中華民國第 57 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組　物理科

佳作

030111

聲音的槓桿原理

學校名稱：桃園市立龍興國民中學

作者：	指導老師：
國二 唐家謙 國二 孫怡萍 國二 梁惠晴	周怡宏

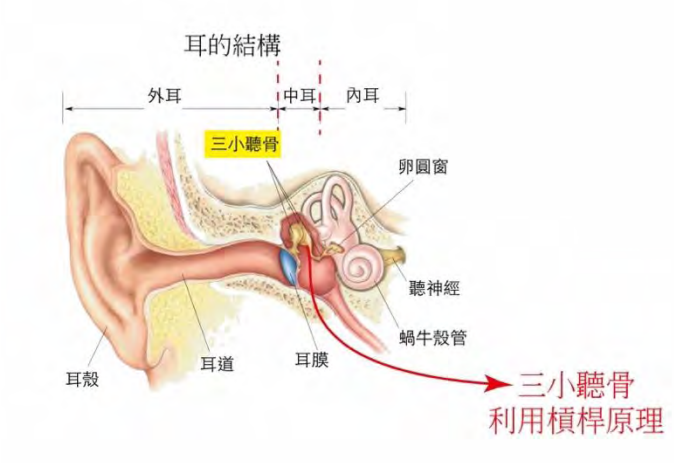
關鍵詞：槓桿原理、聽骨、能量守恆

摘要

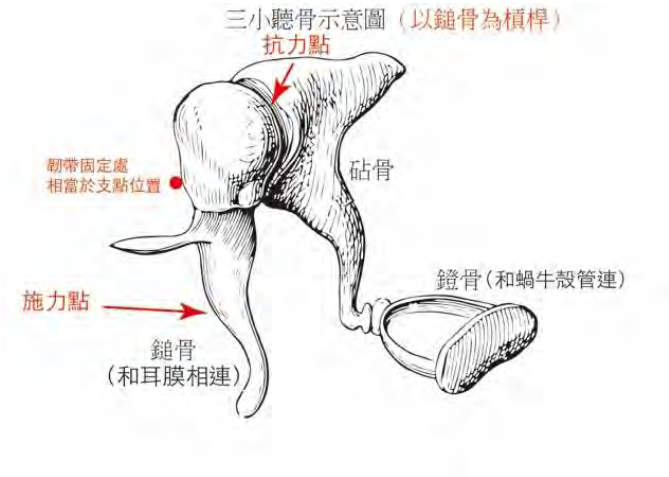
槓桿原理的運用廣泛，但在物理學鮮少和聲音聯結在一起。至少在國中生很少人會將兩者聯想在一起。我們卻從人耳的生理結構，突發奇想，想打造一套能傳遞聲音的槓桿結構，並研究其特性。在克服了重重困難後，我們果真成功從零到有自製出獨一無二的實驗系統，藉由不同支點、不同抗力臂、不同施力臂的調整以及不同平衡質量的調校，我們在仿生的世界，發掘未知的奧秘並享受實驗的樂趣。很多生理學的教科書都說人耳的三小聽骨類似槓桿結構有放大作用，但我們的研究卻發現槓桿結構對聲音的傳遞並無明顯放大作用，反而是過濾作用。欲知其詳，且看我們的研究分析。

壹、研究動機

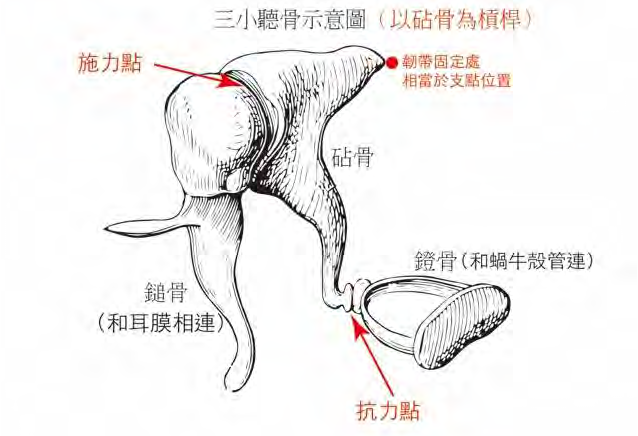
人的中耳有三塊小聽骨(如下圖所示)，很多生理學的教科書都說這是槓桿原理的應用，目的是放大作用。槓桿原理和聲音如何聯結？連續振動是產生聲音的必要條件，這種連續振動的特質會和槓桿原理擦出甚麼樣的火花，令我們深深感到好奇。我們不能滿足理化教科書聲音歸聲音，槓桿原理歸槓桿原理的內容。於是打造一個可以實驗的仿生平臺之念頭油然而生。



示意圖一： 人耳的解剖圖



示意圖二： 人耳聽骨的放大圖 ，第一聽骨槓桿結構的剖析圖。



示意圖三： 人耳聽骨的放大圖，第二聽骨槓桿結構的剖析圖。

貳、研究目的

一、研究槓桿構造如何介入聲音的傳遞

二、研究改變支點、抗力臂、施力臂等變因對聲音之分貝和頻率的影響。

三、研究改變結構體質量對於聲音分貝的影響。

四、研究複合式槓桿對於聲音分貝的影響。

參、研究設備或器材

一、發音材料：

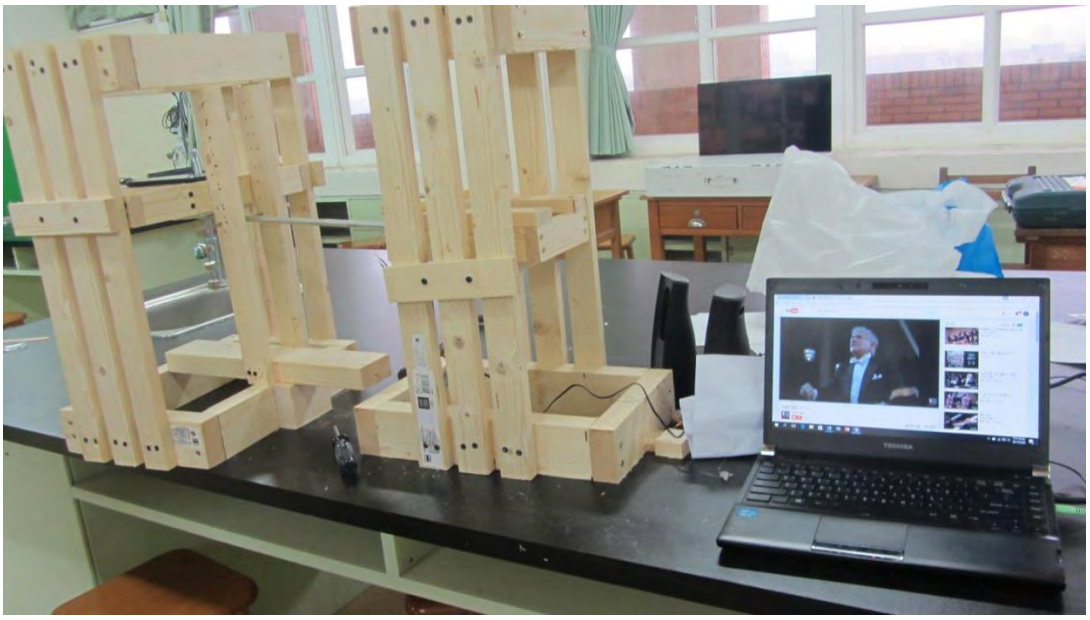
紙杯（紙杯、塑膠杯、鋁箔杯）、銅線線圈、強力磁鐵、電路板(以現成音響的電路板，來協助完成。電腦提供音源。

二、槓桿原理實驗平臺：

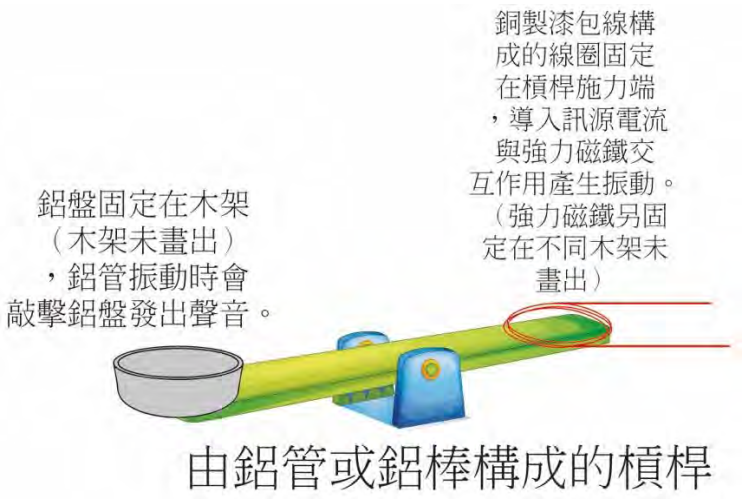
購自特力屋的松木條、鋁箔杯、鋁管（25~100cm）直徑外徑 10mm, 內徑 8mm 每支相差 5cm 共 18 支、砝碼（用來平衡）

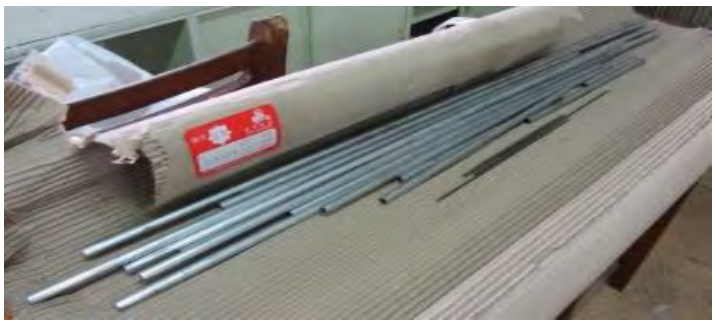
三、用具：

剪刀、尖嘴鉗、榔頭、美工刀、透明膠帶、雙面膠、霧面膠帶、圖釘、螺絲釘、圓鋸機（用來鋸松木）、車床、電鑽、迴紋針（用來平衡）、螺帽（用來平衡）、手機 SAMSONG J7（利用 APP 測聲音的分貝和頻率）、SEIKO Quartz metronome SQ-77

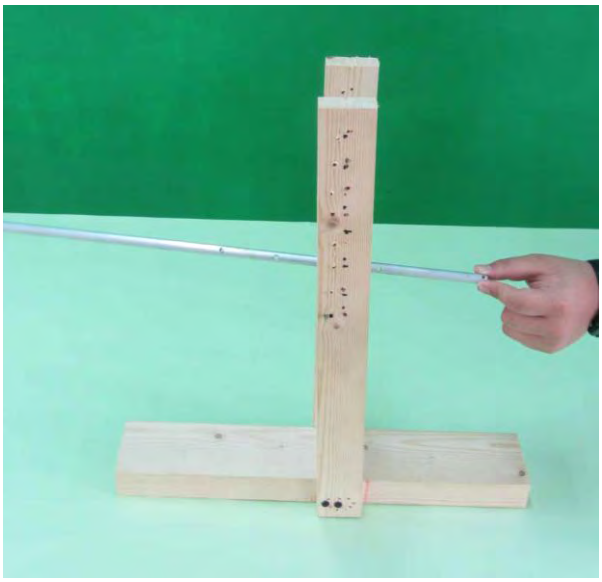


（照片一：我們自製的平臺，傳遞聲音的槓桿構造）

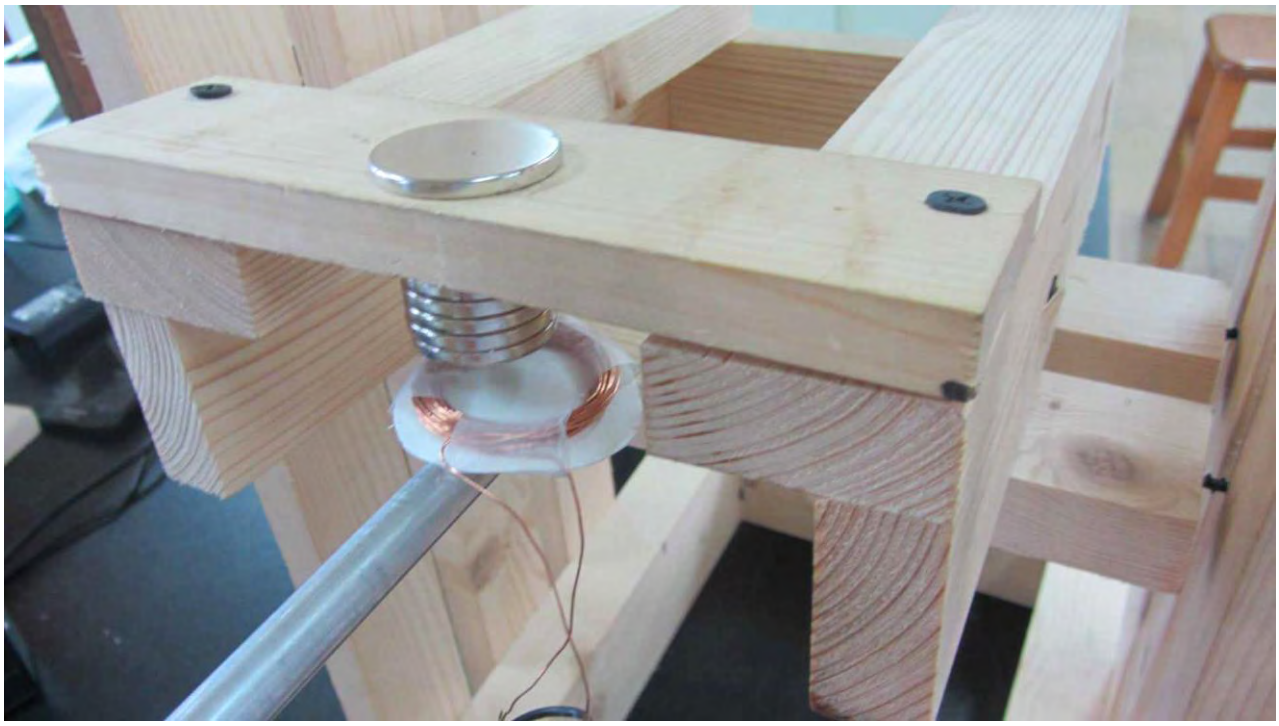




（照片二：訂製的鋁管，從 25cm 至 100cm 共 18 支，直徑外徑 10mm, 內徑 8mm。每支長度相差 5cm，做為力臂，其支點位置，則以電鑽在車床定位鑽孔）



