

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 生物科

第一名

030310

中樞神經節對美洲蟑螂步足反射的影響

學校名稱：新北市立土城國民中學

作者： 國二 曹靖妤	指導老師： 徐碧穗 蔡任圃
---------------	---------------------

關鍵詞：美洲蟑螂、反射作用、中樞神經節

得獎感言

漫步在科學的道路上

做研究就像是走在一條坎坷崎嶇的道路上，或許一路上充滿了阻礙，或許摔得遍體鱗傷，也或許覺得孤單又漫長，但只要抬頭望向四周，就會發現路的兩旁永遠都有最燦爛的風景等著你。

過去在參觀科展時，總是用崇拜的眼光望著每一件科展的作品和作者，全國科展對我來說就像是一個遙不可及的夢，一個僅能仰望的世界。但這一次我戴上了作者證，以一個研究者的身分，背對著展板和評審與來賓分享我們的研究成果。

從認識蟑螂到現在，已匆匆的過了一年的時光，這一年來做實驗、分析數據、打報告、做海報，幾乎每一天都有待完成的工作等著我，但正是這些看似辛苦的工作，讓我學習到了很多課堂上從未教過的知識和經驗，也讓我的生活不再只有讀書或娛樂，而有了新的目標。我不知道在過程中我是否成長了，但我知道我很享受研究時的點點滴滴。

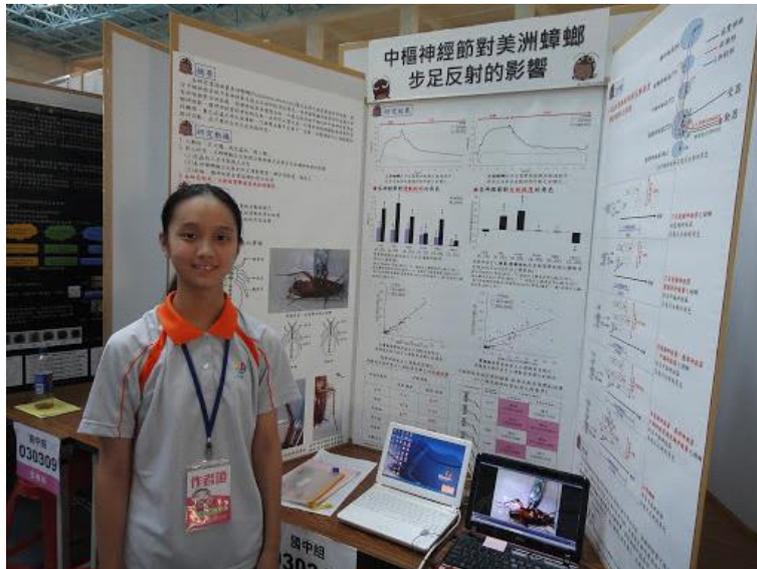
一路幸運地過關斬將到了國展，五天的國展時間開了眼界，看到自己的渺小。國展中每一件作品都是精挑細選後留下來的佳作，每一個人都投入了極大的心血和努力去解決一個問題，在這個舞台中，大家毫不保留的展現自己的成果、分享自己的想法。

自做科展開始，我深刻的體悟到所謂的「得之於人者太多，出之於己者太少」這句話，在研究的過程中有多少人的付出與協助，其實我已經數不清了：感謝老師的指導，讓我學會當一個好的科學家；感謝家人的支持和給我祝福與鼓勵的人，讓我更有信心走在研究的路上；感謝實驗動物的犧牲，讓我的實驗能順利進行。感謝所有為研究貢獻了心力的人，這份榮耀從來就不只是屬於我一個人的。

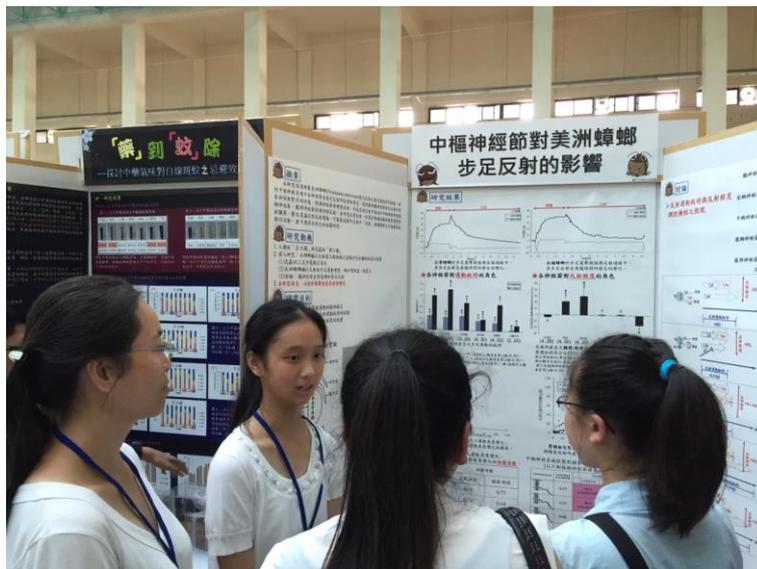
研究的旅途，還未畫上句點。未來也許能站上國際科展的舞台，期許自己在未來能有所成長，享受旅途中的每一處美景。



與指導老師於實驗室前合影



作者與展板合影



公開講解

摘要

本研究透過測量美洲蟑螂(*Periplaneta americana*)後足反射之程度與耗時等參數，探討中樞神經系統中各神經節在後足反射所扮演的角色。我們發現腦神經節對於反射作用有抑制與整合的效應，前胸神經節會增強反射，而後足的反射中樞位於中胸神經節與後胸神經節，腹部神經節則會抑制反射。本研究以電池座、釘書針與網路攝影機等簡單器材觀察、量化昆蟲足部反射運動，可推廣成國中生物中「反射」相關課程之行為觀察的探討活動，並可應用在仿生醫療上，有助於術後復健或輔具製造的相關研究。

壹、研究動機

在生物課中我們曾經學習過人體的神經系統和反射行為(自然與生活科技上冊第五章第二節)，學習到神經系統的基本單位是神經細胞，負責神經電流的接收與傳遞，神經系統可再分為由腦和脊髓組成的中樞神經、和由腦神經和脊神經組成的周圍神經；反射是指生物體為了維持適當姿勢或避免身體受到更嚴重的傷害，在受器接收刺激後未經大腦意識控制即由動器產生的反應。雖然皆具有反射機制，但昆蟲的神經系統與人類有相當大的差異，人類由大量神經細胞集中所形成中樞——大腦與脊髓來主宰神經的控管，但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(水波，2008)。前人已建立利用蟑螂翻正反射作為動物模式，以剪頭方式探討中樞神經的影響(鄭等人，2007)，另也有學者發現若蟑螂失去一側的附肢，在翻正反射的過程中，另一側附肢的運動具補償性的調節，稱為側化作用(蔡與蔡，2011)。昆蟲的行走模式為「三足步態」模式，也就是左前、右中、左後腳為一組，剩下三腳為一組，兩組步足交替運動形成行走或逃亡行為。若失去腦神經節後，昆蟲的三足步態模式即消失，代表腦神經節負責協調、整合反射，另外失去腦神經節的蟑螂，其翻正反射過程中步足的運動變得很慢、腳步間距拉得比較遠、幅度的大(蔡與蔡，2011)。然而前人的實驗中，利用蟑螂自然發生的翻正反射進行量化分析，其實驗設計無法得知引發反射的刺激強度，也就是無法控制反射弧中的刺激大小，難以比較刺激強度與反射程度的關係，因此我們思考是否可以透過控制電擊強度，探討電擊步足肌肉引發收縮而改變步足各節間的夾角，再透過測量步足的反射運動，可得知刺激強度與反射程度的

關係，進而研究中樞神經系統中的各神經節在步足反射中的角色，這樣的實驗設計讓我們得以控制各項變因，進行單一因子變因的探討，更具操控性。目前國中生物課程並沒有安排有關反射的實驗，若是想更深入的了解反射的神經傳導調控機制，複雜精細的人體也不適合作為實驗的材料。相較之下，昆蟲的神經系統較為簡單，是否可以利用易取得的美洲蟑螂進行簡易的實驗觀察並了解反射呢？這些問題，讓我著手準備實驗。

貳、研究目的

- 一、建立電擊刺激與反射運動的動物模式
- 二、探討各神經節對步足反射運動耗時的效應
- 三、探討各神經節對步足反射程度的效應

參、研究設備及器材

一、研究設備及器材(表一)

表一 實驗設備及器材

編號	名稱	型號或規格	數量或備註
1	電池座	可串聯 2 顆電池	1 個
2	電池	三號鹼性電池	2 個
3	漆包線	10 公分	2 條
4	釘書針	NO.1200	2 針/隻
5	軟墊	約 0.75x3 公分	1 片
6	蟑螂屋貼紙	約 1x4 公分/隻	上黏蟑螂屋
7	解剖器材	鑷子、剪刀	
8	錐形瓶		
9	二氧化碳鋼瓶		
10	網路攝影機	E-PCC072	
11	電腦設備		

