

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 生物(生命科學)科

040707

一躍千里

國立鳳新高級中學

作者姓名：

高二 曹長和 高二 蔡有方 高二 劉孟鑫

高二 曾勝彬

指導老師：

王美玲

壹、摘要

在生物課時，我們學到了動物肌肉與骨骼的運動。內骨骼動物是利用肌肉與骨骼運動，但根據我們的知識，昆蟲並不具有內骨骼，且肌肉無法附在外骨骼上作運動。因此我們做了一連串的研究。在實驗中，我們發現了比骨骼更輕、更薄的腱筋纖維和基節中控制方向的三對拮抗肌。我們也把跳躍足和步行足作比較，並發現跳躍足和步行足的異同點。最後，我們將外骨骼和內骨骼動物作比較，發現了昆蟲跳躍的秘密。

貳、研究動機：

生物課時，我們學到了動物肌肉與骨骼的運動。其中，跳躍可算是相當複雜的運動。內骨骼動物是利用肌肉帶動骨骼進行跳躍，但外骨骼動物到底是怎樣跳躍？

我們人類能跳躍的高度無法超過自身的 1.5 倍，但蝗蟲那條細細的腿卻能產生不可思議的力量使牠可以跳出自己身體的三十倍高度、十五倍長度。相對於人，等於約五十公尺高、二十五公尺遠。因此我們相當好奇牠的力量究竟源自於何處，牠的後腿到底有什麼秘密？

參、研究目的：

了解蝗蟲後腿的肌肉、關節及骨骼生長情形對其跳躍能力的影響。

肆、研究器材：

一、器材

(一)數位相機(Canon Digital IXUS400)	1 台
(二)解剖顯微鏡	1 台
(三)解剖刀	1 把
(四)解剖盤	1 個
(五)尖頭鑷子	2 枝
(六)大頭針	20 枝
(七)紅筆	1 枝
(八)燒杯	1 個
(九)透明膠帶	1 卷

(十)直尺	1 枝
(十一)游標尺	1 枝
(十二)電子秤(0.01g)	1 台
(十三)自製高度板(0.5cm)(圖 8)	1 片
二、藥品	
(一)乙醇(95%)	1 瓶
(二)亞甲藍液(附滴管)	1 瓶
(三)生理食鹽水(蝗蟲等張溶液-0.90%)	1 瓶
三、生物器材	
(一)長頭蝗(<i>Acrida turrita</i>)	數隻
(二)斑蝗(<i>Aiolopus tamulus</i>) (圖 5)	1 隻
(三)紅后負蝗(<i>Atractomorpha sinensis</i>) (圖 3)	1 隻
(四)褐背細斯(<i>Conocephalus maculatus</i>) (圖 4)	1 隻
(五)黃斑黑蟋蟀(<i>Gryllus bimaculatus</i>)	1 隻
(六)木蠨(查無學名) (圖 7)	1 隻
(七)蝗科的一種(<i>Chondracris</i> sp.) (圖 6)	1 隻
(八)牛蛙(<i>Rana catesbiana</i>)骨骼標本(圖 20、21)	1 副