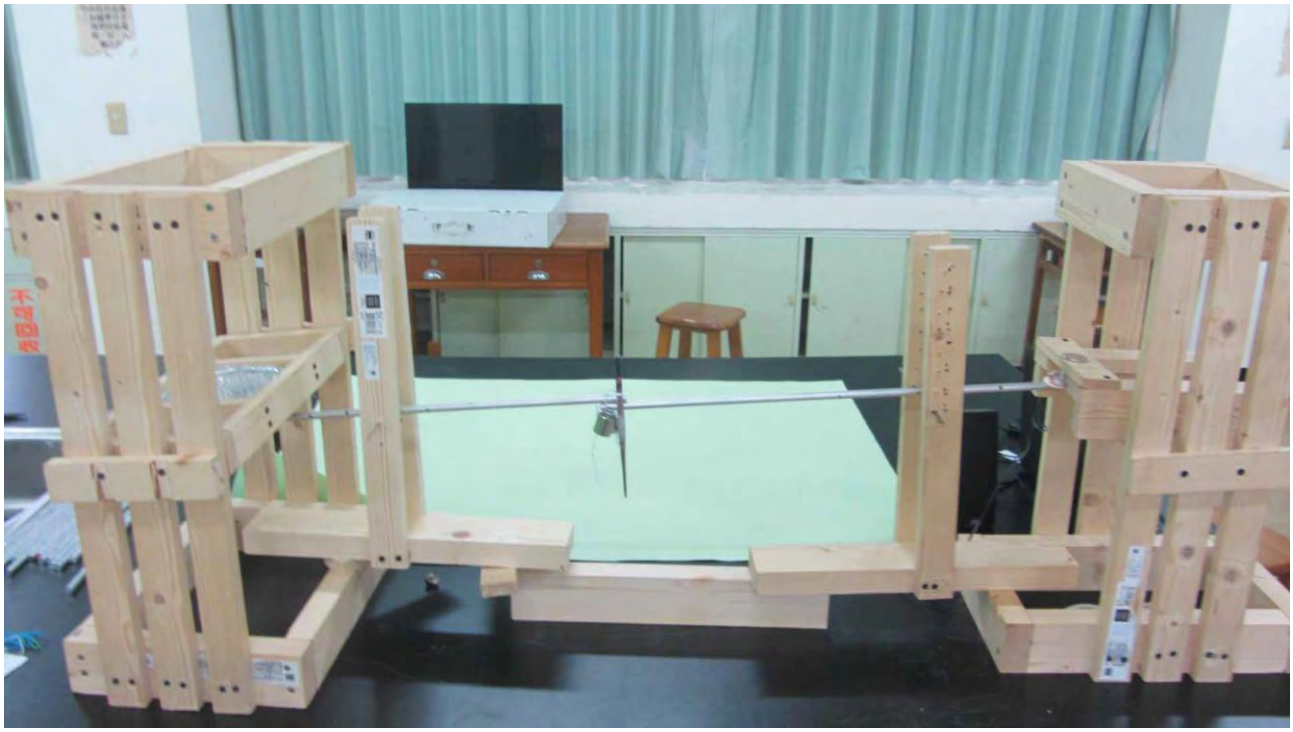
（照片三：由鋁管或鋁棒取特定位置為支點構成槓桿，模擬聽骨）



（照片四：由銅線構成線圈架設在鋁管或鋁棒的施力端，利用電流磁效應，帶動整個鋁管或鋁棒振動）

（照片五：槓桿結構以鋁盤做為抗力端的俯視圖。厚重的木頭形成穩定的結構，可使槓桿傳遞振動時更有效。這是我們從無數次失敗，悟出的心得。鋁盤的振動最終表現出聲音）

（照片六：鋁管或鋁棒透過槓桿作用敲擊在鋁盤底部，發出聲音）



（照片七：複合式槓桿作用模擬不同聽骨組合的效應）

肆、研究過程或方法

一、**將電腦輸出的音源，利用電路板轉為電流大小，再利用電流流經線圈形成磁效應，與強力磁鐵互動，轉成振動，帶動槓桿施力臂端的振動。**銅線的線圈（直徑 1 英吋，圈數 20 圈），固定在施力臂末端，線圈兩端的線與電路板的輸出端相連，電路板的功能是將電腦音源的訊號轉成電流強弱的訊號，此電流強弱的訊號輸送到線圈成為磁力強弱的訊號，與固定在木頭的強力磁鐵交互作用，時而吸力，時而斥力，於是帶動槓桿施力臂端的振動。進而透過槓桿作用帶動抗力臂端的振動，再撞擊鋁盤，發出聲音。

二、音源分為樂曲及單音。樂曲取自 https://www.youtube.com/watch?v=1mnZswDdjMY 貝多芬的第五號交響曲第一樂音前四小節，單音則取自 SEIKO Quartz metronome SQ-77 440.92Hz。樂曲用於測分貝，單音用於測頻率。

三、利用手機 APP 測聲音的分貝及頻率。手機放置鋁杯正上方 4.8 公分，利用手機程式測量其分貝。（參考資料四）

四、對照組則線圈直接固定在鋁盤上，直接與強力磁鐵交互作用，產生聲音。不透過槓桿作用。**再測聲音的分貝及頻率。**（參見照片六）

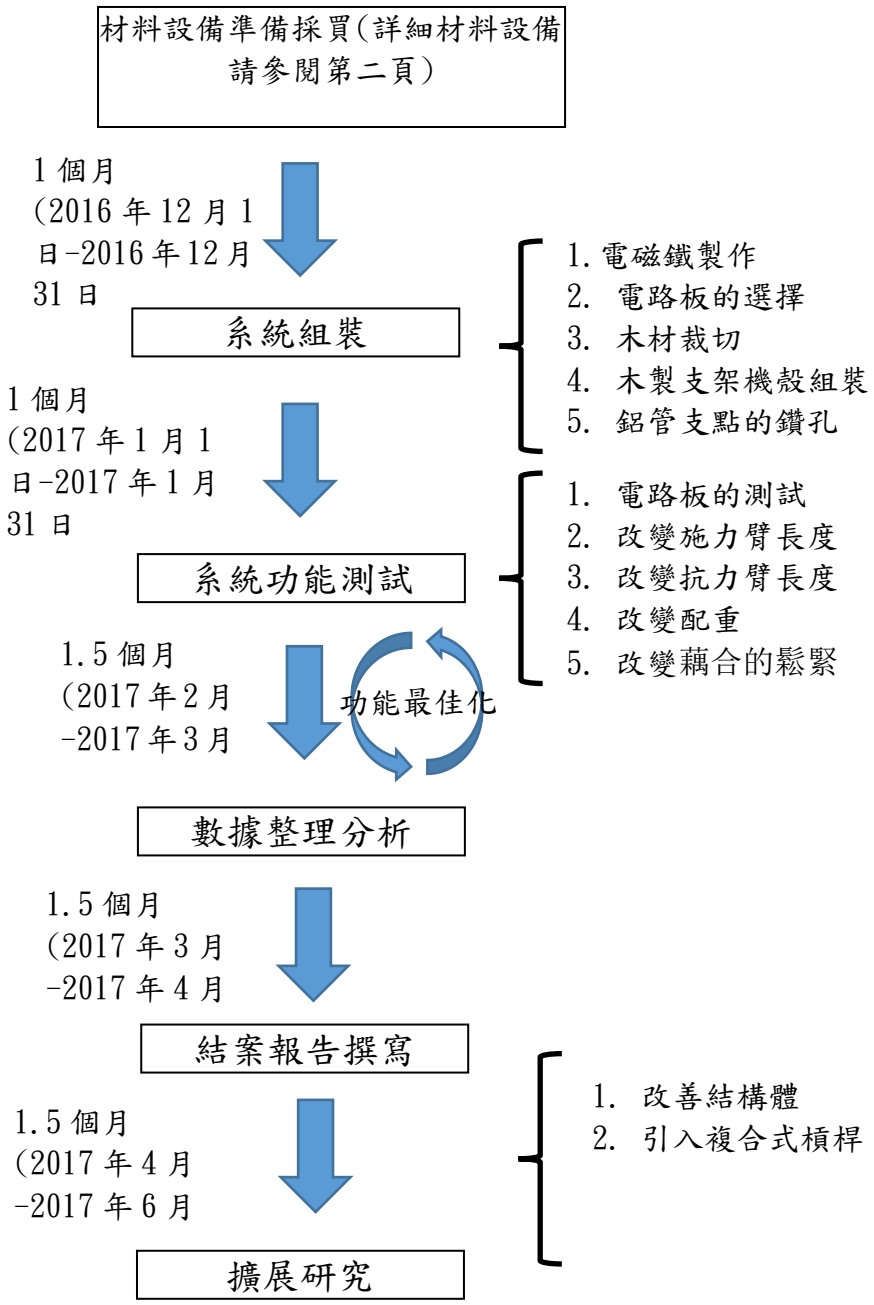
五、鋁杯或強力磁鐵皆必須分別固定在不同的穩固架上，鋁杯或強力磁鐵在木架上的高低位置可以調整，以因應不同長度的鋁管所構成的力臂所需的最佳作用角度。