二、實驗動物

(一)、實驗動物簡介

美洲蟑螂(American cockroach, 學名:*Periplaneta americana*)成蟲體長約 3-4 公分。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，以避免母蟲生殖周期或攜夾卵鞘的干擾，且實驗過的動物不再進行實驗。蟑螂六肢步足的運動神經由胸部發出，分別為前胸(前足)、中胸(中足)、後胸(後足)，實驗將釘書針插入右後足基節的伸肌，透過通電引發基節伸肌收縮。本研究為了方便插入釘書針，實驗動物皆先以二氧化碳進行蟲體麻醉以利操作。

(二)、飼養方法

實驗動物來自台北市中山女高的蟑螂實驗室，飼養於室內昆蟲箱，飼養之環境溫度約 25~28°C，每周定期換水、提供充足飼料(玉米、大麥磨成粉製成)。

肆、研究過程或方法

一、建立蟑螂步足經電擊刺激而引發的反射行為的動物模式

為探討中樞神經系統中各神經節對美洲蟑螂步足反射的影響，我們以電擊引發步足運動之後再產生反射，進而比較後足反射的角度變化。電擊裝置是將兩針釘書針的一端以相距約 0.3 公分釘於軟墊上，將銅絲與電池座連接釘書針，此為電擊刺激器。將電擊刺激器上游離的兩針釘書針插入右後足基節的伸肌後(圖一)，以 3 伏特的電壓刺激基節的伸肌，蟑螂後足會因刺激而伸直，再產生反射作用使後足縮回(圖二)。電擊刺激約一秒後，再間隔兩秒後進行下一次電擊刺激，每隻實驗動物在每種因子條件下約電擊刺激十次。

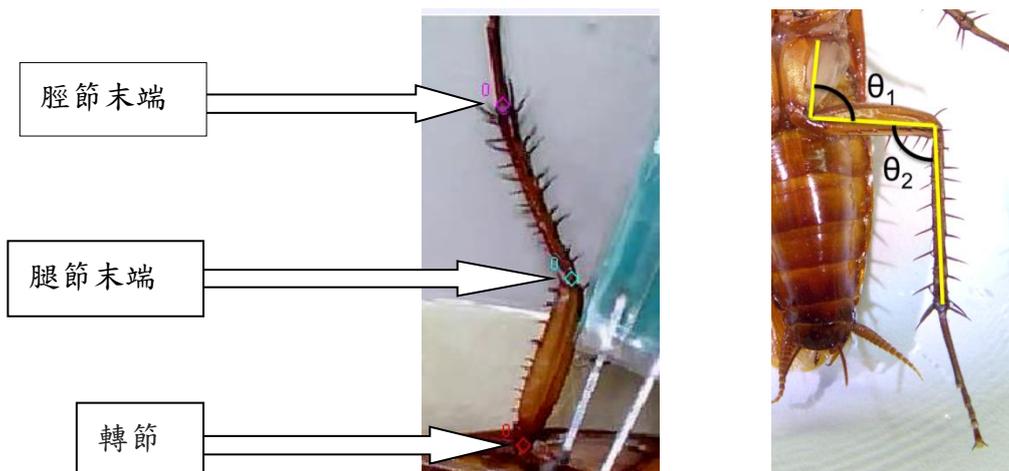
蟑螂的步足反射以網路攝影機錄製到電腦中，再利用影片分析軟體 Tracker(自由軟體，下載網址：<http://physlets.org/tracker/>)，於拍攝影片中點出轉節、腿節末端及脛節末端三個質點座標(圖三-1)，再將座標計算分析後得出每次電擊蟑螂右後足基節-腿節、腿節-脛節的轉動夾角(圖三-2)。各組數據間比較的統計方法皆採用單尾 t 檢定， α 值為 0.05，即 p 值 <0.05 時達統計顯著差異。



圖一 實驗裝置：就電擊位置的蟑螂。



圖二 實驗過程中蟑螂右後足經電擊刺激伸直，再經反射而縮回的過程。



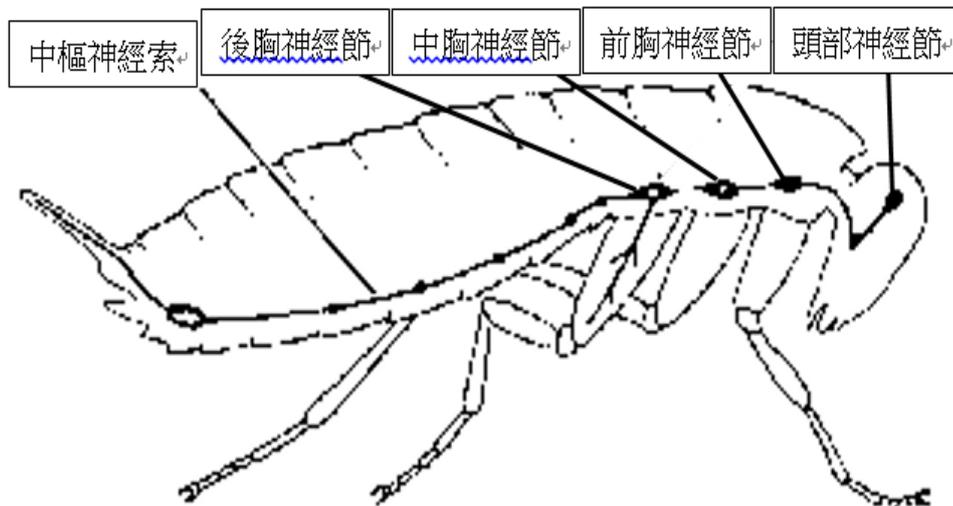
圖三 左：圖三-1 測量轉節、腿節末端及脛節末端三個質點座標。

右：圖三-2 經換算可知基節-腿節轉動夾角變化(θ_1)、腿節-脛節夾角變化(θ_2)。

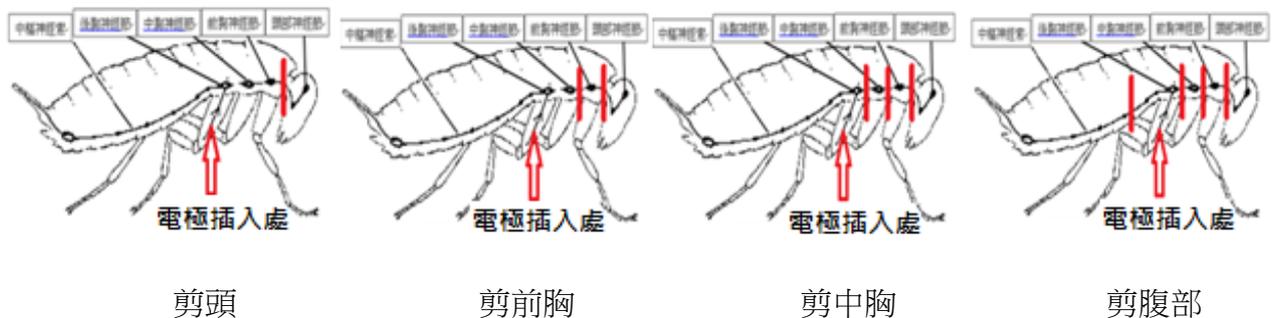
二、探討各神經節對美洲蟑螂反射的影響

蟑螂中樞神經系統分布如圖四，蟑螂的步足由胸部發出，其運動神經亦自胸部神經節發出，分別為前胸(前足)、中胸(中足)、後胸(後足)。

利用上述的動物模式與紀錄、量化方法，我們先紀錄正常蟑螂的步足反射，隨後剪斷腦神經節與前胸神經節間的神經索，再記錄刺激-反射的運動情形，然後以此方式依序再剪斷前胸神經節-中胸神經節間、中胸神經節-後胸神經節間、後胸神經節-腹部神經節間的神經索(圖五)，最後將右後步足由基部剪下(將步足與中樞神經完全分離)，再記錄刺激-反射的運動情形。