伍、實驗過程與方法

一、跳躍測試

- (一)取蝗蟲(長頭蝗 ♂ ♀ 各三隻)測量其重量、身高、體長。
- (二)紀錄十次其跳躍距離及高度。
- (三)將蝗蟲右後腿抓住使其自割，再測量十次。

二、外部觀察

- (一)取蝗蟲(長頭蝗、斑蝗、紅后負蝗)，並觀察、比較其後腿之異同。

三、區分止滑構造

- (一)將蝗蟲左後腿跗節(圖 1)切除，並觀察對其跳躍過程之影響。
- (二)將蝗蟲左後腿脛節末端棘刺切除，並觀察對其跳躍過程之影響。

四、腿節肌肉運動觀察

- (一)將蝗蟲放入 95% 乙醇使其降低活動力。

(二)以解剖刀將一小部分腿節內側外骨骼去除。

(三)將露出的肌肉(圖 2、22)以亞甲藍液染色後置於解剖顯微鏡下觀察。

五、關節觀察

(一)將跳躍測試時自割下的後腿(以蝗蟲等張溶液浸泡)取出，並將腿節外骨骼切除至關節正上方。

(二)以尖頭鑷子與解剖刀將肌肉剔除。

(三)觀察關節外部型態(圖 13、24)。

(四)移動脛節使關節運動，並觀察其運動型態。

六、腿基部觀察

(一)將蝗蟲放入 95% 乙醇使其降低活動力。

(二)以解剖刀將蝗蟲後腿基、轉節與其四周之外骨骼切除(圖 14、16、23)。

(三)拉動後腿，觀察其肌肉活動情形。

(四)將腿節與轉節交界處外骨骼切除，觀察肌肉與腱筋的端點(圖 15)。

七、脛節、跗節觀察

(一)將跳躍測試時自割下的後腿(以蝗蟲等張溶液浸泡)取出，並將脛節外骨骼切除(圖 17、26)。

(二)拉動脛節內之腱筋，並觀察其與跗節運動的關係。

八、平衡感測試

(一)取僅剩左後腿與完整之蝗蟲各數隻，並將其上翅用透明膠帶黏住。

(二)分別驚嚇所有蝗蟲使其跳躍。

(三)觀察其跳躍軌跡(圖 11、12)之異同。

九、跳躍足與步行足比較

(一)取木蠶一隻，並將其左後腿切除。

(二)將木蠶腿節外骨骼切除至關節處(圖 18、25)。

(三)比較木蠶與蝗蟲腿節肌肉、關節之異同。

十、外骨骼與內骨骼比較

(一)取牛蛙標本一隻，並觀察其後腿關節骨骼構造。

(二)比較牛蛙與蝗蟲後腿腿節與脛節之間關節骨骼之異同。

陸、實驗結果

一、跳躍測試

(一)長頭蝗之跳躍如下表：

雄成蟲跳躍表

編號	1		2		3	
身長(cm)	3.52		3.51		3.60	
身高(cm)	1.10		1.01		0.95	
體重(g)	0.22		0.21		0.23	
次數	高度 (cm)	長度 (cm)	高度 (cm)	長度 (cm)	高度 (cm)	長度 (cm)
1	14.0	50.50	17.0	50.30	14.0	47.30
2	27.0	45.90	20.0	56.70	14.0	43.50
3	17.0	45.00	29.0	31.90	13.0	50.00
4	13.0	32.10	29.0	53.20	16.0	48.30
5	12.0	36.30	23.0	35.60	15.0	53.80
6	14.0	48.90	20.0	58.40	17.0	44.30
7	14.0	58.40	24.0	58.50	15.0	46.70
8	11.0	38.10	19.0	43.00	12.0	49.50
9	15.0	38.10	20.0	48.10	12.0	44.20
10	16.0	50.80	18.0	55.30	12.0	41.00
平均	15.30	44.410	21.90	49.100	14.00	46.860

雄成蟲(單腿)跳躍表(與之前同蟲)

編號	1		2		3	
次數	高度 (cm)	長度 (cm)	高度 (cm)	長度 (cm)	高度 (cm)	長度 (cm)
1	7.0	29.60	12.0	30.00	6.0	27.70
2	12.0	41.20	12.0	41.30	8.0	34.90
3	13.0	44.10	9.0	38.40	11.0	34.80
4	10.0	34.70	8.0	35.10	10.0	29.75
5	11.0	34.10	9.0	46.40	7.0	22.35
6	11.0	43.90	11.0	42.50	6.0	25.50
7	13.0	35.30	7.0	32.30	7.0	26.40
8	10.0	30.40	8.0	35.90	7.0	24.20
9	7.0	27.80	6.0	32.10	8.0	27.56
10	6.0	28.20	7.0	37.60	7.0	26.20
平均	10.00	34.930	8.90	37.160	7.70	27.936