六、引進不同長度的抗力臂、施力臂等變因。

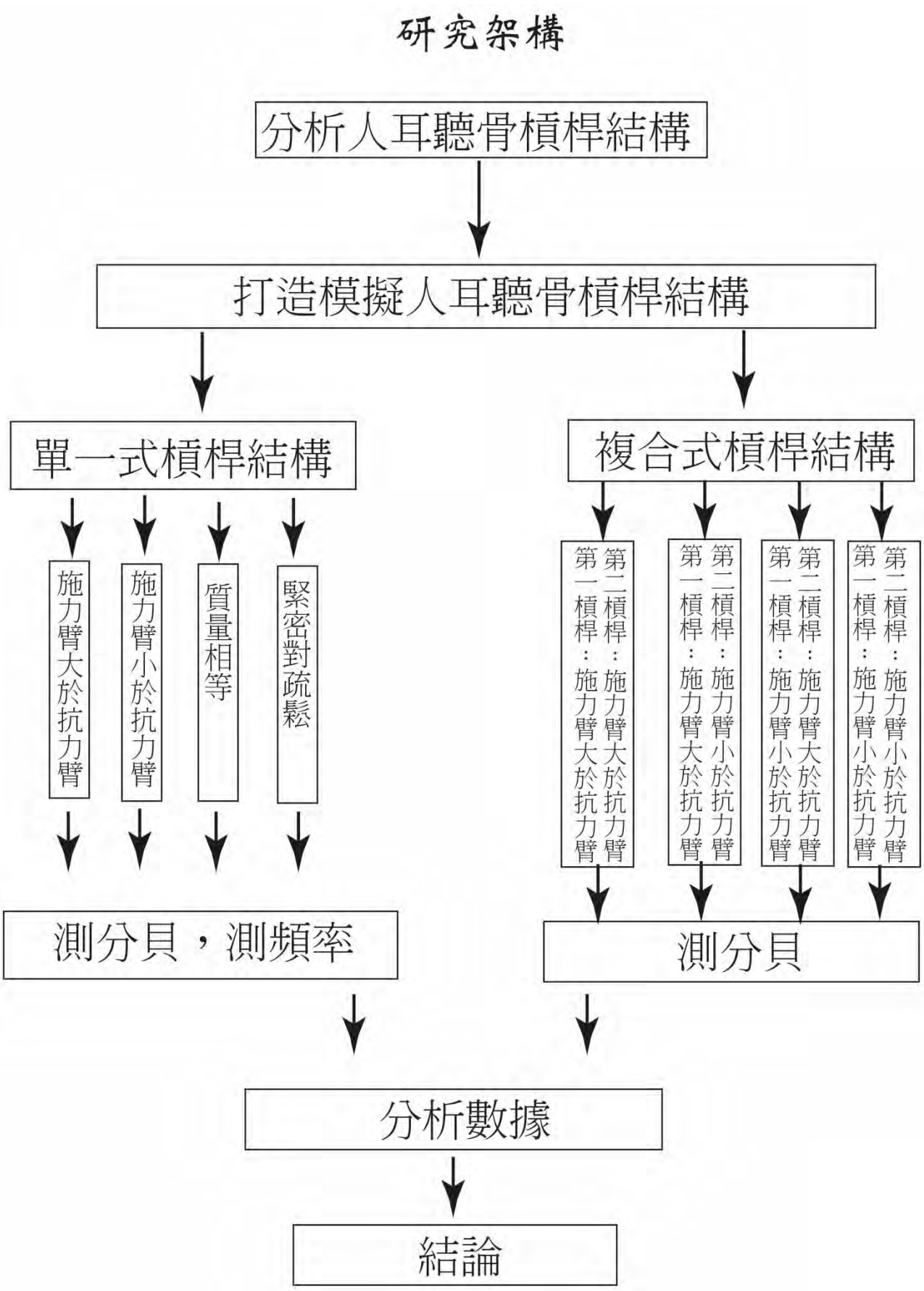
七、引進鋁管質量等變因。

八、引進複合槓桿組合，進一步模擬不同聽骨的組合效果。

九、


材料設備準備採買(詳細材料設備請參閱第二頁)
1個月(2016年12月1日-2016年12月31日
系統組裝
1.電磁鐵製作
2. 電路板的選擇
3. 木材裁切
4. 木製支架機殼組裝
5. 鋁管支點的鑽孔
1個月(2017年1月1日-2017年1月31日
系統功能測試
1. 電路板的測試
2. 改變施力臂長度
3. 改變抗力臂長度
4. 改變配重
5. 改變藕合的鬆緊
1.5個月(2017年2月-2017年3月
功能最佳化
數據整理分析
1.5個月(2017年3月-2017年4月
結案報告撰寫
1.5個月(2017年4月-2017年6月
擴展研究
1. 改善結構體
2. 引入複合式槓桿

十、


研究架構
分析人耳聽骨槓桿結構
打造模擬人耳聽骨槓桿結構
單一式槓桿結構
施力臂大於抗力臂
施力臂小於抗力臂
質量相等
緊密對疏鬆
測分貝，測頻率
複合式槓桿結構
第二槓桿：施力臂大於抗力臂
第一槓桿：施力臂大於抗力臂
第二槓桿：施力臂小於抗力臂
第一槓桿：施力臂大於抗力臂
第二槓桿：施力臂大於抗力臂
第一槓桿：施力臂小於抗力臂
第二槓桿：施力臂小於抗力臂
第一槓桿：施力臂小於抗力臂
測分貝
分析數據
結論

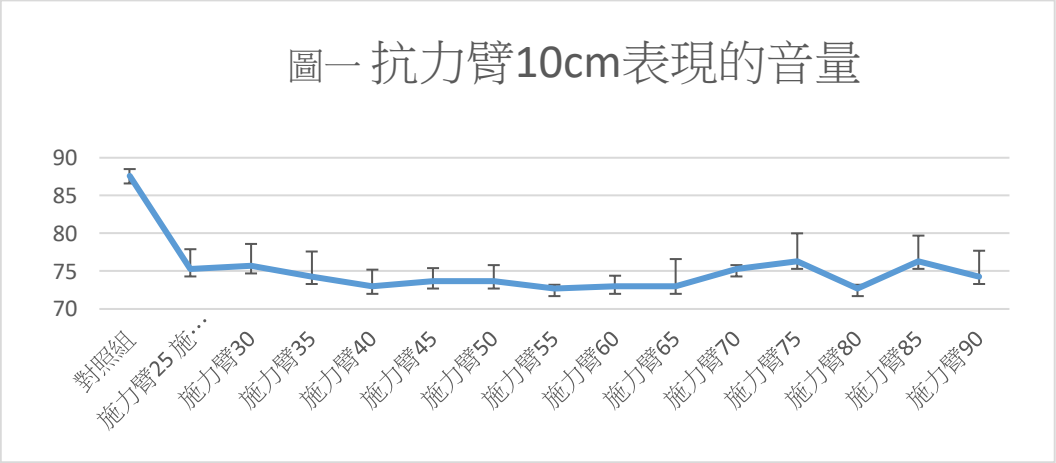
伍、研究結果

一、施力臂>抗力臂

抗力臂固定為 10cm，變動施力臂長度（並先平衡兩側配重）

表一

組別	抗力臂 (cm)	施力臂 (cm)	聲音分貝峰值① (dB)	聲音分貝峰值② (dB)	聲音分貝峰值③ (dB)	平均值 (dB)	標準差 (dB)
1	0	0	87	89	87	87.6	0.9
2	10	25	73	74	79	75.3	2.6
3	10	30	79	76	72	75.7	2.9
4	10	35	70	75	78	74.3	3.3
5	10	40	75	74	70	73.0	2.2
6	10	45	76	72	73	73.7	1.7
7	10	50	71	74	76	73.7	2.1
8	10	55	73	73	72	72.7	0.5
9	10	60	75	72	72	73.0	1.4
10	10	65	76	75	68	73.0	3.6
11	10	70	75	75	76	75.3	0.5
12	10	75	72	81	76	76.3	3.7
13	10	80	72	73	73	72.7	0.5
14	10	85	75	73	81	76.3	3.4
15	10	90	71	73	79	74.3	3.4



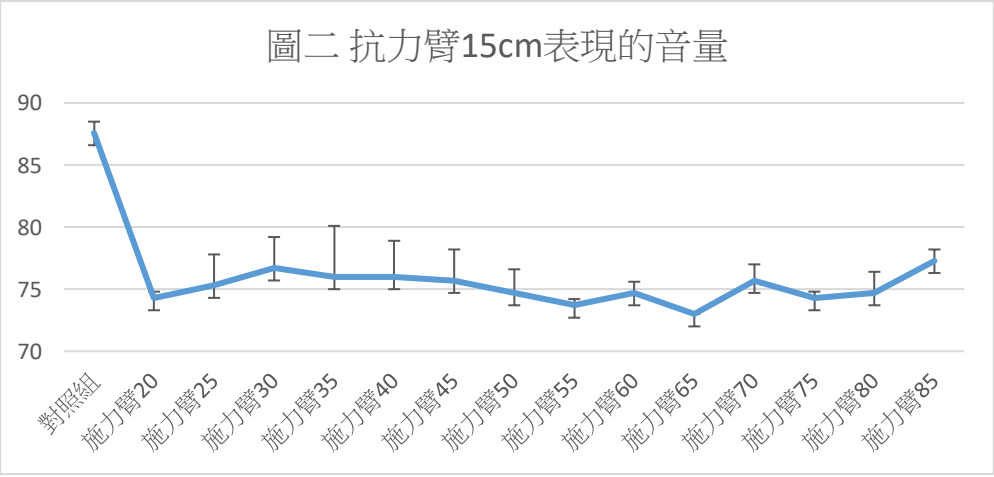
（圖一，縱軸座標代表音量，其單位為分貝，橫軸則為不同施力臂的組別。第 1 組為不經槓桿，其餘組別施力臂如圖所示。結果，實驗組音量皆相近，但皆不如不經槓桿的第 1 組）

二、施力臂>抗力臂

抗力臂固定為 15cm，變動施力臂長度（並先平衡兩側配重）

表二

組別	抗力臂 (cm)	施力臂 (cm)	聲音分貝峰值① (dB)	聲音分貝峰值② (dB)	聲音分貝峰值③ (dB)	平均值 (dB)	標準差 (dB)
1	0	0	87	89	87	87.6	0.9
2	15	20	75	74	74	74.3	0.5
3	15	25	76	78	72	75.3	2.5
4	15	30	80	76	74	76.7	2.5
5	15	35	76	71	81	76.0	4.1
6	15	40	75	73	80	76.0	2.9
7	15	45	75	73	79	75.7	2.5
8	15	50	76	72	76	74.7	1.9
9	15	55	74	73	74	73.7	0.5
10	15	60	74	74	76	74.7	0.9
11	15	65	73	73	73	73.0	0.0
12	15	70	74	77	76	75.7	1.3
13	15	75	74	74	75	74.3	0.5
14	15	80	74	73	77	74.7	1.7
15	15cm	85cm	78	78	76	77.3	0.9



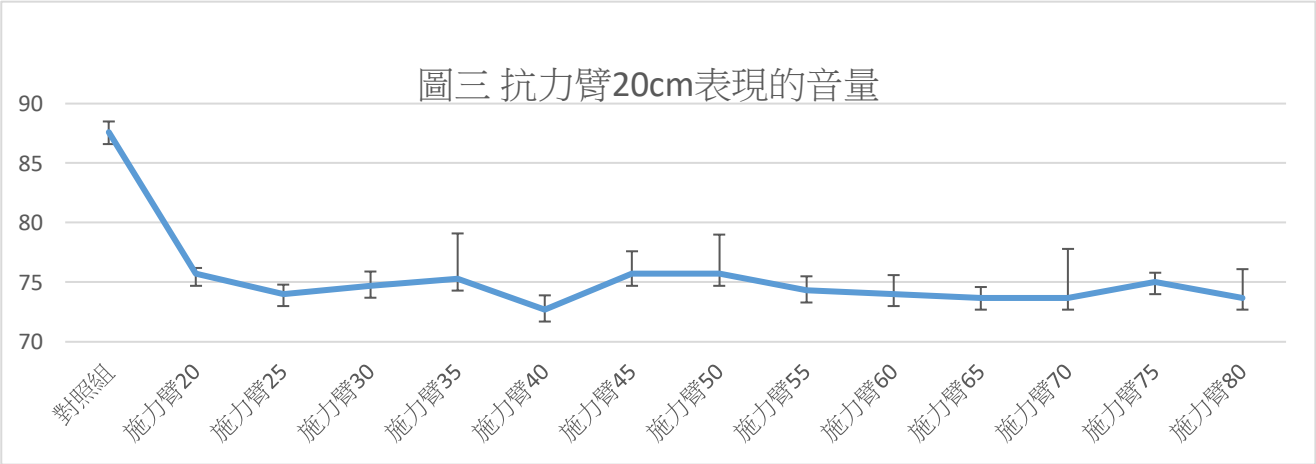
（圖二，縱軸座標代表音量，其單位為分貝，橫軸則為不同施力臂的組別。第 1 組為不經槓桿，其餘組別施力臂如圖所示。結果，實驗組音量皆相近，但皆不如不經槓桿的第 1 組）

三、施力臂>抗力臂（只有第 2 組施力臂=抗力臂）

抗力臂固定為 20cm，變動施力臂長度（並先平衡兩側配重）

表三

組別	抗力臂 (cm)	施力臂 (cm)	聲音分貝峰值① (dB)	聲音分貝峰值② (dB)	聲音分貝峰值③ (dB)	平均值 (dB)	標準差 (dB)
1	0	0	87	89	87	87.6	0.9
2	20	20	75	76	76	75.7	0.5
3	20	25	74	73	75	74.0	0.8
4	20	30	76	73	75	74.7	1.2
5	20	35	78	70	78	75.3	3.8
6	20	40	73	74	71	72.7	1.2
7	20	45	77	77	73	75.7	1.9
8	20	50	80	72	75	75.7	3.3
9	20	55	73	76	74	74.3	1.2
10	20	60	74	76	72	74.0	1.6
11	20	65	73	75	73	73.7	0.9
12	20	70	79	69	73	73.7	4.1
13	20	75	76	74	75	75.0	0.8
14	20	80	77	72	72	73.7	2.4