圖四 美洲蟑螂神經系統簡圖。

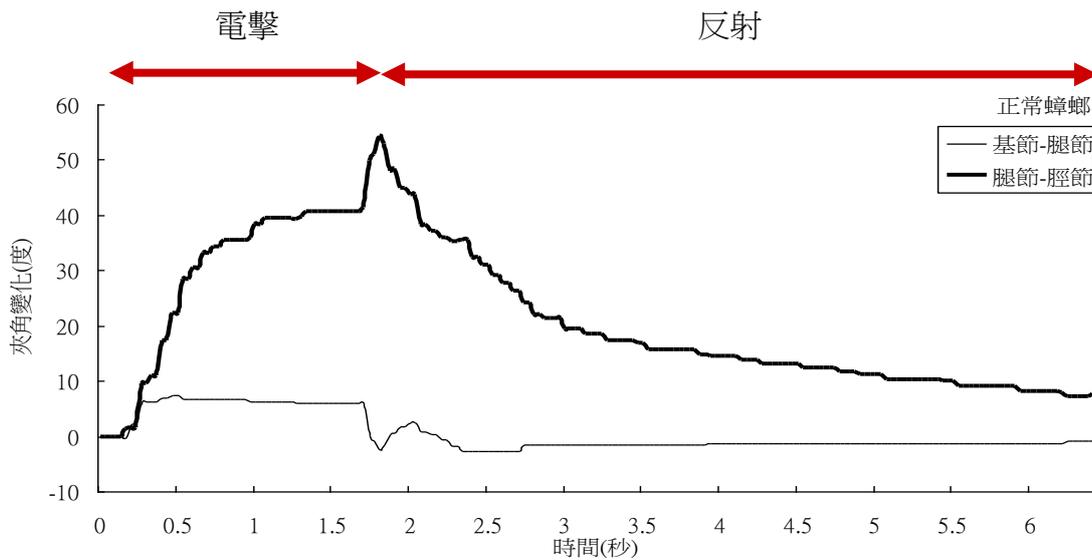


圖五 實驗過程中，阻斷中樞神經訊息連結的神經索剪斷位置。

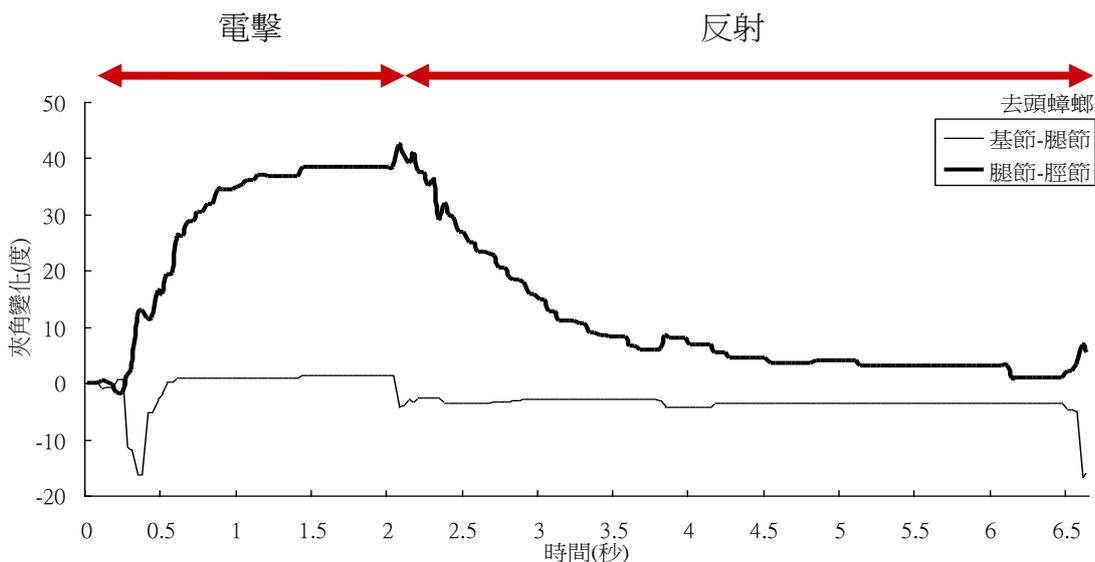
伍、研究結果

一、建立電擊刺激與反射運動的動物模式

本研究以簡易電擊刺激器與網路攝影機等工具，進行小型動物附肢之「刺激與反射」的記錄與量化方法。由正常(圖六)與去除頭部(圖七)個體的步足「刺激-反射」角度變化的記錄可知，人工電擊刺激肌肉後，蟑螂右後足基節-腿節、腿節-脛節的夾角先增加而後減少，其中角度增加階段代表步足受電刺激而伸直，角度減少階段代表步足伸直而引發的縮回反射。



圖六 正常蟑螂於步足電擊刺激與反射過程中，其基節與腿節夾角、和腿節與脛節夾角隨時間所發生的變化。

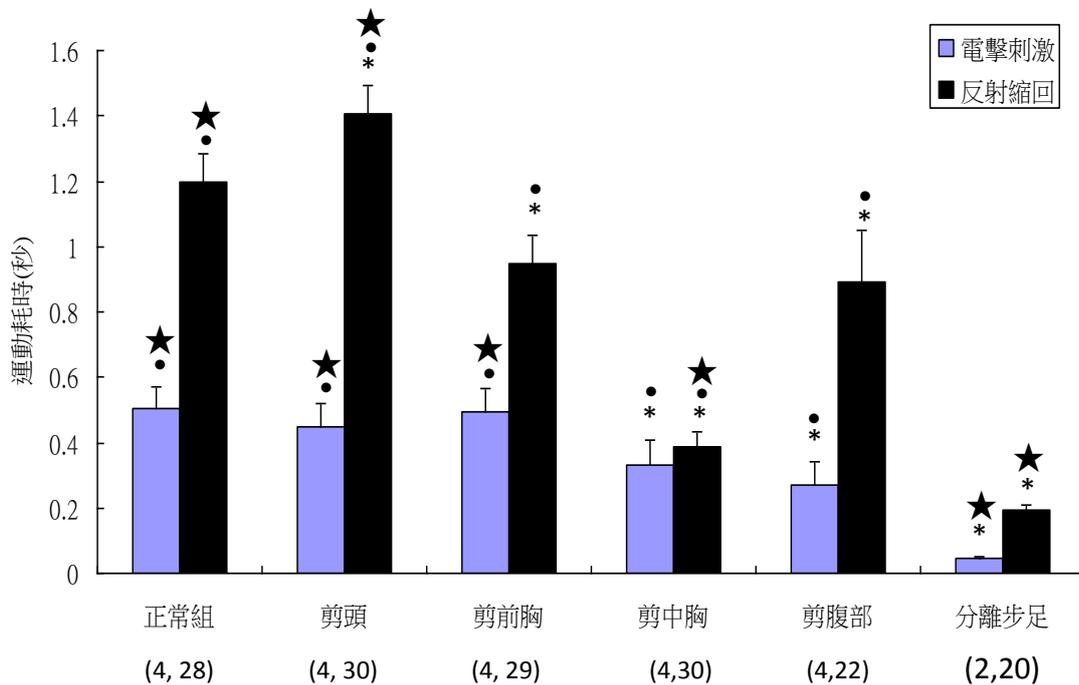


圖七 去頭蟑螂於步足電擊刺激與反射過程中，其基節與腿節夾角、和腿節與脛節夾角隨時間所發生的變化。

二、探討各神經節對步足反射運動耗時的效應

因電擊刺激而產生的步足伸直運動，其耗時在剪斷中胸-後胸神經節間的神經索後會減少，若步足完全與中樞神經系統分離後，其耗時縮得更短(圖八)，換句話說，腦、前胸、中胸神經節的存在會增加電擊刺激反應時間。