雌成蟲跳躍表

編號	1		2		3	
身長(cm)	5.91		5.95		5.80	
身高(cm)	1.70		1.69		1.72	
體重(g)	0.77		0.75		1.36	
次數	高度 (cm)	長度 (cm)	高度 (cm)	長度 (cm)	高度 (cm)	長度 (cm)
1	10.0	28.90	15.0	27.50	15.0	44.90
2	11.0	25.00	11.0	27.80	15.0	59.20
3	9.0	32.50	10.0	29.50	15.0	67.10
4	10.0	30.10	10.5	22.60	16.0	66.80
5	9.0	25.30	11.0	27.70	19.0	47.90
6	9.5	29.70	10.0	24.00	15.0	41.30
7	9.0	27.60	11.0	28.30	12.0	35.00
8	9.0	30.00	11.5	24.50	12.0	36.00
9	9.0	31.80	9.0	22.80	11.0	29.80
10	10.0	36.70	10.0	34.50	10.0	32.50
平均	9.55	29.760	10.90	26.920	14.00	46.050

二、外部觀察

- (一)蝗蟲後腿分為基節、轉節、腿節、脛節、跗節等五節。每節之間各有關節連接，轉節則為基節與腿節之間的關節。跗節分為五節，前三節併為一節，每一節皆有吸盤，節間有可活動的關節。
- (二)長頭蝗與紅后負蝗之轉節皆為一圈膜，且腿節皆細長，跳躍能力弱；斑蝗之腿節較粗短，且轉節為一條連接基節與腿節的骨骼，跳躍能力強。

三、區分止滑構造

- (一)左後腿跗節切除的蝗蟲跳躍時左足有滑倒的現象，其跳躍能力相當於右後腿切除之蝗蟲。
- (二)左後腿脛節末端棘刺切除的蝗蟲跳躍時左足亦有滑倒的現象，但若只切除脛節末端棘刺，則蝗蟲跳躍能力與完整時較接近。

四、腿節肌肉運動觀察

- (一)脛節伸肌在收腿時往脛節方向伸直，踢腿時往腿節方向收縮。
- (二)脛節屈肌在收腿時往腿節方向收縮，踢腿時往脛節方向伸直。
- (三)肌肉收縮時，中間部分有膨脹現象。

五、關節觀察

- (一)脛節屈肌中央具有一條細長帶狀半透明組織稱為腱筋，為纖維構成。
- (二)脛節伸肌中央亦具有一條腱筋，但此腱筋較脛節屈肌之腱筋寬。
- (三)脛節伸肌腱筋與脛節屈肌腱筋皆自腿節連接至腿節與脛節之間關節。
- (四)拉動脛節屈肌腱筋，脛節與腿節併攏；拉動脛節伸肌腱筋，脛節向外踢出。
- (五)脛節外骨骼周圍有一圈膜狀結締組織可延緩關節耗損。
- (六)脛節外骨骼骨中央處凹陷成一孔狀，腿節外骨骼從此處連接脛節外骨骼，此點為跳躍時的軸。

六、基節觀察

- (一)基節內部有兩束肌肉互為拮抗肌：轉節提肌、轉節降肌。腿節向身體前方旋轉時轉節提肌收縮，轉節降肌伸直；腿節向身體後方旋轉時則相反。
- (二)基節外部則有四束肌肉：基節提肌、基節降肌、基節旋轉肌、基節抑肌。其中基節提肌、基節降肌互為拮抗肌；基節旋轉肌、基節抑肌互為拮抗肌。
- (三)腿節向身體前方旋轉時基節提肌收縮，基節降肌伸直；腿節向身體後方旋轉時則相反。
- (四)腿節向身體外側旋轉時基節旋轉肌收縮，基節抑肌伸直；腿節向身體內側旋轉時則相反。
- (五)蝗蟲之自割處為轉節連接腿節處，自割後只剩基、轉節。
- (六)腱筋與肌肉皆連至腿節與轉節交界處停止。
- (七)接近腿節與轉節交界處之腱筋較軟且較薄。