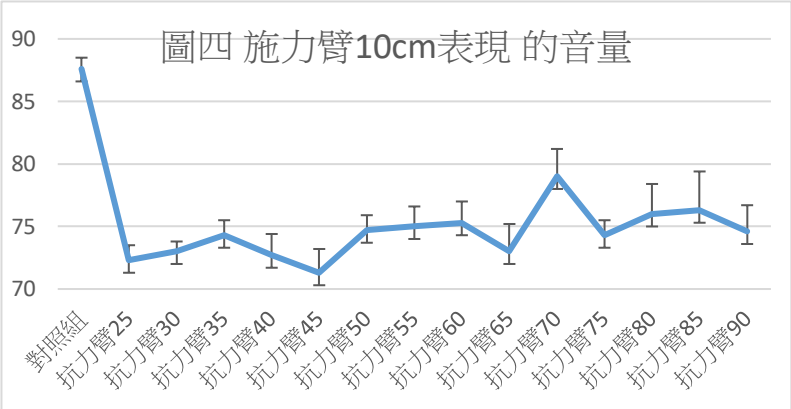
（圖三，縱軸座標代表音量，其單位為分貝，橫軸則為不同施力臂的組別。第 1 組為不經槓桿，其餘組別施力臂如圖所示。結果，實驗組音量皆相近，但皆不如不經槓桿的第 1 組）

四、倒轉（抗力臂>施力臂）

施力臂固定為 10cm，變動抗力臂長度（並先平衡兩側配重）

表四

組別	抗力臂 (cm)	施力臂 (cm)	聲音分貝峰值① (dB)	聲音分貝峰值② (dB)	聲音分貝峰值③ (dB)	平均值 (dB)	標準差 (dB)
1	0	0	87	89	87	87.6	0.9
2	25	10	74	72	71	72.3	1.2
3	30	10	72	74	73	73.0	0.8
4	35	10	73	74	76	74.3	1.2
5	40	10	75	71	72	72.7	1.7
6	45	10	74	70	70	71.3	1.9
7	50	10	73	75	76	74.7	1.2
8	55	10	75	77	73	75.0	1.6
9	60	10	76	77	73	75.3	1.7
10	65	10	76	72	71	73.0	2.2
11	70	10	82	77	78	79.0	2.2
12	75	10	76	73	74	74.3	1.2
13	80	10	79	73	76	76.0	2.4
14	85	10	78	79	72	76.3	3.1
15	90	10	72	75	77	74..6	2.1



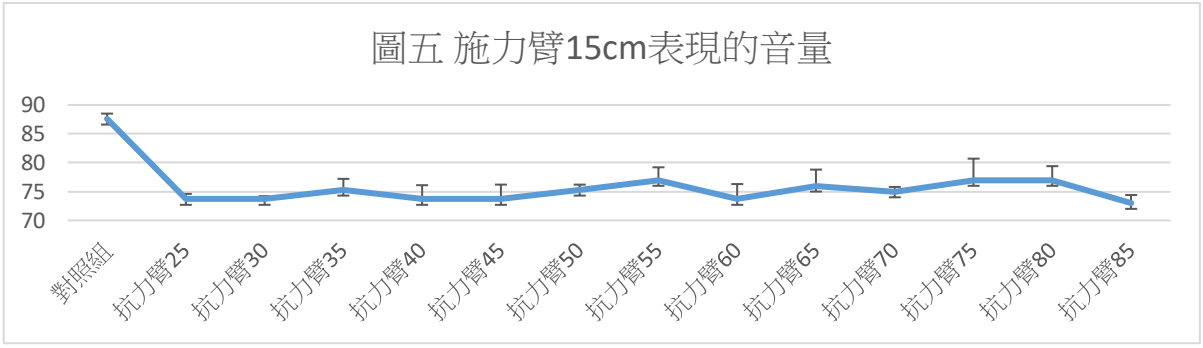
（圖四，縱軸座標代表音量，其單位為分貝，橫軸則為不同抗力臂的組別。本實驗恰為圖一的倒轉。第 1 組為不經槓桿，其餘組別抗力臂如圖所示。結果，實驗組音量皆相近，而且和圖一相較結果也相近，但皆不如不經槓桿的第 1 組）

五、倒轉（抗力臂>施力臂）

施力臂固定為 15cm，變動抗力臂長度（並先平衡兩側配重）

表五

組別	抗力臂 (cm)	施力臂 (cm)	聲音分貝峰值① (dB)	聲音分貝峰值② (dB)	聲音分貝峰值③ (dB)	平均值 (dB)	標準差 (dB)
1	0	0	87	89	87	87.6	0.9
2	25	15	73	73	75	73.7	0.9
3	30	15	74	73	74	73.7	0.5
4	35	15	78	74	74	75.3	1.9
5	40	15	77	72	72	73.7	2.4
6	45	15	77	71	73	73.7	2.5
7	50	15	74	76	76	75.3	0.9
8	55	15	74	79	78	77.0	2.2
9	60	15	75	70	76	73.7	2.6
10	65	15	80	74	74	76.0	2.8
11	70	15	76	75	74	75.0	0.8
12	75	15	82	76	73	77.0	3.7
13	80	15	80	77	74	77.0	2.4
14	85	15	72	75	72	73.0	1.4



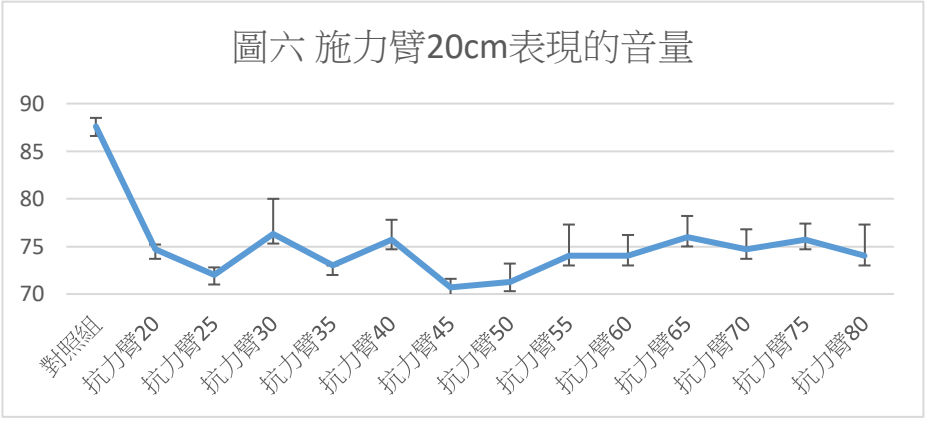
（圖五，縱軸座標代表音量，其單位為分貝，橫軸則為不同抗力臂的組別。本實驗恰為圖二的倒轉。第 1 組為不經槓桿，其餘組別抗力臂如圖所示。結果，實驗組音量皆相近，而且和圖二相較結果也相近，但皆不如不經槓桿的第 1 組）

六、倒轉（抗力臂>施力臂）

施力臂固定為 20cm，變動抗力臂長度（並先平衡兩側配重）

表六

組別	抗力臂 (cm)	施力臂 (cm)	聲音分貝峰值① (dB)	聲音分貝峰值② (dB)	聲音分貝峰值③ (dB)	平均值 (dB)	標準差 (dB)
1	0	0	87	89	87	87.6	0.9
2	20	20	74	75	75	74.7	0.5
3	25	20	73	71	72	72.0	0.8
4	30	20	72	81	76	76.3	3.7
5	35	20	73	73	73	73.0	0.0
6	40	20	78	76	73	75.7	2.1
7	45	20	70	70	72	70.7	0.9
8	50	20	74	70	70	71.3	1.9
9	55	20	70	74	78	74.0	3.3
10	60	20	76	75	71	74.0	2.2
11	65	20	78	77	73	76.0	2.2
12	70	20	77	72	75	74.7	2.1
13	75	20	78	74	75	75.7	1.7
14	80	20	78	74	70	74.0	3.3

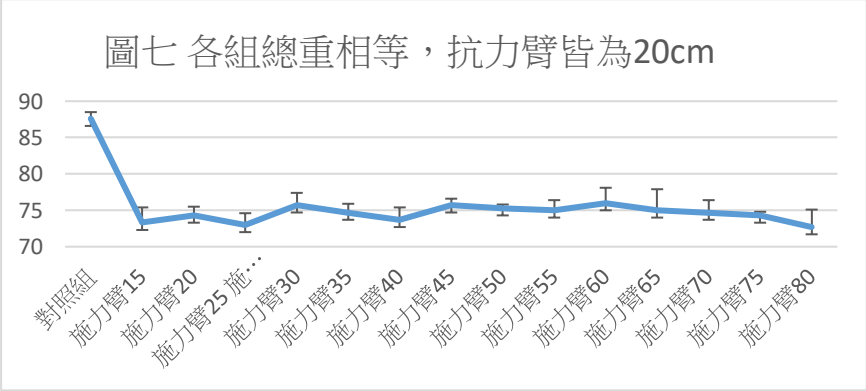


（圖六，縱軸座標代表音量，其單位為分貝，橫軸則為不同抗力臂的組別。本實驗恰為圖三的倒轉。第 1 組為不經槓桿，其餘組別抗力臂如圖所示。結果，實驗組音量皆相近，而且和圖三相較結果也相近，但皆不如不經槓桿的第 1 組）

七、實驗組各組總重調整成相等

表七

組別	抗力臂 (cm)	施力臂 (cm)	全長 (cm)	鋁管加線圈的總質量 (g)	加掛砝碼的質量 (g)	總質量 (g)	聲音分貝峰值 (dB)	標準差 (dB)
1	0	0	0	N/A	N/A	N/A	87.6	0.9
2	20	15	35	26.0	192.2	218.2	73.3	2.1
3	20	20	40	29.6	188.6	218.2	74.3	1.2
4	20	25	45	33.6	184.6	218.2	73.0	1.6
5	20	30	50	37.2	181.0	218.2	75.7	1.7
6	20	35	55	41.0	177.2	218.2	74.7	1.2
7	20	40	60	44.6	183.6	218.2	73.7	1.7
8	20	45	65	48.6	169.6	218.2	75.7	0.9
9	20	50	70	52.4	165.8	218.2	75.3	0.5
10	20	55	75	56.0	162.2	218.2	75.0	1.4
11	20	60	80	59.6	159..6	218.2	76.0	2.1
12	20	65	85	63.4	154.8	218.2	75.0	2.9
13	20	70	90	67.2	151.0	218.2	74.7	1.7
14	20	75	95	70.8	147.4	218.2	74.3	0.5
15	20	80	100	74.8	143.4	218.2	72.7	2.4



（圖七，縱軸座標代表音量，其單位為分貝，橫軸則為不同施力臂的組別。第 1 組為不經槓桿，其餘各組的總重皆相等，結果實驗組音量皆相近）

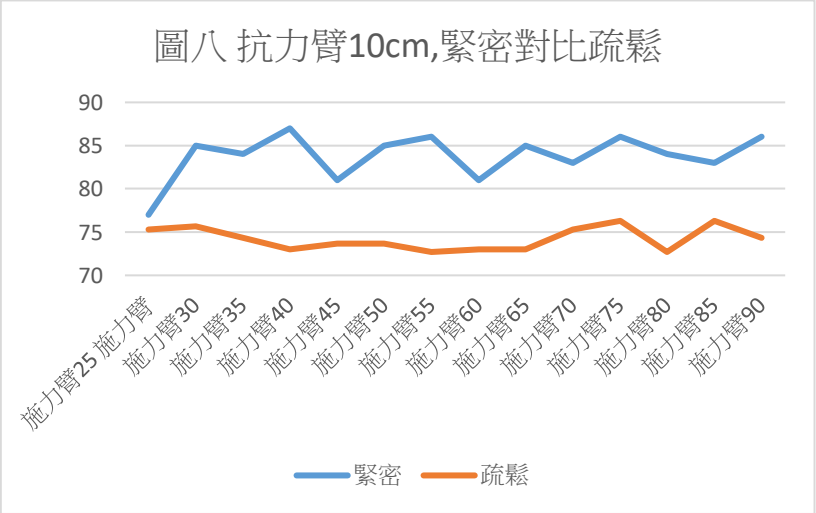
八、槓桿更緊密時的測量結果

抗力臂固定為 10cm，變動施力臂長度（並先平衡兩側配重）

表八

組別	抗力臂 (cm)	施力臂 (cm)	聲音分貝峰值 (dB)
1	0	0	87
2	10	15	83
3	10	20	81
4	10	25	77
5	10	30	85
6	10	35	84
7	10	40	87
8	10	45	81
9	10	50	85
10	10	55	86
11	10	60	81
12	10	65	85
13	10	70	83
14	10	75	86
15	10	80	84
16	10	85	83
17	10	90	86