反射縮回時間方面，切斷蟑螂頭部神經節聯繫後，反射動作總時間拉長約 17%，剪去其餘後方神經節則縮短反射時間。分離步足則反應時間更短。



圖八 電擊刺激與反射所產生的之步足運動的耗時(平均 ± 標準誤)，

取樣數=(隻數，行為次數)。

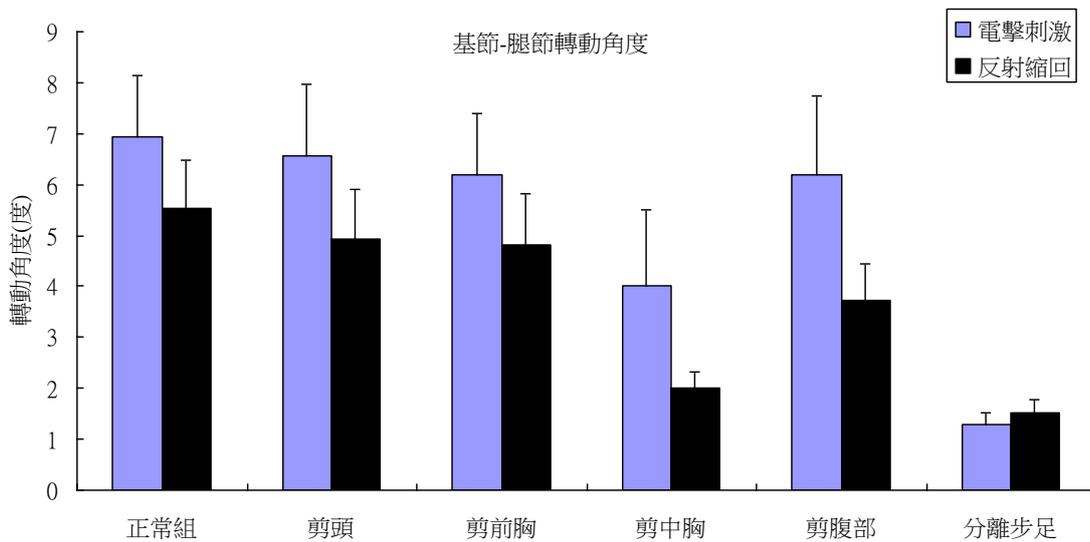
與正常組相比(單尾 t 檢定)：*：達統計上顯著差異(p 值 <0.05)。

與分離步足相比(單尾 t 檢定)：：達統計上顯著差異(p 值 <0.05)。

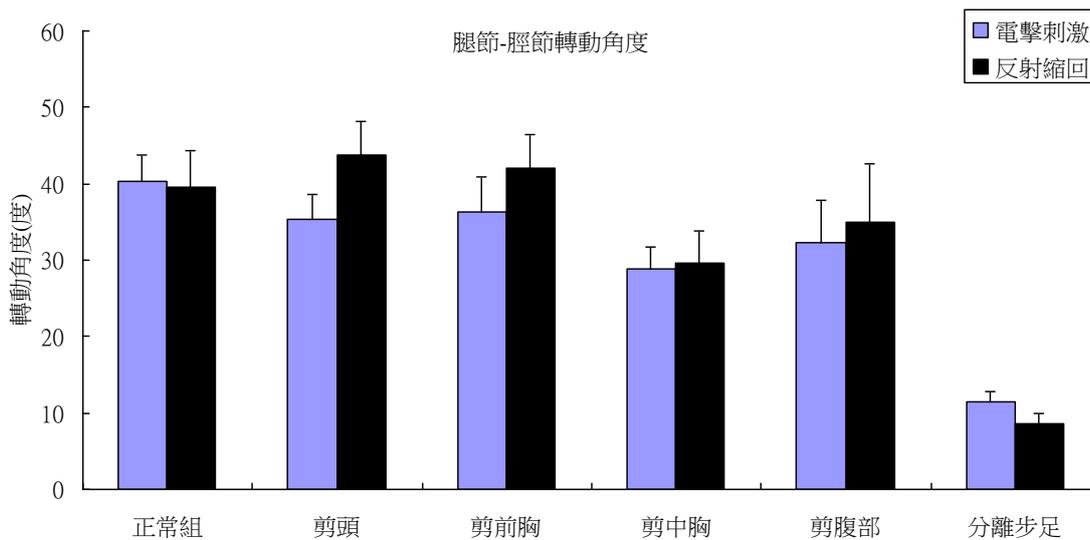
與只有後胸神經節組(剪腹部組)相比(單尾 t 檢定)：★：達統計上顯著差異(p 值 <0.05)。

三、探討各神經節對步足反射程度的效應

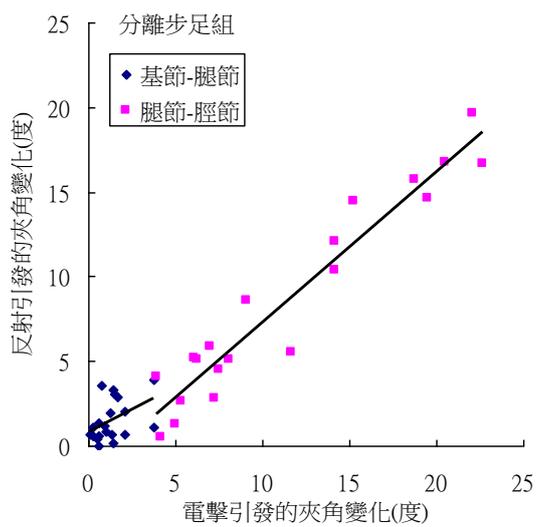
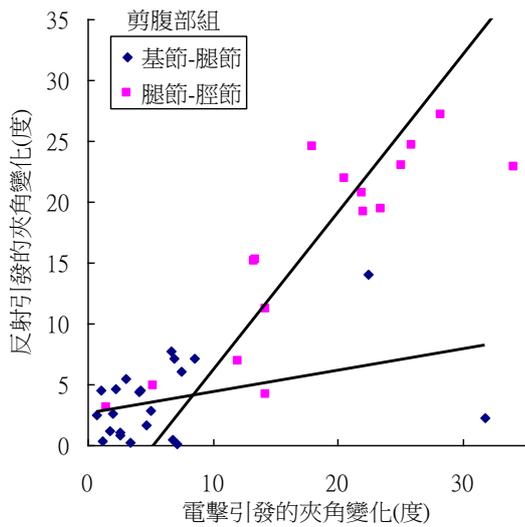
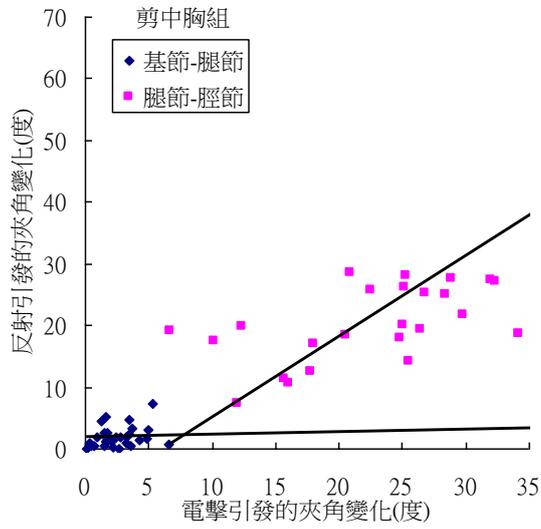
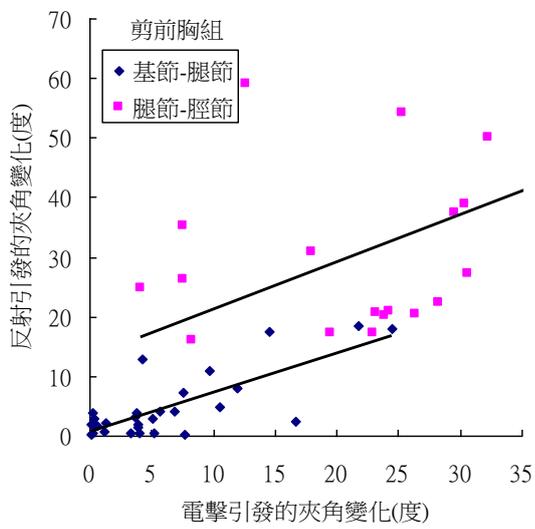
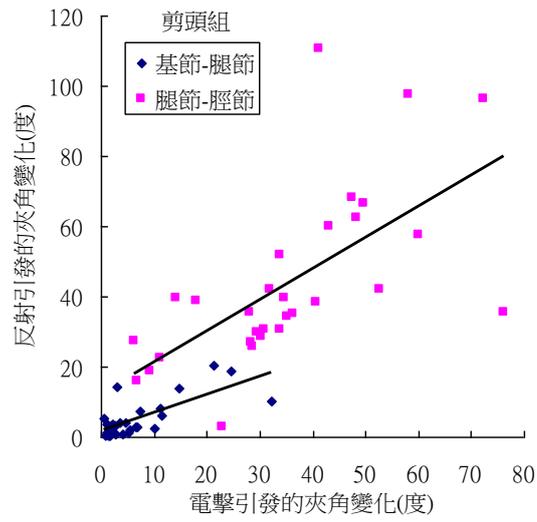
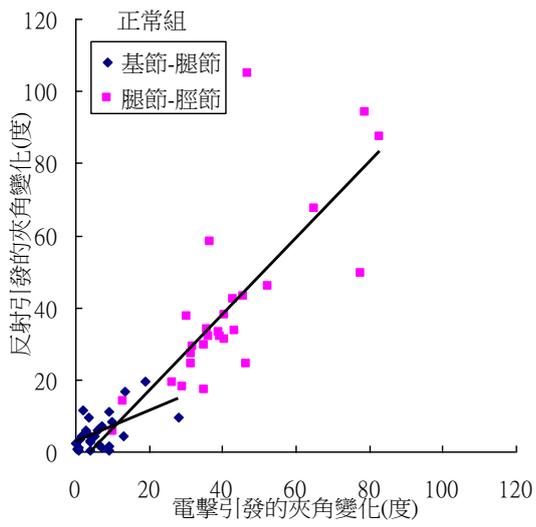
由圖九、圖十可知，不論有無神經節，腿節-脛節轉動角度皆遠大於基節-腿節轉動角度，分離步足的轉動角度皆遠小於有神經節存在的情況。電擊刺激強度與反射強度呈線性關係(圖十一)，即電擊刺激越強，反射越強。其中剪頭後的角度變化可以達到 80 度，其他處理最多只到 35 度左右，分離步足的角度變化最多只有 25 度。