七、脛節、跗節觀察

- (一)脛節共有三條腱筋連接至跗節，其中一條控制前跗節(爪)；另外兩條控制第一跗節以帶動整隻跗節運動，前跗節腱筋較細，另外兩條則較粗。
- (二)拉動前跗節腱筋，前跗節向下抓住地面，放鬆則自動彈回原來位置。
- (三)拉動跗節提肌腱筋，跗節向上遠離地面；拉動跗節降肌腱筋，跗節向下抓住地面。
- (四)脛節末端較前端粗，內部為跗節提降肌之起點。

八、平衡感測試

- (一)僅剩左後腿與完整之蝗蟲跳躍軌跡皆為與頭同方向之直線。
- (二)僅剩左後腿之蝗蟲準備跳躍時基節向身體外側旋轉以求平衡(圖 10)；完整之蝗蟲

則兩腿基節皆無向身體內側或外側旋轉的情況(圖 9)。

九、跳躍足與步行足比較

- (一)木蠟之步行足與長頭蝗之跳躍足關節組成形式相同，但步行足關節可動範圍較小。
- (二)步行足之脛節屈肌腱筋與脛節伸肌腱筋粗細及附著肌肉量相近，跳躍足之脛節伸肌腱筋較寬且附著肌肉量較多、肌肉束較粗。
- (三)步行足脛節收縮速度與踢直速度皆快，跳躍足脛節收縮速度與踢直速度相較之下十分緩慢。

十、外骨骼與內骨骼比較

- (一)內骨骼動物表面為皮膚，散熱較易，保護作用較弱；外骨骼動物表面為骨骼，不易透氣，散熱較慢，但保護作用較強。
- (二)內骨骼動物肌肉活動較不受限制，外骨骼動物則受外骨骼限制。
- (三)內骨骼動物關節活動範圍受外部包覆之結締組織厚度影響，活動範圍較小；外骨骼動物關節活動範圍不受關節形狀以外條件限制，活動範圍較大。

柒、討論

- 一、我們在跳躍測試時發現 3 號 ♀ 跳躍能力較強且體重明顯較重。我們推測較強壯的蟲體重較重且跳躍力較強，但雄蟲差異不明顯，故無法證實此假設。
- 二、我們在外觀觀察時發現腿節愈粗的蝗蟲跳躍能力愈強。我們推測其原因為內部肌肉束較粗，力道較強所致。經過解剖多種蝗蟲後腿後證實此假設為真。
- 三、第一次解剖基節時，我們觀察到後胸腹板內有兩條被切斷的骨骼，原先認為有連接肌肉的功能，再經過尋找資料及再次解剖後，發現其功能為支撐身體重量。
- 四、帶動整隻後腿向身體前方旋轉有四束肌肉，但帶動整隻後腿向身體側方旋轉只有兩束肌肉。經過我們多次畫圖後，我們認為在起跳時，轉節提肌、轉節降肌與基節提肌、基節降肌運動的角度稍有不同。基節提肌與基節降肌所受的反作用力可被轉節提肌與轉節降肌吸收，以防止基節關節受損。
- 五、基、轉節可使腿節向身體前後方做大角度轉動，卻無法使腿節向身體側方做大角度轉動。我們經畫圖、討論及觀察後推測應是基節旋轉肌與基節抑肌之活動範圍較小；基節提肌與基節降肌之活動範圍較大。
- 六、我們發現轉節與腿節間並無可動關節構造，只經由一層膜連接。經解剖黃斑黑蟋蟀