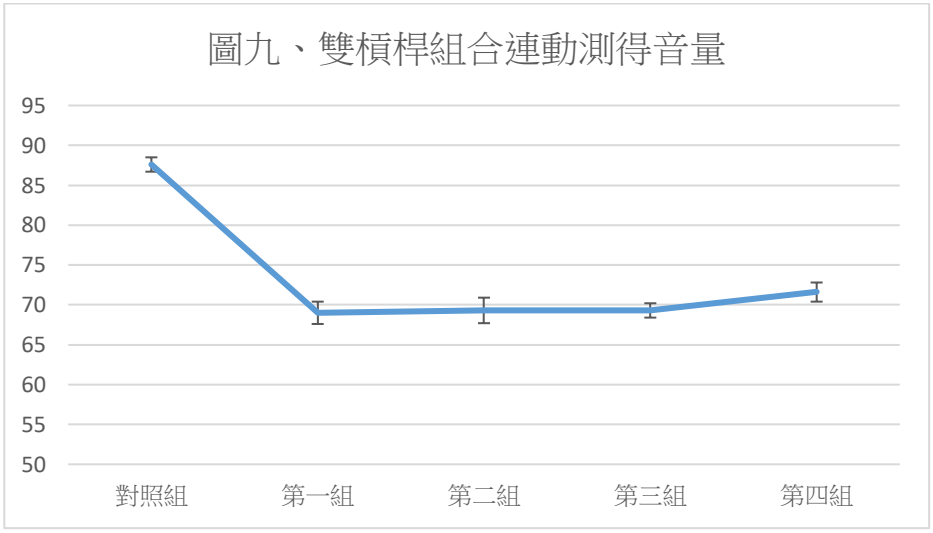
表八的音量明顯大於表一的音量，二者的支點相對位置皆相同，但表八的結構調整更為緊密故音量也明顯變大。



（圖八，縱軸座標代表音量，其單位為分貝，橫軸則為不同施力臂的組別。第 1 組為不經槓桿，其餘各組的總重皆相等，結果實驗組音量皆相近）

表九、引進雙重槓桿的複式組合，以模擬多聽骨的藕合機制。

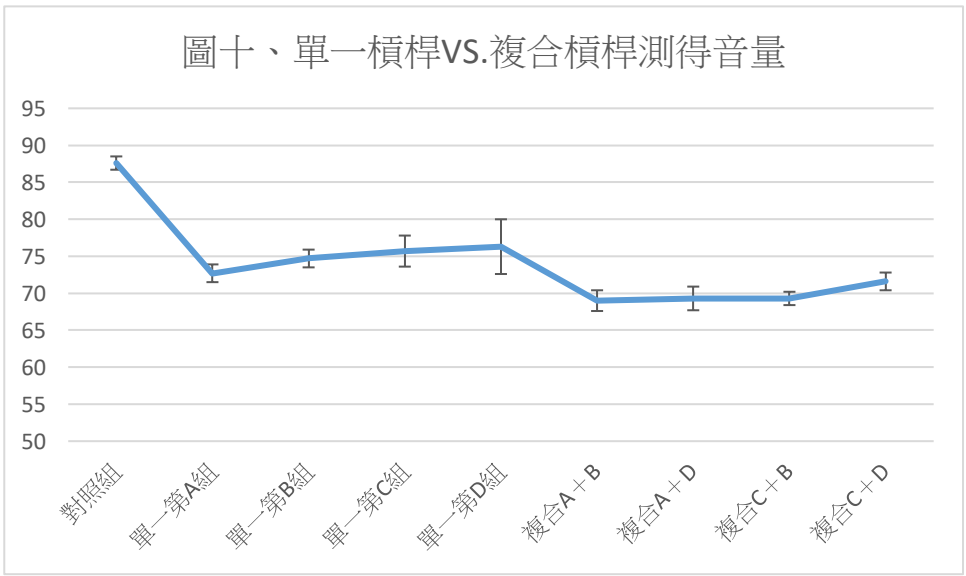
	兩個槓桿連動		三重覆實驗測得音量				
	第一槓桿	第二槓桿	第 1 次	第 2 次	第 3 次	平均值	標準差
對照組	N/A	N/A	87 dB	89 dB	87 dB	87.6	0.9
第一組	施力臂>抗力臂 40cm>20cm	施力臂>抗力臂 30cm>20cm	70dB	67 dB	70 dB	69.0	1.4
第二組	施力臂>抗力臂 40cm>20cm	施力臂<抗力臂 20cm<30cm	71 dB	70 dB	67 dB	69.3	1.6
第三組	施力臂<抗力臂 20cm<40cm	施力臂>抗力臂 30cm>20cm	68 dB	70 dB	70 dB	69.3	0.9
第四組	施力臂<抗力臂 20vm<40cm	施力臂<抗力臂 20cm<30cm	70 dB	72 dB	73 dB	71.6	1.2



（圖九，縱軸座標代表音量，其單位為分貝，橫軸則為雙重槓桿的組合。各組的成分參見表九）

表十、比較單一槓桿和複式槓桿對能量傳遞的效度

類型	組別	槓桿規格	三重覆量測音量實驗			平均	標準差
對照組	對照組	N／A	87 dB	89 dB	87 dB	87.6	0.9
單一槓桿	A	施力臂 > 抗力臂 40cm > 20cm	73	74	71	72.7	1.2
	B	施力臂 > 抗力臂 30cm > 20cm	76	73	75	74.7	1.2
	C	施力臂 < 抗力臂 20cm < 40cm	78	76	73	75.7	2.1
	D	施力臂 < 抗力臂 20cm < 30cm	72	81	76	76.3	3.7
複合槓桿	第一組	A＋B	70dB	67 dB	70 dB	69.0	1.4
	第二組	A＋D	71 dB	70 dB	67 dB	69.3	1.6
	第三組	C＋B	68 dB	70 dB	70 dB	69.3	0.9
	第四組	C＋D	70 dB	72 dB	73 dB	71.6	1.2

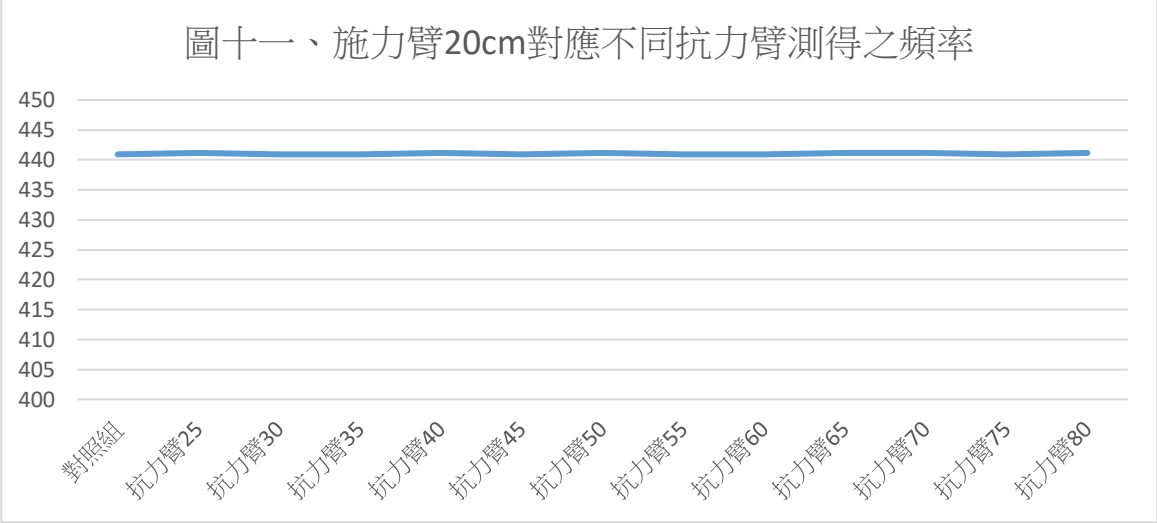


（圖十，縱軸座標代表音量，其單位為分貝，橫軸則為單一槓桿和雙重槓桿的組合。其成分參見表十）

九、以單音測頻率，音源為 440.92Hz 結果鋁盤無論任何長度的力臂皆發出一致的頻率 440.92 至 441.16Hz

表十一，施力臂固定為 20cm,搭配不同抗力臂所測得的頻率

組別	抗力臂 (cm)	施力臂 (cm)	聲音頻率值 Hz
1	0	0	440.92
2	25	20	441.16
3	30	20	440.92
4	35	20	440.92
5	40	20	441.16
6	45	20	440.92
7	50	20	441.16
8	55	20	440.92
9	60	20	440.92
10	65	20	441.16
11	70	20	441.16
12	75	20	440.92
13	80	20	441.16



（圖十一，縱軸座標代表頻率，其單位為 Hz，施力臂固定為 20cm, 搭配不同抗力臂）

陸、討論

一、我們的實驗設計是結合安培定律和槓桿原理，安培定律是用來產生振動，槓桿原理則是我們聚焦的主軸。

二、最初我們的設計結構傾向輕巧，但在施力端，能量因而容易渙散，無法有效傳遞至抗力端。後來改採厚重的設計思維，終於克服能量傳遞的障礙。

三、我們一度受制於 「力矩＝力×力臂」的觀點。最初預期每一個施力在施力臂大於抗力臂的情形下，理應在抗力端可驅動更大的抗力，產生更大的敲擊力道，製造更大的音量。但研究的結果出爐，卻炯異於我們原本的預期。不斷檢驗所有結構和操作細節，結果不同的支點位置，音量卻極相近。我們決定擴大觀點，引入功率的思維。

四、引入功率的思維，再比對我們的研究結果，讓我們豁然開朗。

以施力臂：抗力臂＝10：1 為例

施力：抗力＝1：10

再考慮時間，及施力端和抗力端擺動位移。

同一時間內，施力端的端點擺動位移：抗力端的端點擺動位移＝10：1

換算成移動速度也就是，施力端的端點移動速度：抗力端的端點移動速度＝10：1

所以理論上 F×V 在槓桿兩端是相等的，也就是功率是守恆的。乘以時間後，F×V×t　能量是守恆的。

接著，抗力端敲擊鋁杯，則應引入碰撞的物理觀。當然非完全彈性碰撞必有能量耗損。能量轉移有效量，決定音量的大小。（圖一至圖六）

五、槓桿先平衡但各組的質量不相等時所得音量和槓桿先平衡且各組的質量相等時所得音量結果相近。（圖一至圖七）

六、槓桿結構的緊密程度，對聲音的傳遞效度有極大影響。結構鬆弛，音量會被削弱；結構緊密，音量則加大。由此可達成對聲音的過濾效果。（圖八）

七、複合式的槓桿更貼近真實聽骨的運作情景，能量傳遞過程也比單一槓桿耗損更多。（圖九、圖十）**藕合多重**槓桿的銜接處成為能量傳遞效能的關鍵，簡單的說，這就成了過濾能量的另一關卡。但兩槓桿銜接處仍保有靈活度，不能鎖住，否則豈不就成單一槓桿，而不是複式槓桿？

柒、結論

一、槓桿的結構，施力臂>抗力臂無法提高聲音的音量，抗力臂> 施力臂 也不會因而大輻度削弱聲音的音量。可見聲音分貝終究和能量有關。換言之，槓桿的結構無法違背能量守恆的定律，**在本實驗再度獲得印證。因此生理學的教科書放大作用之說法**。仍有開放討論空間。

二、我們認為槓桿的結構對聲音的傳遞，應是過濾作用，槓桿結構不同的緊密程度對音量的傳遞效度不同，可藉此達成過濾作用，削弱大音量對聽覺構造的傷害。

三、頻率的表現已由鋁盤鎖定。換言之，更換鋁盤成其他材質，才有可能改變頻率。但也可能必須動用專業的音頻分析儀才能精準分析。

四、本研究我們全方位的整合了力矩、功率、碰撞、能量轉移，終於呈現清晰的思路。再返回力矩的觀點，也釐清了我們對力矩似是而非的迷思。

五、本研究可在跨領域生物醫學方面提供更精準的思維，也可在聽覺系統指出更正確的研究方向。發明更好聽覺輔具，以造福聽障者。

六、本研究也為生物演化提供了一個大哉問：聽骨顯然不是為放大能量而存在，那麼它的真正存在的意義何在？回答此問題的最佳解決策略，就是再度以物理觀點審視聽覺系統整個結構。三小聽骨，第一塊連接耳膜；第三塊連接蝸牛殼管上的卵圓窗；第二塊聽骨則介於第一塊與第三塊聽骨之間，三者形成複合式槓桿。（見示意圖一、示意圖二、示意三）耳膜面積大於卵圓窗的面積，三小聽骨的複合式槓桿是可以放大力，也可放大壓力。因為即使力不變，傳到卵圓窗較小的面積時，壓力也會變大。卵圓窗對蝸牛殼管而言，則扮演活塞式的角色，活塞的壓力在蝸牛殼管內部的密閉液體空間傳導，帕司卡原理在此登場。這也是我們未來可以深入研究的方向。三小聽骨的槓桿原理如何影響蝸牛殼管內的帕司卡原理？帕司卡原理又如影響最終聲音的表現？我們躍躍欲試。