圖九 電擊刺激與反射所產生的之基節-脛節轉動角度(平均 \pm 標準誤)，取樣數如圖八。



圖十 電擊刺激與反射所產生的之腿節-脛節轉動角度(平均 \pm 標準誤)，取樣數如圖八。



圖十一 電擊刺激強度與反射強度的線性關係圖。

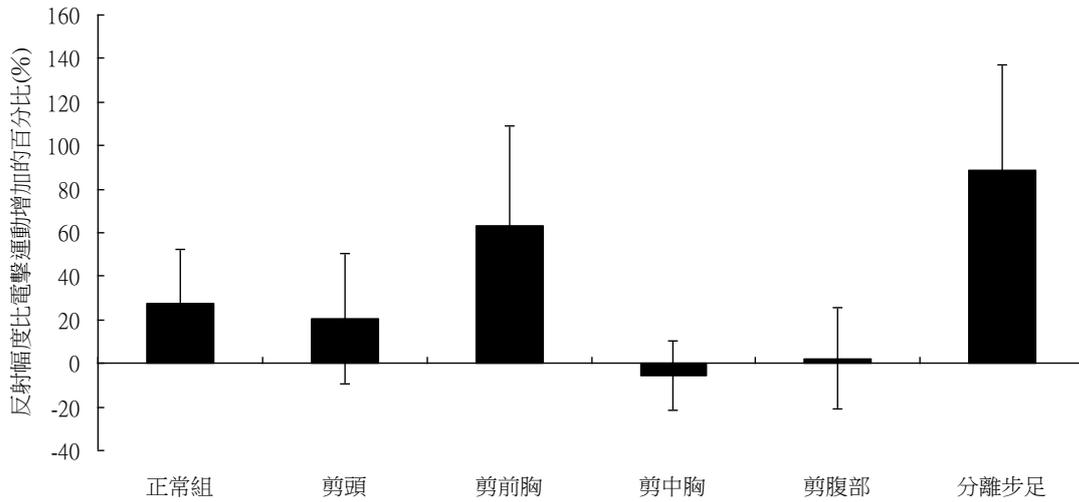
由表二可知，基節與腿節夾角相關係數較低，位於身體前方的神經節影響較明顯穩定；腿節與脛節夾角相關係數皆高，除剪頭外皆為高相關，且位於身體後方的神經節影響越明顯穩定。

表二 電擊刺激產生之運動角度變化，與隨後反射所產生之運動角度變化的相關係數。(相關係數>0.7 代表高度相關，0.7>相關係數>0.4 代表中度相關)

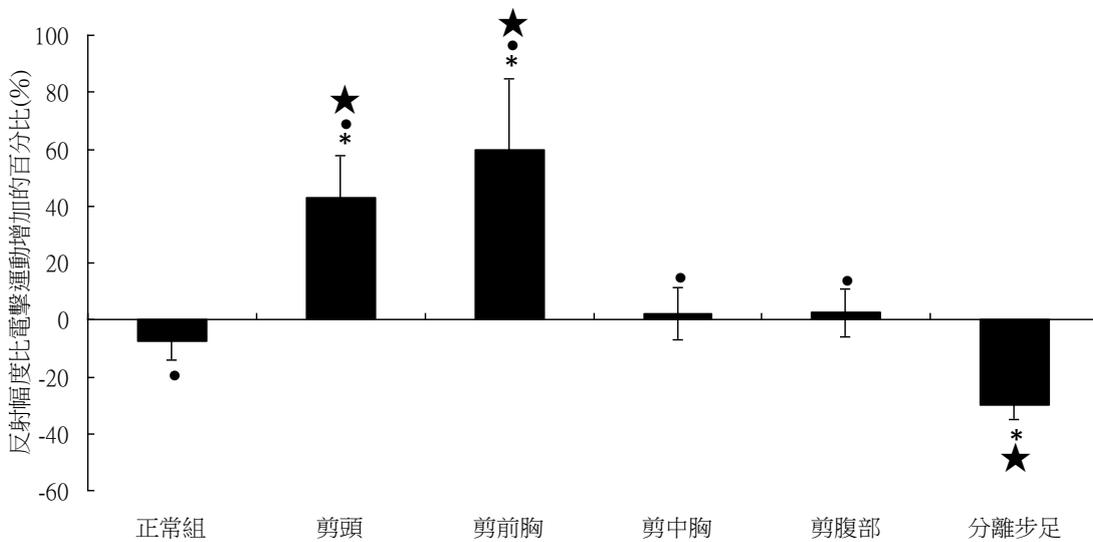
相關係數	基節-腿節	腿節-脛節
全身	0.55	0.77
剪頭	0.74	0.64
剪前胸	0.77	0.82
剪中胸	0.21	0.90
剪腹部	0.39	0.94
分離步足	0.43	0.96

實驗中即使是使用相同電池，電擊刺激的強度可能仍有不同，所引發的反射也有強弱之分，無法作為比較的標準；但若將電擊刺激引發的運動程度做為分母，反射運動程度作為分子，可得出反射程度/刺激強度的比值，即能進行比較分析。基節-腿節夾角的反射程度/刺激強度的比值如圖十二，腿節-脛節轉動角度的反射程度/刺激強度的比值如圖十三。我們發現去除腦神經節與剪斷前胸神經節-中胸神經節時，後足腿節-脛節轉動角度的反射程度/刺激強度的比值明顯增加，分離步足(無中樞神經系統)則明顯下降(圖十三)。

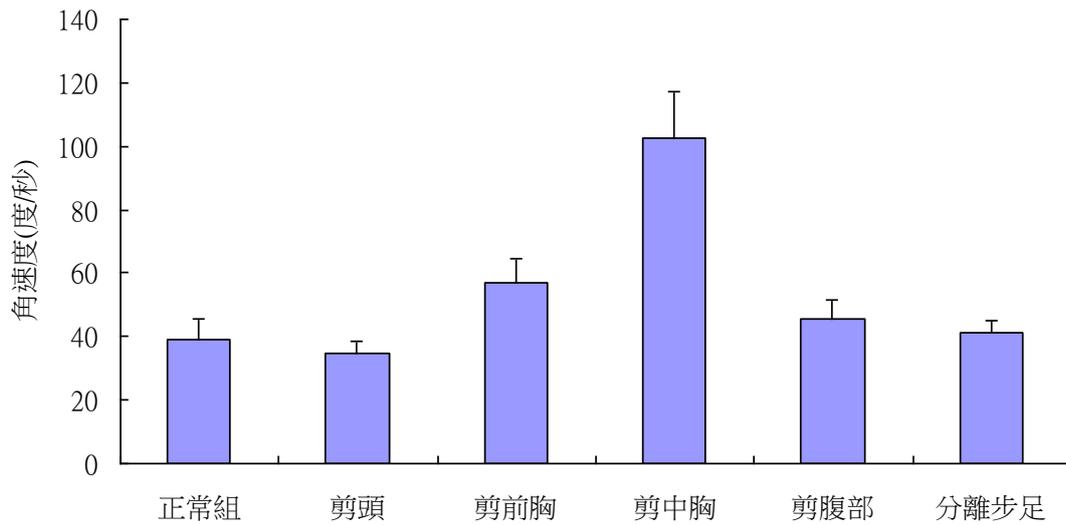
我們也比較了腿節-脛節轉動角速度(圖十四)與角速度的反射程度/刺激強度的比值(圖十五)。



圖十二 反射所產生的之基節-腿節轉動角度比電擊刺激引發之轉動角度增加的百分比(平均 ± 標準誤)，取樣數如圖八。(反射/刺激之角度比例)
 與正常組相比(單尾 t 檢定)：未達統計上顯著差異。
 與分離步足相比(單尾 t 檢定)：未達統計上顯著差異。