與褐背細斯後發現皆有此構造，但解剖木蠟時並無此發現。因此應為直翅目昆蟲後腿的特化構造，其主要功能為方便自割求生。

七、接近腿節與轉節交界處之腱筋較軟、較薄，我們認為其目的為方便收縮，其餘部份較硬之目的則為支撐，使腱筋不致變形。

八、根據〈動物的運動〉，脛節共有一條腱筋連接至前跗節(爪)，一束肌肉連接第一跗節，但經解剖 *Chondracris* sp.之脛節後發現共有三條腱筋連接至跗節。

九、我們亦發現用指甲輕掐其基節外骨骼可使蝗蟲自割。我們推測輕掐其基節外骨骼可使蝗蟲基節肌肉受到壓迫而暫時停止運作，使蝗蟲認為其後腿已失去功能，為了避免影響其主體活動，蝗蟲便會將其後足自割。

十、我們發現僅剩左後腿之蝗蟲跳躍時左右基節皆向身體外側旋轉。其目的為使施力偏向身體中心，以防止因左右施力不均造成身體傾斜甚至翻倒。

十一、步行足之步行速度較跳躍足快，我們認為其主要原因有三：

(一)步行足之脛節屈肌與脛節伸肌肌肉束粗細相近且皆很發達，故收腿與伸腿皆快，步行較快；跳躍足之脛節伸肌肌肉束粗且較發達，故伸腿極快，但由於脛節屈肌肌肉束較細且十分不發達導致收腿緩慢造成步行速度緩慢。

(二)步行足腿節與脛節間之關節形狀可使脛節屈肌與脛節伸肌所造成之力矩皆大，跳躍足之關節形狀使脛節屈肌所造成之力矩過小。

(三)步行足之足與地面夾角較小，故運動時向後之分力較大，步行速度較快；跳躍足之足與地面夾角較大，故運動時大半為向下之分力，向後之分力較小，步行速度較慢。

十二、步行足無法進行跳躍，我們認為其主要原因有二：

(一)步行足之足與地面側向夾角很小，故其向上之反作用力亦極小，無法將身體抬離地面。

(二)步行足之脛節伸肌腱筋寬度不及跳躍足之脛節伸肌腱筋，爆發力較小，故無法做快速收縮而跳躍。

捌、結論

一、蝗蟲的跳躍原理：蝗蟲跳躍時，脛節屈肌收縮，帶動脛節屈肌腱筋使後腿脛節向內收攏，並調整跗節吸盤向下抵住地面。脛節伸肌急速收縮，帶動脛節伸肌腱筋使脛節急速向外踢出。踢出過程中脛節末端棘刺順勢向下抵住地面，並產生向上之反作

用力，整隻蝗蟲即可躍向空中。

二、蝗蟲後腿的缺點：

- (一)蝗蟲跳躍方向由基節的四條肌肉與轉節內的兩條肌肉所控制，但基節旋轉肌與基節抑肌之活動範圍較小，使蝗蟲僅能做斜向跳躍而無法做橫向跳躍。
- (二)蝗蟲的跳躍過程中，後腿踢出後無法迅速收回，因此落地後必須重複跳躍動作才能再度起跳，使連續兩次跳躍的間隔時間過久而無法在短時間內移動長距離以致於常無法及時逃生。

三、影響跳躍能力的因素：

- (一)脛節伸肌收縮速度：脛節伸肌收縮速度愈快，爆發力愈強，故跳躍能力愈強。
- (二)健康情形：健康情形愈差，跳躍意願愈低，且平衡感較差。
- (三)飛行能力：飛行能力愈強，跳躍意願愈低，且因常飛行，少跳躍而使腿力減弱。
- (四)體色：長頭蝗分為綠草型(綠色型)與枯草型(褐色型)，因褐色型所屬枯草環境較多，蝗蟲較少跳躍而使跳躍能力減弱。
- (五)腿節直徑：腿節直徑愈粗短，施力點與軸愈接近，且肌肉束較粗壯，故跳躍能力愈強。