捌、參考資料

一、維基百科-槓桿
https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%9D%A0%E6%9D%86
二、維基百科-慣性
https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%85%A3%E6%80%A7
三、維基百科-安培右手法則
https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%8F%B3%E6%89%8B%E5%AE%9A%E5%89%87
四、Tools Dev，聲級計、噪聲檢測器，手機 APP，2016.7.26，1.2 版本
五、CarlTune，半音階調諧器，手機 APP，2016.11.18，2.9.4 版本
六、https://www.youtube.com/watch?v=1mnZswDdjMY 標準音樂
七、SEIKO Quartz metronome SQ-77 440.92Hz

【評語】030111

有新意的題材，雖然對結論不太有把握，但挑戰理論的勇氣可嘉。實驗裝置的設計與製作用心且精巧，對於聲音縱波傳播的探討，可更深入去了解。

作品海報

摘要

槓桿原理的運用廣泛，但在物理學鮮少和聲音聯結在一起。至少在國中生很少人會將兩者聯想在一起。我們卻從人耳的生理結構，突發奇想，想打造一套能傳遞聲音的槓桿結構，並研究其特性。在克服了重重困難後，我們果真成功從零到有自製出獨一無二的實驗系統，藉由不同支點、不同抗力臂、不同施力臂的調整以及不同平衡質量的調校，我們在仿生的世界，發掘未知的奧秘並享受實驗的樂趣。很多生理學的教科書都說人耳的三小聽骨類似槓桿結構有放大作用，但我們的研究卻發現槓桿結構對聲音的傳遞並無明顯放大作用，反而是過濾作用。欲知其詳，且看我們的研究分析。

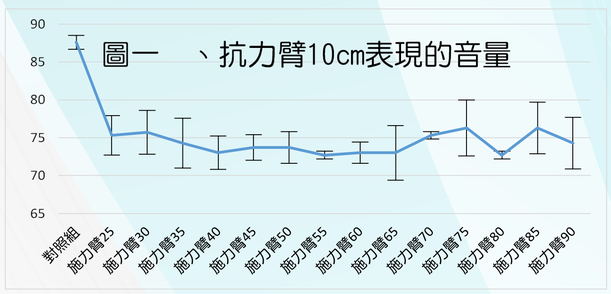
伍、研究結果

一、施力臂>抗力臂

抗力臂固定為 10cm，變動施力臂長度（並先平衡兩側配重）

表一

組別	抗力臂	施力臂	聲音分貝峰值①	聲音分貝峰值②	聲音分貝峰值③	平均值 dB	標準差
1	0 cm	0 cm	87	89	87	87.6	0.9
2	10cm	25cm	73	74	79	75.3	2.6
3	10cm	30cm	79	76	72	75.7	2.9
4	10cm	35cm	70	75	78	74.3	3.3
5	10cm	40cm	75	74	70	73.0	2.2
6	10cm	45cm	76	72	73	73.7	1.7
7	10cm	50cm	71	74	76	73.7	2.1
8	10cm	55cm	73	73	72	72.7	0.5
9	10cm	60cm	75	72	72	73.0	1.4
10	10cm	65cm	76	75	68	73.0	3.6
11	10cm	70cm	75	75	76	75.3	0.5
12	10cm	75cm	72	81	76	76.3	3.7
13	10cm	80cm	72	73	73	72.7	0.5
14	10cm	85cm	75	73	81	76.3	3.4
15	10cm	90cm	71	73	79	74.3	3.4



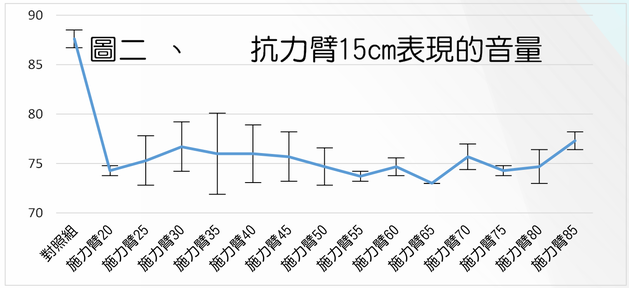
（圖一，縱軸座標代表音量，其單位為分貝，橫軸則為不同施力臂的組別。第 1 組為不經槓桿，其餘組別施力臂如圖所示。結果，實驗組音量皆相近，但皆不如不經槓桿的第 1 組）

二、施力臂>抗力臂

抗力臂固定為 15cm，變動施力臂長度（並先平衡兩側配重）

表二

組別	抗力臂	施力臂	聲音分貝峰值①	聲音分貝峰值②	聲音分貝峰值③	平均值	標準差
1	0 cm	0 cm	87	89	87	87.6	0.9
2	15cm	20cm	75	74	74	74.3	0.5
3	15cm	25cm	76	78	72	75.3	2.5
4	15cm	30cm	80	76	74	76.7	2.5
5	15cm	35cm	76	71	81	76.0	4.1
6	15cm	40cm	75	73	80	76.0	2.9
7	15cm	45cm	75	73	79	75.7	2.5
8	15cm	50cm	76	72	76	74.7	1.9
9	15cm	55cm	74	73	74	73.7	0.5
10	15cm	60cm	74	74	76	74.7	0.9
11	15cm	65cm	73	73	73	73.0	0.0
12	15cm	70cm	74	77	76	75.7	1.3
13	15cm	75cm	74	74	75	74.3	0.5
14	15cm	80cm	74	73	77	74.7	1.7
15	15cm	85cm	78	78	76	77.3	0.9



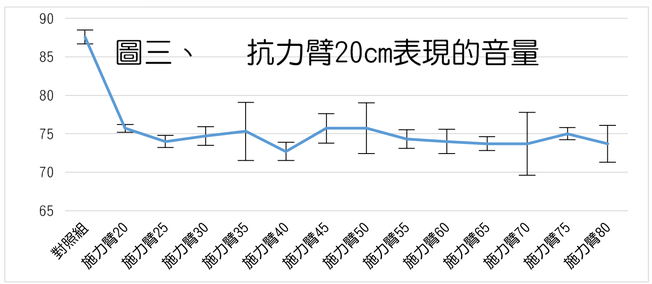
（圖二，縱軸座標代表音量，其單位為分貝，橫軸則為不同施力臂的組別。第 1 組為不經槓桿，其餘組別施力臂如圖所示。結果，實驗組音量皆相近，但皆不如不經槓桿的第 1 組）

三、施力臂>抗力臂（只有第 2 組施力臂=抗力臂）

抗力臂固定為 20cm，變動施力臂長度（並先平衡兩側配重）

表三

組別	抗力臂	施力臂	聲音分貝峰值①	聲音分貝峰值②	聲音分貝峰值③	平均值	標準差
1	0 cm	0 cm	87	89	87	87.6	0.9
2	20cm	20cm	75	76	76	75.7	0.5
3	20cm	25cm	74	73	75	74.0	0.8
4	20cm	30cm	76	73	75	74.7	1.2
5	20cm	35cm	78	70	78	75.3	3.8
6	20cm	40cm	73	74	71	72.7	1.2
7	20cm	45cm	77	77	73	75.7	1.9
8	20cm	50cm	80	72	75	75.7	3.3
9	20cm	55cm	73	76	74	74.3	1.2
10	20cm	60cm	74	76	72	74.0	1.6
11	20cm	65cm	73	75	73	73.7	0.9
12	20cm	70cm	79	69	73	73.7	4.1
13	20cm	75cm	76	74	75	75.0	0.8
14	20cm	80cm	77	72	72	73.7	2.4



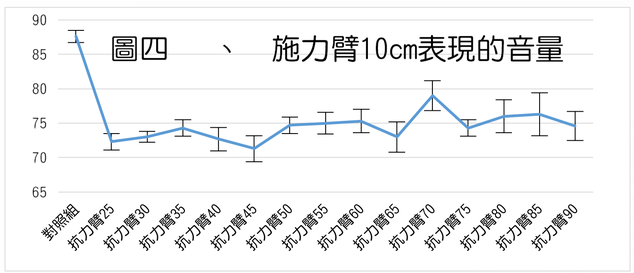
（圖三，縱軸座標代表音量，其單位為分貝，橫軸則為不同施力臂的組別。第 1 組為不經槓桿，其餘組別施力臂如圖所示。結果，實驗組音量皆相近，但皆不如不經槓桿的第 1 組）

四、倒轉（抗力臂>施力臂）

施力臂固定為 10cm，變動抗力臂長度（並先平衡兩側配重）

表四

組別	抗力臂	施力臂	聲音分貝峰值①	聲音分貝峰值②	聲音分貝峰值③	平均值	標準差
1	0 cm	0 cm	87	89	87	87.6	0.9
2	25cm	10cm	74	72	71	72.3	1.2
3	30cm	10cm	72	74	73	73.0	0.8
4	35cm	10cm	73	74	76	74.3	1.2
5	40cm	10cm	75	71	72	72.7	1.7
6	45cm	10cm	74	70	70	71.3	1.9
7	50cm	10cm	73	75	76	74.7	1.2
8	55cm	10cm	75	77	73	75.0	1.6
9	60cm	10cm	76	77	73	75.3	1.7
10	65cm	10cm	76	72	71	73.0	2.2
11	70cm	10cm	82	77	78	79.0	2.2
12	75cm	10cm	76	73	74	74.3	1.2
13	80cm	10cm	79	73	76	76.0	2.4
14	85cm	10cm	78	79	72	76.3	3.1
15	90cm	10cm	72	75	77	74..6	2.1



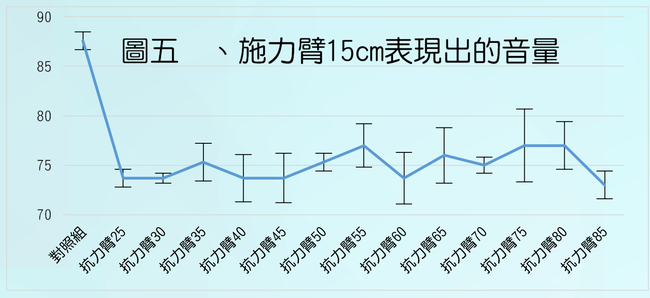
（圖四，縱軸座標代表音量，其單位為分貝，橫軸則為不同抗力臂的組別。本實驗恰為圖一的倒轉。第 1 組為不經槓桿，其餘組別抗力臂如圖所示。結果，實驗組音量皆相近，而且和圖一相較結果也相近，但皆不如不經槓桿的第 1 組）

五、倒轉（抗力臂>施力臂）

施力臂固定為 15cm，變動抗力臂長度（並先平衡兩側配重）

表五

組別	抗力臂	施力臂	聲音分貝峰值①	聲音分貝峰值②	聲音分貝峰值③	平均值	標準差
1	0 cm	0 cm	87	89	87	87.6	0.9
2	25cm	15cm	73	73	75	73.7	0.9
3	30cm	15cm	74	73	74	73.7	0.5
4	35cm	15cm	78	74	74	75.3	1.9
5	40cm	15cm	77	72	72	73.7	2.4
6	45cm	15cm	77	71	73	73.7	2.5
7	50cm	15cm	74	76	76	75.3	0.9
8	55cm	15cm	74	79	78	77.0	2.2
9	60cm	15cm	75	70	76	73.7	2.6
10	65cm	15cm	80	74	74	76.0	2.8
11	70cm	15cm	76	75	74	75.0	0.8
12	75cm	15cm	82	76	73	77.0	3.7
13	80cm	15cm	80	77	74	77.0	2.4
14	85cm	15cm	72	75	72	73.0	1.4



（圖五，縱軸座標代表音量，其單位為分貝，橫軸則為不同抗力臂的組別。本實驗恰為圖二的倒轉。第 1 組為不經槓桿，其餘組別抗力臂如圖所示。結果，實驗組音量皆相近，而且和圖二相較結果也相近，但皆不如不經槓桿的第 1 組）