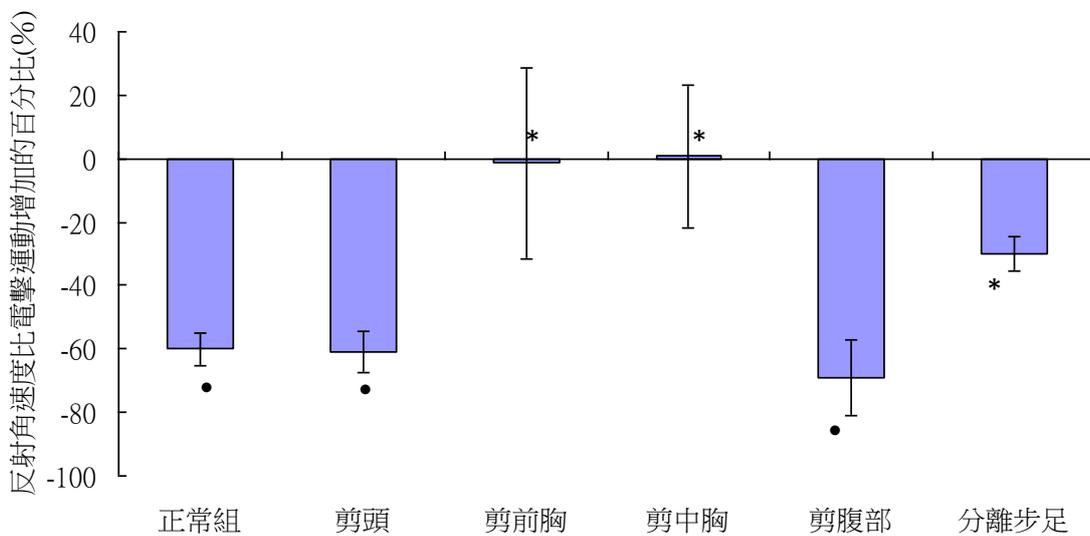
圖十三 反射所產生的之腿節-脛節轉動角度比電擊刺激引發之轉動角度增加的百分比(平均 ± 標準誤)，取樣數如圖八。【反射/刺激之角度比例】
 與正常組相比(單尾 t 檢定)：*：達統計上顯著差異(p 值 <0.05)。
 與分離步足相比(單尾 t 檢定)：：達統計上顯著差異(p 值 <0.05)。
 與只有胸神經節組(剪腹部組)相比(單尾 t 檢定)：★：達統計上顯著差異(p 值 <0.05)。



圖十四 反射所產生的之腿節-脛節轉動角速度(平均 ± 標準誤)，取樣數如圖八。【反射之角速度】

與正常組相比(單尾 t 檢定)：*：達統計上顯著差異(p 值 <0.05)。

與分離步足相比(單尾 t 檢定)：·：達統計上顯著差異(p 值 <0.05)。



圖十五 反射所產生的之腿節-脛節轉動角速度比電擊刺激引發之轉動角速度增加的百分比

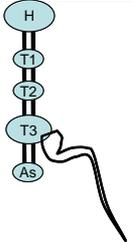
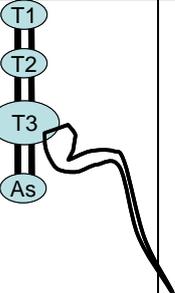
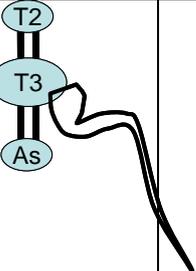
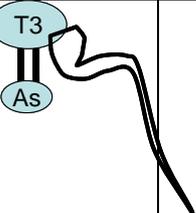
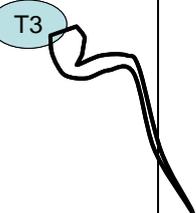
(平均 ± 標準誤)，取樣數如圖八。【反射/刺激之角速度比例】

與正常組相比(單尾 t 檢定)：*：達統計上顯著差異(p 值 <0.05)。

與分離步足相比(單尾 t 檢定)：·：達統計上顯著差異(p 值 <0.05)。

我們將所得的重要實驗結果整理如表三。

表三 中樞神經系統狀態對腿節-脛節反射各指標的效應
(以「只有後胸神經節」為對照組)，較大字體代表與對照組達統計顯差異(p 值 <0.05)。

中樞神經系統狀態	【反射/刺激】 角度相關係數	反射運動的改變程度	
		反射運動耗時	角度(反射/刺激)
	0.77	增加 0.30±0.09 秒	減少 9.85±6.72%
	0.64	增加 0.51±0.09 秒	增加 40.53±14.86%
	0.82	增加 0.06±0.09 秒	增加 57.14±25.18%
	0.90	減少 0.51±0.05 秒	減少 0.26±9.01%
	0.94		
	0.96	減少 0.70±0.02 秒	減少 32.31±5.46%

陸、討論

引發反射的刺激強度指標，不是電擊的伏特數或是電擊時間長短，而是電擊時腳部的角度變化，這可以代表肌肉被拉長的程度，肌肉拉得越長、產生的反射角度越大。電擊引發的角度變化可以當作刺激的強度，反射引發的角度變化可以視為反射的強度，當刺激越大，反射就越大(相關係數達 0.94)。

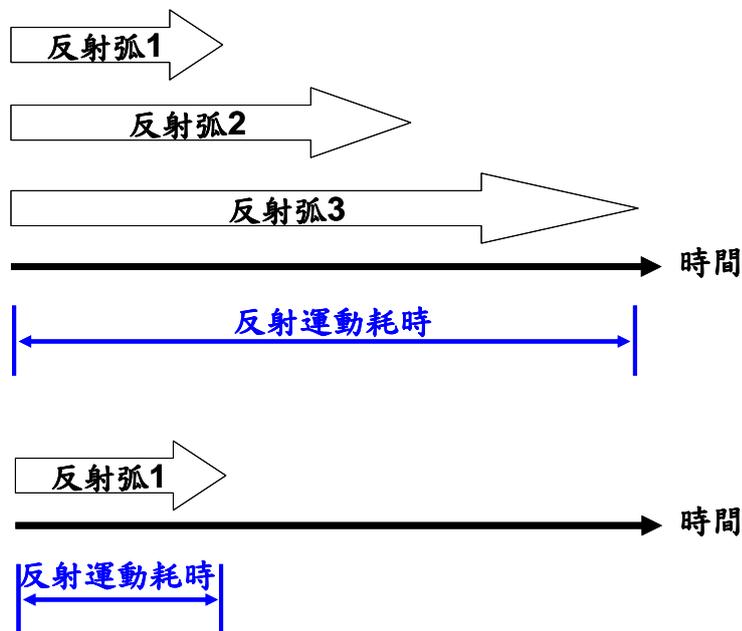
電擊位置在基節，預期基節-腿節的角度變化較大，但是實驗結果發現，腿節-脛節的動作角度較大。推測可能是電擊基節時因基節肌肉可能遭釘書針破壞及固定，但肌肉仍有收縮，夾角改變並使鄰近肌肉被拉動，之後發生反射性的縮短。電擊產生的角度改變，屬於人為的被動運動，之後發生的反射動作才是生物體主動產生的生物反應。

圖八中探討電擊刺激與反射所產生的步足運動之耗時。運動耗時是指從開始動作到動作停止這段期間。分離步足在電極刺激與反射所產生的步足反射運動耗時，比有神經節存在的情況更短，表示神經節可延長反應時間，減少肌肉因外力造成的劇烈改變而受損。

綜合比較實驗數據，我們推測中胸神經節和後胸神經節是腿節-脛節在電擊刺激和反射縮回的反應中主要的反射中樞，同時調節接收刺激時產生的反應。也就是說，雖然反射動作的產生不經過意識，但意識可能調節或改變反射動作--這類似人類的膝跳反射：當大腿肌用力時，膝跳反射的強度會減弱，正是中樞神經調節反射動作的例子。

若刺激和反射的相關係數越高，刺激和反射的相關性就越高。由表二的電擊與反射相關係數可得知，雖然電擊在基節，理論上應該要觀察近端的基節-腿節，然而這部分相關係數差異較大，反而遠端的腿節-脛節相關係數較高、幅度較大也較穩定。這表示，日後的相關研究可以只留後胸神經節，電擊基節，分析腿節-脛節的夾角，做為有穩定良好研究品質的實驗模式。

我們認為反射運動耗時的長短由最長反射弧的耗時(圖十六)影響，也就是說，若依反射運動包含多個反射弧，此反射運動的耗時長短會由耗時最長的反射弧決定，耗時最長的反射弧通常是反射神經路徑最長的反射弧。除此之外張力的維持亦會影響反射運動耗時，張力維持得愈久，反射運動耗時也就愈長。

