的現象，此結果可使類似於此物理性痲痺的醫療，應用於人類醫學上。

玖、未來展望

我們希望將這次的實驗套用到其他種類的昆蟲以及小型哺乳類的身上，並採用更多的樣本，使實驗結果與應用性更有說服力。

拾、參考資料及其他

- 水波 誠，2008。探索昆蟲微小腦。世茂。
- 高家敏、蔡任圃，2014。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。
- 高榆婷、胡品嫻，2015。無頭殭屍大解密-失去頭部對蟑螂循環、呼吸與代謝生理功能的效應。第48屆臺北市中小學科展高中組生物科優等作品。
- 張佳鈴、林金盾，1991。美洲蟑螂中樞神經的初步探討。師大生物學報，26，21-33。
- 張惠甄、劉曉玫、李依純、陳萱芳、周培萱，2006。穴位按摩臨床護理運用之文獻回顧。長期照護雜誌，10(1)，91-101。
- 張穎文、張永達、林金盾，1993。美洲蟑螂第六腹神經節之研究。師大生物學報，28，1-8。
- 劉茲妤，2018。小強酒醉會嗨還是茫?-酒精對蟑螂行為與生理之 Hormesis 與其他效應的探討。2018年臺灣國際科學展覽會動物學二等獎作品。
- 蔡任圃，2003a。章魚涎胺。科學月刊，407，971。
- 蔡任圃，2003b。人類 V.S. 昆蟲 大不同? 科學新天地，6，32-37。
- 蔡任圃、張凱淳、李彥翰、陳柏妮、陳暉瀚、林金盾，2004。缺氧對美洲蟑螂代謝的影響。師大生物學報，39(1)，41-48。
- 蔡宜庭、蔡任圃，2011。認識身編的小傢伙(八)—以蟑螂翻正反射模式探討阻斷單側附肢後的側化與調節現象。科學教育月刊，337，21-29。
- 鄭琬蓉、梁勻慈、鄭佳怡、蔡任圃，2007。認識身旁的小傢伙(三)—蟑螂翻正反射的觀察與探討頭、尾訊息輸入的調節作用。科學教育月刊，297，22-33。
- 鄧年芮、留詩暉、蔡任圃，2017。認識身旁的小傢伙(20)—警告費洛蒙可否引發蟑螂戰或逃之生理反應的探討。科學教育月刊，402，38-56。