四、跳躍時，基節降肌收縮程度愈高，基節愈低，脛節末端棘刺在跳躍過程中愈早抵住地面，脛節角度較小，向上分力較大，故跳躍角度較大且高度較高，反之則較低。

五、跳躍時，基節旋轉肌收縮程度愈高，腿節愈向身體外側旋轉，向前之分力愈小，故跳躍距離較短，反之則較長。

玖、參考文獻及資料：

- 一、關崇智(民 80)。昆蟲生理學。台北市：南山堂。
- 二、關崇智(民 93)。昆蟲系統解剖學。台北市：合記。
- 三、楊懿如(民 87)。賞蛙圖鑑。台北市：中華民國自然與生態學會。
- 四、張永仁(民 87)。昆蟲入門。台北市：遠流。
- 五、欽俊德。動物的運動。牛頓。
- 六、楊平世、郭玉吉。台灣的常見昆蟲。度假。
- 七、王音、周序國。觀賞昆蟲大全。九州。
- 八、Cecie Starr、Ralph Taggart 著。丁澤民、王偉、連慧瑞、張世珍譯。生物學(上)。藝軒。

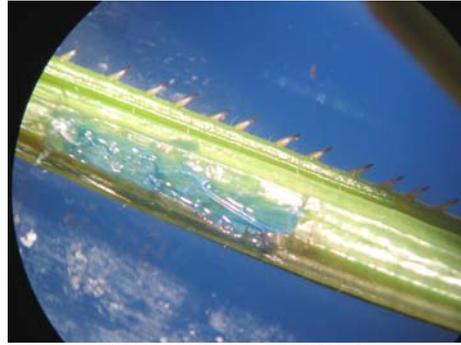
拾、展望

人類在地球上是一種最脆弱的生物，而昆蟲卻是最龐大、最具優勢的族群。在人類開始積極地研究與製造機械之前，最完美、最精密的機械構造就已經存在於昆蟲身上。若我們能夠模仿昆蟲的構造，便能製造出更精密的儀器，帶動人類文明的進步。

拾壹、圖片與照片



1.長頭蝗跗節



2.長頭蝗腿節內側肌肉



3.紅后負蝗



4.褐背細斯



5.斑蝗



6.Chondracris sp.



7.木蠹



8.自製高度板



9.長頭蝗跳躍準備動作



10.長頭蝗(單腿)跳躍準備動作



11.長頭蝗跳躍軌跡



12.長頭蝗(單腿)跳躍軌跡



13.腿節脛節之間關節結構



14.基節內部肌肉(轉節提肌、轉節降肌)