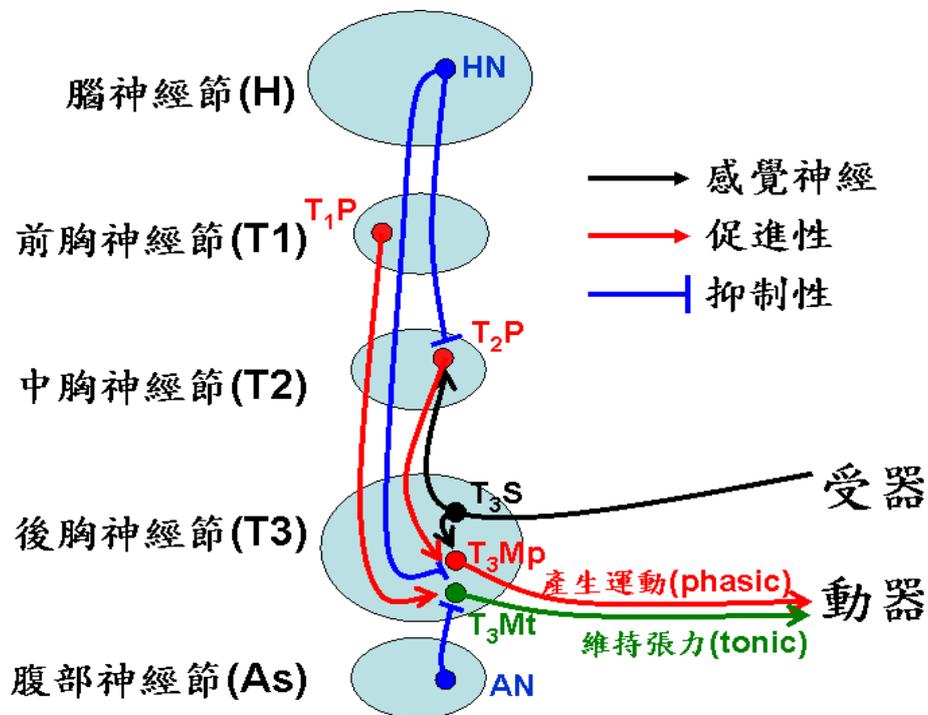


圖十六 反射弧與反射運動耗時關係簡圖。

腿節-脛節的角度變化中，可以看到正常組的反應不強，因為頭部神經節存在，有意識抑制反射。剪去頭部的情況下，存在的神經節表示為 $T_1-T_2-T_3-As$ ，反射程度/刺激強度比值高，依此類推，剪前胸的存在神經節為 T_2-T_3-As ，反射程度/刺激強度比值亦高，剪中胸後存在神經節為 T_3-As ，反射程度/刺激強度比值驟降，剪腹部神經節後存在神經節只剩下 T_3 ，反射程度/刺激強度比值也低。

依據本研究觀察蟑螂步足之腿節-脛節夾角在刺激與反射運動中的表現(表三)，我們提出各神經節在後步足反射弧所扮演之角色的假說(圖十七)，我們認為後步足的反射中樞有兩處，分別位於後胸與中胸神經節，若以圖十七假說示意圖中的代號表示，其反射弧分別為「受器→T₃S→T₃Mp→動器」，與「受器→T₃S→T₂P→T₃Mp→動器」，可引發後足的反射運動，另後胸神經節中有維持後足肌肉張力的運動神經(T₃Mt)，前胸神經節則會促進T₃Mt的中間神經元，而腦神經節具有可抑制T₂P與T₃Mp的中間神經元，腹神經節則有可抑制T₃Mt的中間神經元。

在前人的研究中，腦神經節具有整合、調控訊息的功能，在相關係數的數據中也證實了腦神經節具有整合所有來自外來刺激或內部反應的訊息的功能。



圖十七 「各中樞神經節在後足反射的角色」之假說。

T₃S：後胸神經節的感覺神經

T₃Mp：後胸神經節產生運動的運動神經

T₃Mt：後胸神經節產生張力的運動神經

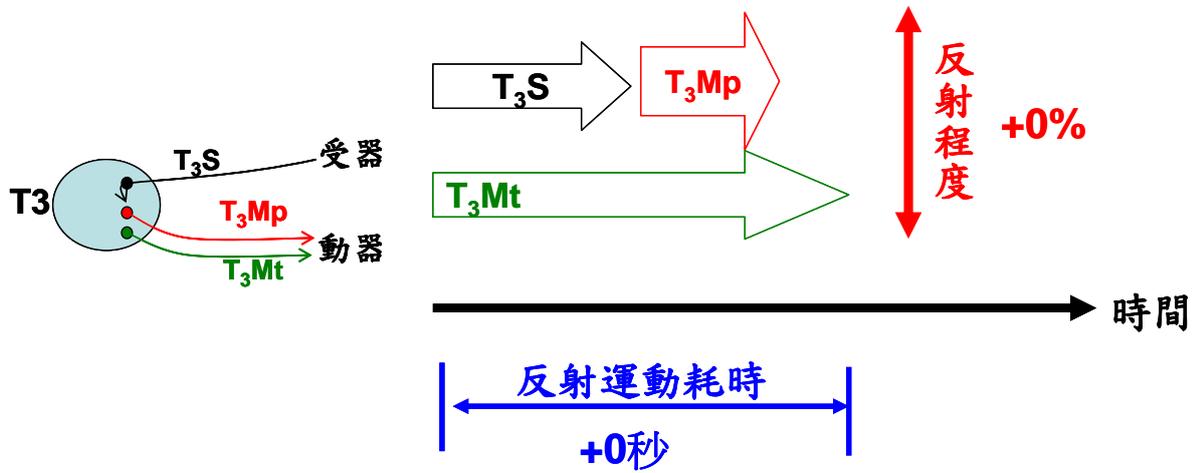
T₁P：前胸神經節中具促進效應的中間神經

T₂P：中胸神經節中具促進效應的中間神經

HN：腦神經節中具抑制運動效應的中間神經

AN：腹神經節中具抑制張力效應的中間神經

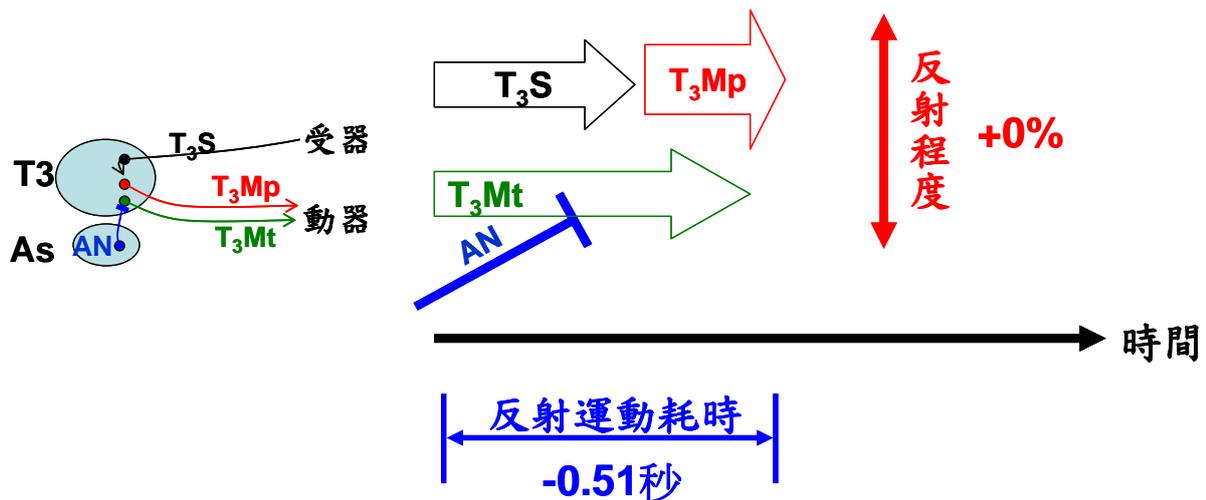
若蟑螂個體只具有後胸神經節（圖十八），為受電擊刺激時有神經節存在的最基本狀態，因此定為比較基準，反射程度及反射運動耗時均定為 0。



圖十八 只剩餘後胸神經節之蟑螂的各中樞神經節在後足反射的角色。

若蟑螂個體只具有後胸神經節與腹神經節時(圖十九)，由於只剩下 T3Mp 參與的反射弧，其反射弧路徑較短，T3Mt 受到腹部神經節的抑制維持張力，故此時反射運動耗時很短，比只有 T3 短 0.51 秒。