六、倒轉（抗力臂>施力臂）

施力臂固定為 20cm，變動抗力臂長度（並先平衡兩側配重） 表六

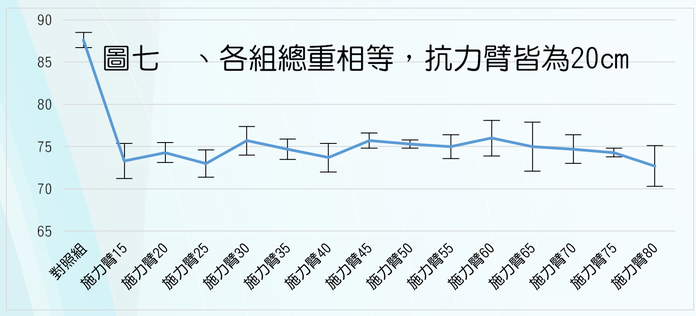
組別	抗力臂	施力臂	聲音分貝峰值①	聲音分貝峰值②	聲音分貝峰值③	平均值	標準差
1	0 cm	0 cm	87	89	87	87.6	0.9
2	20cm	20cm	74	75	75	74.7	0.5
3	25cm	20cm	73	71	72	72.0	0.8
4	30cm	20cm	72	81	76	76.3	3.7
5	35cm	20cm	73	73	73	73.0	0.0
6	40cm	20cm	78	76	73	75.7	2.1
7	45cm	20cm	70	70	72	70.7	0.9
8	50cm	20cm	74	70	70	71.3	1.9
9	55cm	20cm	70	74	78	74.0	3.3
10	60cm	20cm	76	75	71	74.0	2.2
11	65cm	20cm	78	77	73	76.0	2.2
12	70cm	20cm	77	72	75	74.7	2.1
13	75cm	20cm	78	74	75	75.7	1.7
14	80cm	20cm	78	74	70	74.0	3.3

（圖六，縱軸座標代表音量，其單位為分貝，橫軸則為不同抗力臂的組別。本實驗恰為圖三的倒轉。第 1 組為不經槓桿，其餘組別抗力臂如圖所示。結果，實驗組音量皆相近，而且和圖三相較結果也相近，但皆不如不經槓桿的第 1 組）

七、實驗組各組總重調整成相等

表七

組別	抗力臂	施力臂	全長	鋁管加線圈的總質量	加掛砝碼的質量	總質量	聲音分貝峰值	標準差
1	0	0	0	N/A	N/A	N/A	87.6dB	0.9
2	20cm	15cm	35 cm	26.0g	192.2g	218.2g	73.3dB	2.1
3	20cm	20cm	40cm	29.6g	188.6g	218.2g	74.3dB	1.2
4	20cm	25cm	45 cm	33.6g	184.6g	218.2g	73.0dB	1.6
5	20cm	30cm	50 cm	37.2g	181.0	218.2g	75.7dB	1.7
6	20cm	35cm	55 cm	41.0g	177.2g	218.2g	74.7dB	1.2
7	20cm	40cm	60 cm	44.6g	183.6g	218.2g	73.7dB	1.7
8	20cm	45cm	65 cm	48.6g	169.6g	218.2g	75.7dB	0.9
9	20cm	50cm	70 cm	52.4g	165.8g	218.2g	75.3dB	0.5
10	20cm	55cm	75 cm	56.0g	162.2g	218.2g	75.0dB	1.4
11	20cm	60cm	80 cm	59.6g	159..6g	218.2g	76.0dB	2.1
12	20cm	65cm	85 cm	63.4g	154.8g	218.2g	75.0dB	2.9
13	20cm	70cm	90 cm	67.2g	151.0g	218.2g	74.7dB	1.7
14	20cm	75cm	95 cm	70.8g	147.4g	218.2g	74.3dB	0.5
15	20cm	80cm	100 cm	74.8g	143.4g	218.2g	72.7dB	2.4



（圖七，縱軸座標代表音量，其單位為分貝，橫軸則為不同施力臂的組別。第 1 組為不經槓桿，其餘各組的總重皆相等，結果實驗組音量皆相近）

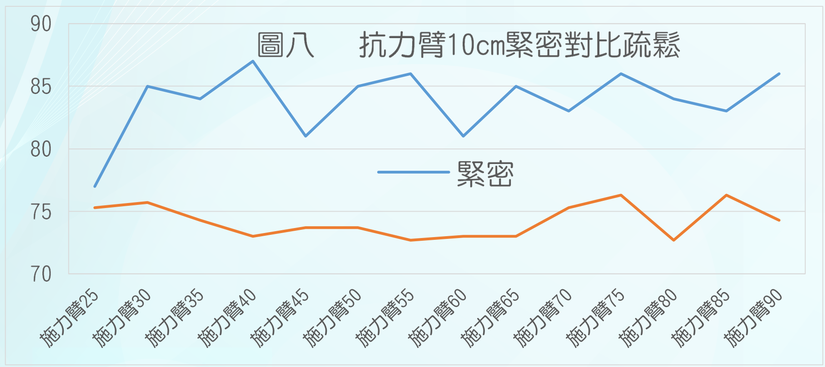
八、槓桿更緊密時的測量結果

抗力臂固定為 10cm，變動施力臂長度（並先平衡兩側配重）

表八

組別	抗力臂	施力臂	聲音分貝峰值
1	0	0	87dB
2	10cm	15cm	83dB
3	10cm	20cm	81dB
4	10cm	25cm	77dB
5	10cm	30cm	85dB
6	10cm	35cm	84dB
7	10cm	40cm	87dB
8	10cm	45cm	81dB
9	10cm	50cm	85dB
10	10cm	55cm	86dB
11	10cm	60cm	81dB
12	10cm	65cm	85dB
13	10cm	70cm	83dB
14	10cm	75cm	86dB
15	10cm	80cm	84dB
16	10cm	85cm	83dB
17	10cm	90cm	86dB

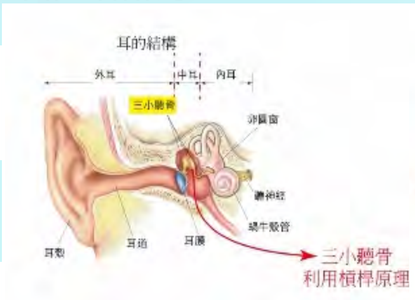
表八的音量明顯大於表一的音量，二者的支點相對位置皆相同，但表八的結構調整更為緊密故音量也明顯變大。



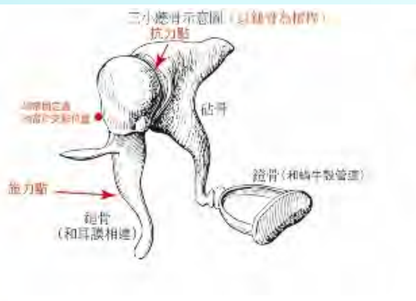
（圖八，縱軸座標代表音量，其單位為分貝，橫軸則為不同施力臂的組別。第 1 組為不經槓桿，其餘各組的總重皆相等，結果實驗組音量皆相近）

壹、研究動機

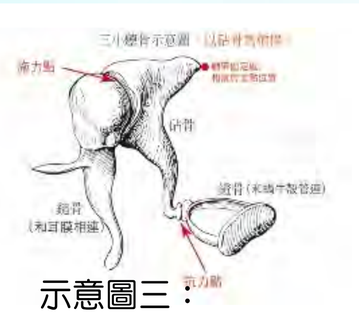
人的中耳有三塊小聽骨(如下圖所示)，很多生理學的教科書都說這是槓桿原理的應用，目的是放大作用。槓桿原理和聲音如何聯結？連續振動是產生聲音的必要條件，這種連續振動的特質會和槓桿原理擦出甚麼樣的火花，令我們深深感到好奇。我們不能滿足理化教科書聲音歸聲音，槓桿原理歸槓桿原理的內容。於是打造一個可以實驗的仿生平臺之念頭油然而生。



示意圖一：
人耳的解剖圖



示意圖二：
人耳聽骨的放大圖，第一聽骨槓桿結構的剖析圖。



示意圖三：
人耳聽骨的放大圖，第二聽骨槓桿結構的剖析圖。

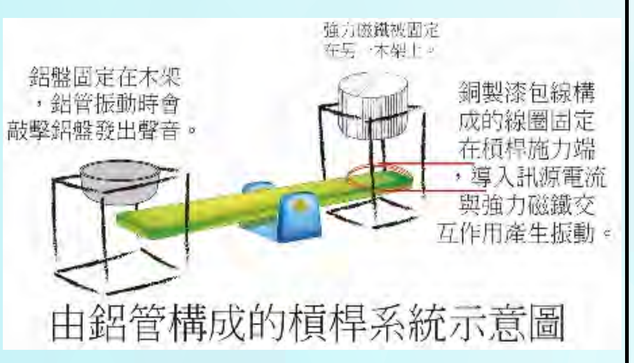
貳、研究目的

一、研究槓桿構造如何介入聲音的傳遞
二、研究改變支點、抗力臂、施力臂等變因對聲音之分貝和頻率的影響。
三、研究改變結構體質量對於聲音分貝的影響。
四、研究複合式槓桿對於聲音分貝的影響。

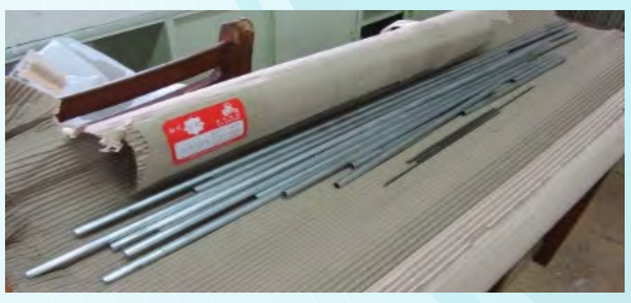
參、研究設備或器材

一、發音材料：
紙杯（紙杯、塑膠杯、鋁箔杯）、銅線線圈、強力磁鐵、電路板(以現成音響的電路板，來協助完成。電腦提供音源。
二、槓桿原理實驗平臺：
購自特力屋的松木條、鋁箔杯、鋁管（25~100cm）直徑外徑 10mm，內徑 8mm 每支相差 5cm 共 18 支、砝碼（用來平衡）
三、用具：
剪刀、尖嘴鉗、榔頭、美工刀、透明膠帶、雙面膠、霧面膠帶、圖釘、螺絲釘、圓鋸機（用來鋸松木）、車床、電鑽、迴紋針（用來平衡）、螺帽（用來平衡）、手機 SAMSONG J7（利用 APP 測聲音的分貝和頻率）、SEIKO Quartz metronome SQ-77

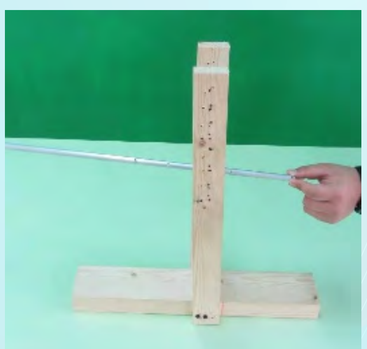
（照片一：我們自製的平臺，傳遞聲音的槓桿構造）



(示意圖四： 可傳遞聲音之槓桿系統)



（照片二：訂製的鋁管，從 25cm 至 100cm 共 18 支，直徑外徑 10mm，內徑 8mm。每支長度相差 5cm，做為力臂，其支點位置，則以電鑽在車床定位鑽孔）