15.腿節腱筋起始端



16.基節外部兩對拮抗肌



17.脛跗節間肌肉與腱筋構造



18.木蠟腿節脛節之間關節結構



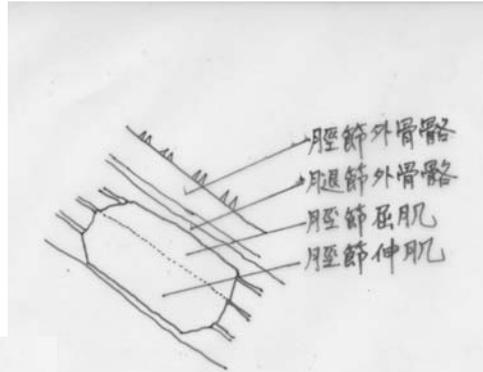
19.採集地



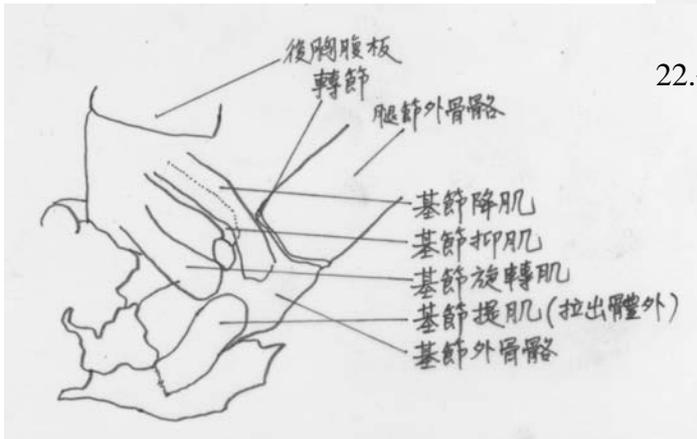
20.牛蛙後腿骨骼構造



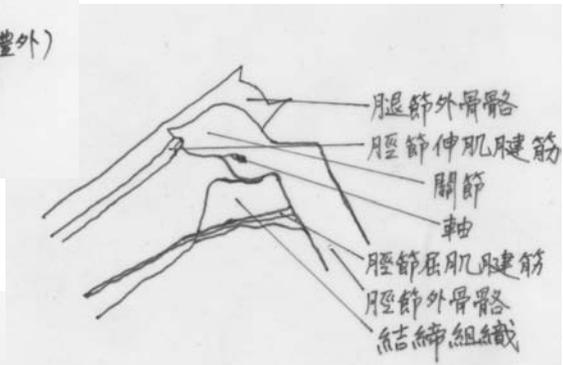
21.牛蛙標本



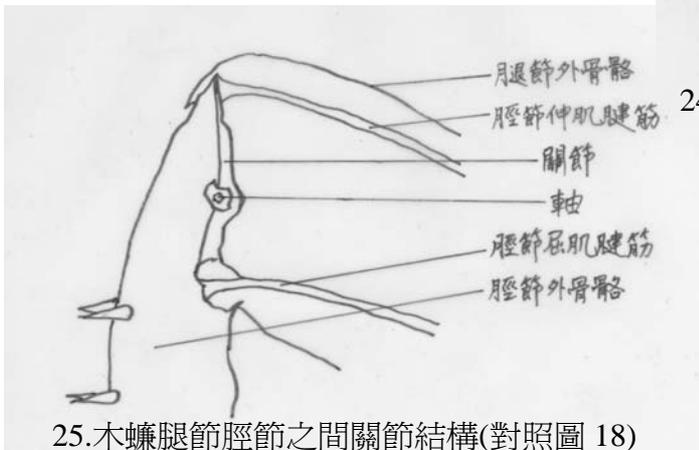
22.長頭蝗腿節內側肌肉(對照圖 2)



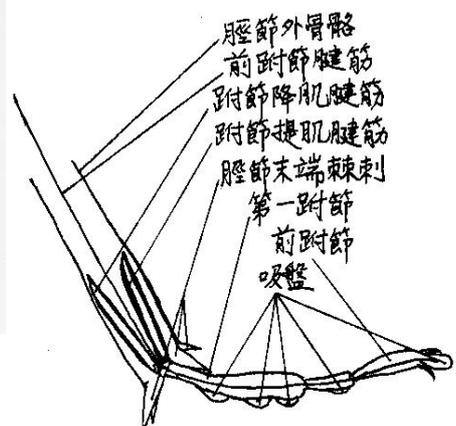
23.基節外部兩對拮抗肌(對照圖 16)



24.腿節脛節之間關節結構(對照圖 13)



25.木蠟腿節脛節之間關節結構(對照圖 18)



26.脛跗節間肌肉與腱筋構造(對照圖 17)

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會

作品說明書

科別：生物科

組別：高中組

作品名稱：一躍千里

關鍵詞：腱筋、關節、肌肉構造

編號：

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會
評 語

高中組 生物(生命科學)科

040707

一躍千里

國立鳳新高級中學

評語：

1. 若能測量各節之間的角度，並比較不同的昆蟲，則更精確也更具有定量的精神
2. 可測量肌肉的直徑或骨骼/體重比值或肌肉中微細的構造……等，如此則更佳。