因 T3Mp 如圖十八一樣不受任何神經節的抑制，此時反射運動程度和只有 T3 相較之下沒有差別。

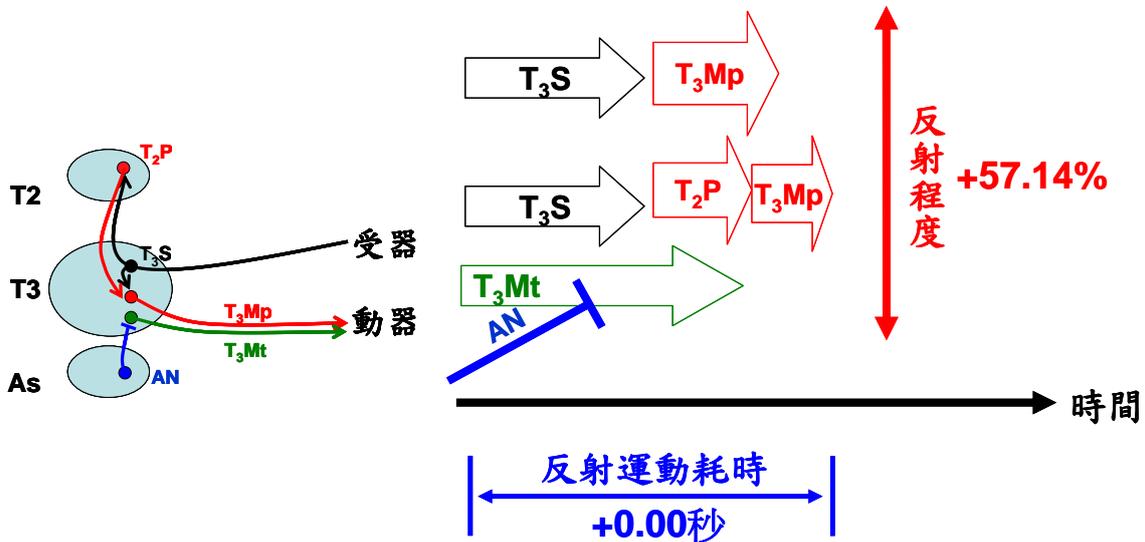


圖十九 若只剩後胸神經節與腹部神經節之蟑螂的各中樞神經節在後足反射的角色。

失去前胸神經節的蟑螂個體中(圖二十)，多了 $T_2P \rightarrow T_3MP$ 的反射弧，所以時間拉長。

兩個反射弧皆無腦神經節的抑制，故反射運動程度較正常蟑螂更大(比只有 T_3 多

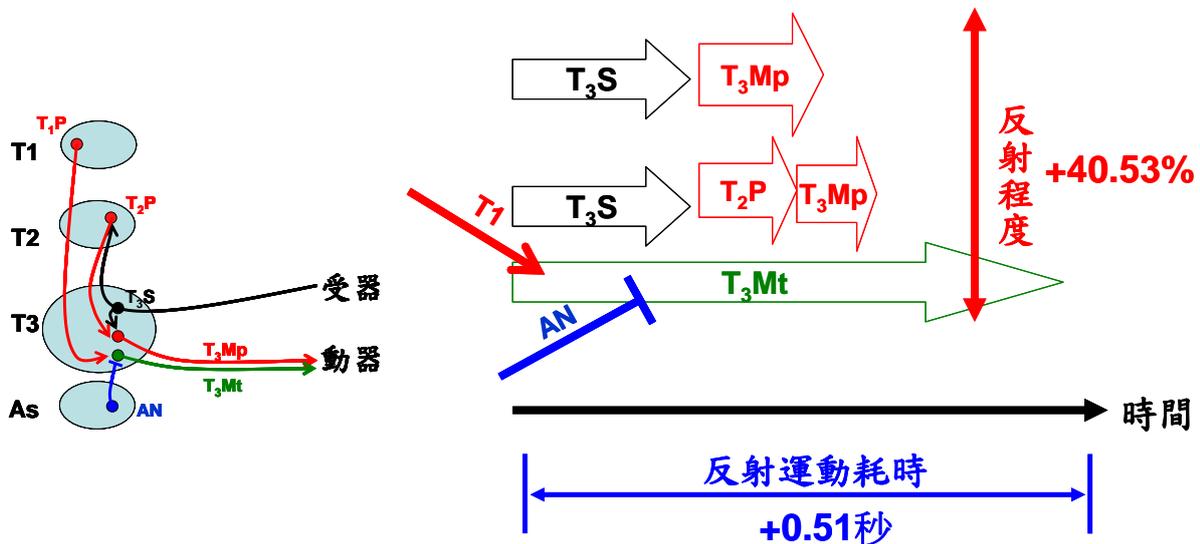
57.14%)。



圖二十 中胸神經節、後胸神經節與腹部神經節之蟑螂的各中樞神經節在後足反射的角色。

增加了 T_1 神經節後(圖二十一)， T_1 促進 T_3Mp ，張力可以維持得更久，所以耗時增加。

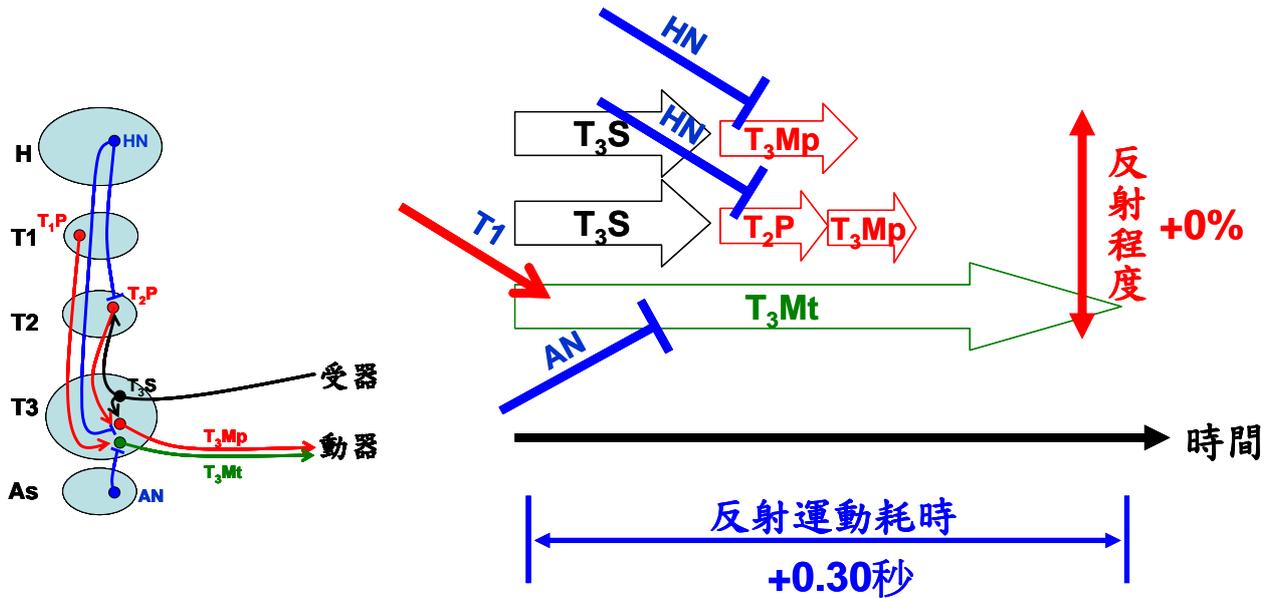
因為沒有增加更多反射弧，反射程度與圖二十相差不大。



圖二十一 前胸神經節、中胸神經節、後胸神經節與腹部神經節之蟑螂的各中樞神經節在後足反射的角色。

在正常的蟑螂個體中(圖二十二)，由於腦神經節中的抑制神經(HN)抑制了後足產生反射運動的運動神經(T₃Mp)，且腹神經節的抑制神經(AN)抑制了後足的產生肌肉張力的運動神經(T₃Mt)，但同時又受到 T₁ 的促進，此時反射運動耗時比只有 T₃ 多 0.3 秒。

雖然具有兩條反射弧，但腦神經節抑制了兩個反射弧的效應，所以反射程度變小，反射程度從增加 40.53% 變成不增加。



圖二十二 正常蟑螂的各中樞神經節在後足反射的角色。

柒、結論

- 一、美洲蟑螂腦神經節及腹部神經節具有抑制反射作用的功能，可調節反射作用的發生，前胸神經節可增強等長收縮，中胸、後胸神經節則是後足反射的反射中樞，有增強反射作用的功能。
- 二、藉由美洲蟑螂可以電擊刺激其足部使其產生反射作用，將電極插於基節時，腿節-脛節轉動夾角變化大且與電擊刺激相關性高，適合觀察反射及量化，日後可利用相同實驗方法進行藥物或仿生醫療等相關研究。

捌、參考資料及其他

- 王琛柱，2001。從生理特點淺析昆蟲繁盛原因。 **昆蟲知識** 38(6)。
- 任晃蓀，1985。從蟑螂的偵防——談動物行為學。 **科學月刊**，191。
- 蔡任圃，2006。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。
- 蔡宜庭、蔡任圃，2011。認識身邊的小傢伙(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。
- 張佳鈴、張金盾，1992。美洲蟑螂中樞神經的初步探討。 **師大生物學報**，第二十七期，21-33。
- 水波 誠，2008。 *探索昆蟲微小腦*。世茂出版有限公司。
- Makoto Mizunami(1999). Exploration into the Adaptive Design of the Arthropod “Microbrain”.
ZOOLOGICAL SCIENCE 16: 703–709
- DONALD M. WILSON(1965). PROPRIOCEPTIVE LEG REFLEXES IN COCKROACHES. *J. Exp. Biol.* (1965), 43, 397-409
- Angela L. Ridgel A Roy E. Ritzmann. Effects of neck and circumoesophageal connective lesions on posture and locomotion in the cockroach. *J Comp Physiol A* (2005) 191: 559–573
- Paul L. Schaefer, Roy E. Ritzmann. Descending Influences on Escape Behavior and Motor Pattern in the Cockroach. *J Neurobiol.* 2001 Oct;49(1):9-28.

【評語】 030310

1. 演講流暢，充分表現對試驗內容的自信。
2. 試驗目標明確，試驗設計合理，而施作也很流暢。
3. 為了確定每一神經節對後足間電擊的反射動作的影響，陸續截斷神經節的神經索，可能造成因神經斷裂，細胞壞死，功能有所改變，會影響結果的分析。