（照片三：由鋁管取特定位置為支點構成槓桿，模擬聽骨）

（照片四：由銅線構成線圈架設在鋁管或鋁棒的施力端，利用電流磁效應，帶動整個鋁管或鋁棒振動）

（照片五：槓桿結構以鋁盤做為抗力端的俯視圖。厚重的木頭形成穩定的結構，可使槓桿傳遞振動時更有效。這是我們從無數次失敗，悟出的心得。鋁盤的振動最終表現出聲音）

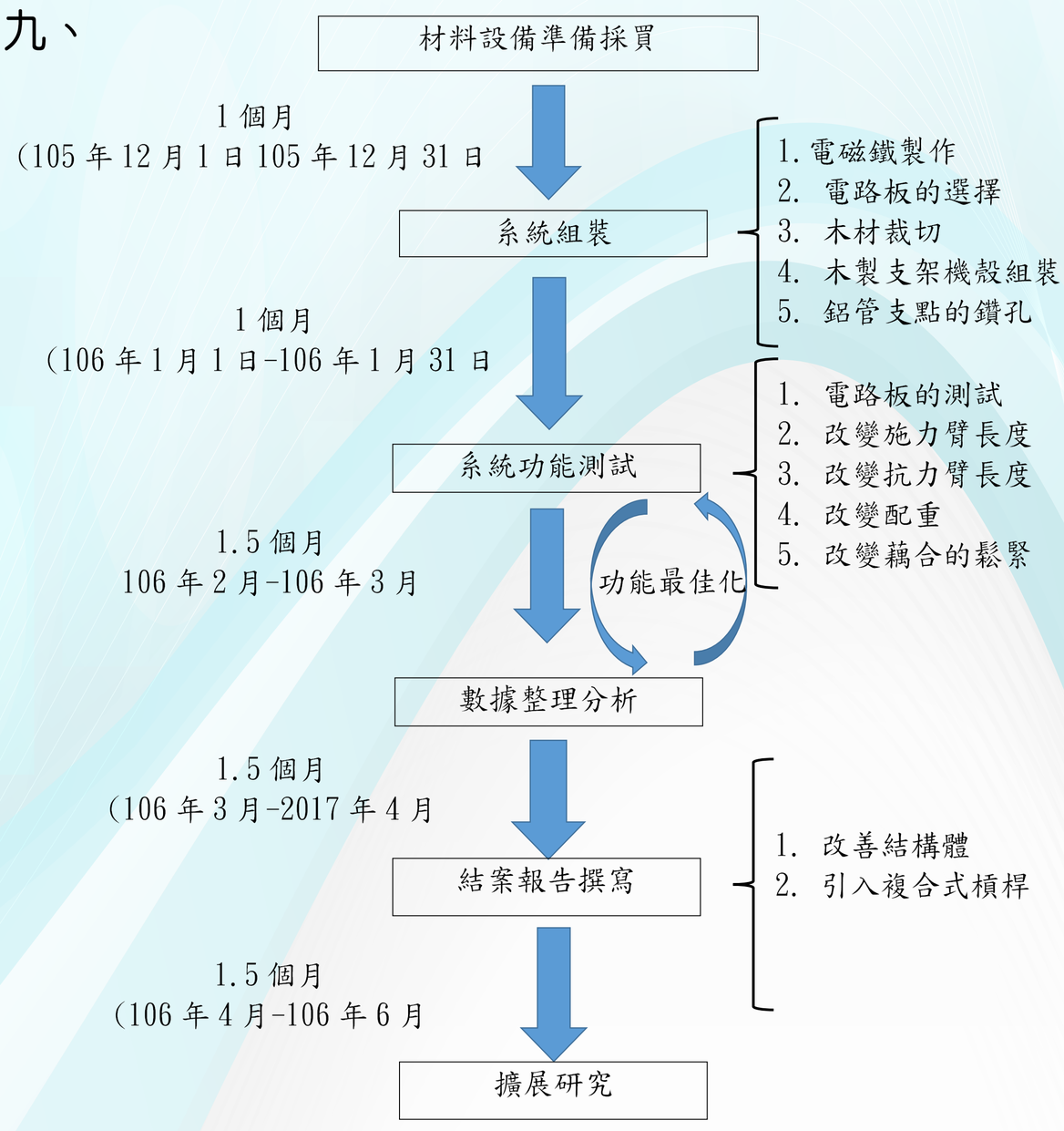
（照片六：鋁管或鋁棒透過槓桿作用敲擊在鋁盤底部，發出聲音）

（照片七：複合式槓桿作用模擬不同聽骨組合的效應，銜接處幾近水平）

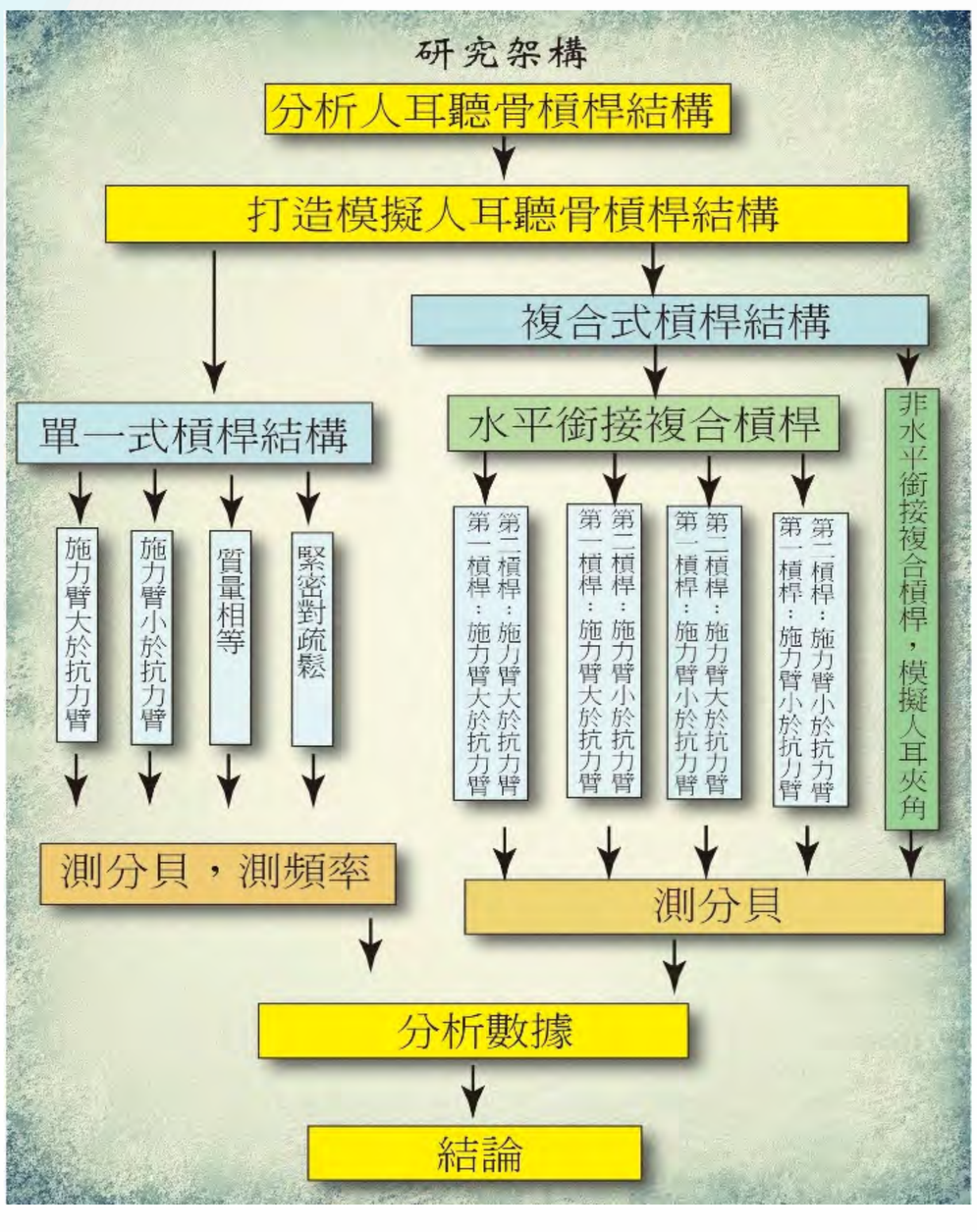
（照片八：複合式槓桿作用模擬不同聽骨組合的效應，銜接處非水平，更近似聽骨的真實排列情形）

肆、研究過程或方法

一、將電腦輸出的音源，利用電路板轉為電流大小，再利用電流流經線圈形成磁效應，與強力磁鐵互動，轉成振動，帶動槓桿施力臂端的振動。銅線的線圈（直徑 1 英吋，圈數 20 圈），固定在施力臂末端，線圈兩端的線與電路板的輸出端相連，電路板的功能是將電腦音源的訊號轉成電流強弱的訊號，此電流強弱的訊號輸送到線圈成為磁力強弱的訊號，與固定在木頭的強力磁鐵交互作用，時而吸力，時而斥力，於是帶動槓桿施力臂端的振動。進而透過槓桿作用帶動抗力臂端的振動，再撞擊鋁盤，發出聲音。
二、音源分為樂曲及單音。樂曲取自 https://www.youtube.com/watch?v=1mnZswDdjMY 貝多芬的第五號交響曲第一樂音前四小節，單音則取自 SEIKO Quartz metronome SQ-77 440.92Hz。樂曲用於測分貝，單音用於測頻率。
三、利用手機 APP 測聲音的分貝及頻率。手機放置鋁杯正上方 4.8 公分，利用手機程式測量其分貝。(參考資料四)
四、對照組則線圈直接固定在鋁盤上，直接與強力磁鐵交互作用，產生聲音。不透過槓桿作用。再測聲音的分貝及頻率。(參見照片六)
五、鋁杯或強力磁鐵皆必須分別固定在不同的穩固架上，鋁杯或強力磁鐵在木架上的高低位置可以調整，以因應不同長度的鋁管所構成的力臂所需的最佳作用角度。
六、引進不同長度的抗力臂、施力臂等變因。
七、引進鋁管質量等變因。
八、引進複合槓桿組合，進一步模擬不同聽骨的組合效果。
九、



十、

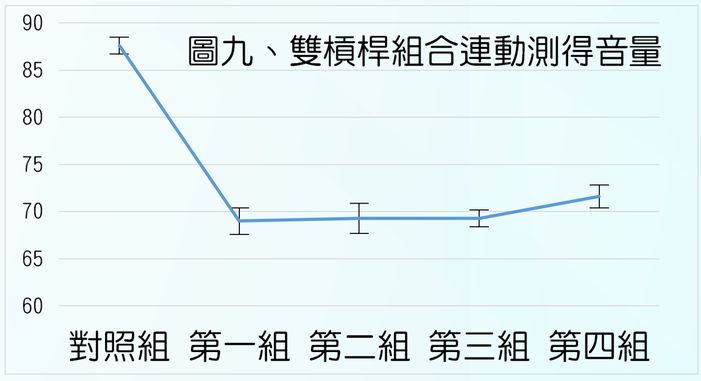


伍、研究結果(續)

九、引進複合式槓桿，以水平方式銜接

表九、引進雙重槓桿的複式組合，以模擬多聽骨的藕合機制。

	兩個槓桿連動		三重覆實驗測得音量				
	第一槓桿	第二槓桿	第１次	第２次	第３次	平均值	標準差
對照組	N/A	N/A	87 dB	89 dB	87 dB	87.6	0.9
第一組	施力臂>抗力臂	施力臂>抗力臂	70dB	67 dB	70 dB	69.0	1.4
	40cm>20cm	30cm>20cm					
第二組	施力臂>抗力臂	施力臂<抗力臂	71 dB	70 dB	67 dB	69.3	1.6
	40cm>20cm	20cm<30cm					
第三組	施力臂<抗力臂	施力臂>抗力臂	68 dB	70 dB	70 dB	69.3	0.9
	20cm<40cm	30cm>20cm					
第四組	施力臂<抗力臂	施力臂<抗力臂	70 dB	72 dB	73 dB	71.6	1.2
	20vm<40cm	20cm<30cm					

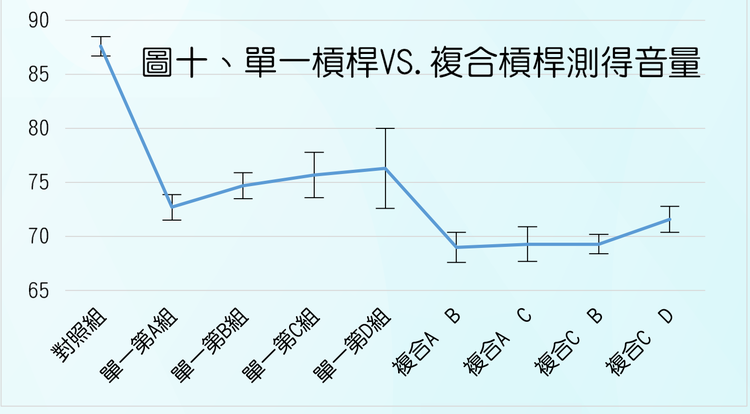


（圖九，縱軸座標代表音量，其單位為分貝，橫軸則為雙重槓桿的組合。各組的成分參見表九，銜接方式水平）

十、對比單一槓桿和複合槓桿

表十、比較單一槓桿和複式槓桿對能量傳遞的效度

類型	組別	槓桿規格	三重覆量測音量實驗			平均	標準差
對照組	對照組	N／A	87 dB	89 dB	87 dB	87.6	0.9
單一槓桿	A	施力臂 > 抗力臂	73	74	71	72.7	1.2
		40cm > 20cm					
	B	施力臂 > 抗力臂	76	73	75	74.7	1.2
		30cm > 20cm					
	C	施力臂 < 抗力臂	78	76	73	75.7	2.1
		20cm < 40cm					
	D	施力臂 < 抗力臂	72	81	76	76.3	3.7
		20cm < 30cm					
複合槓桿	第一組	A＋B	70dB	67 dB	70 dB	69.0	1.4
	第二組	A＋D	71 dB	70 dB	67 dB	69.3	1.6
	第三組	C＋B	68 dB	70 dB	70 dB	69.3	0.9
	第四組	C＋D	70 dB	72 dB	73 dB	71.6	1.2

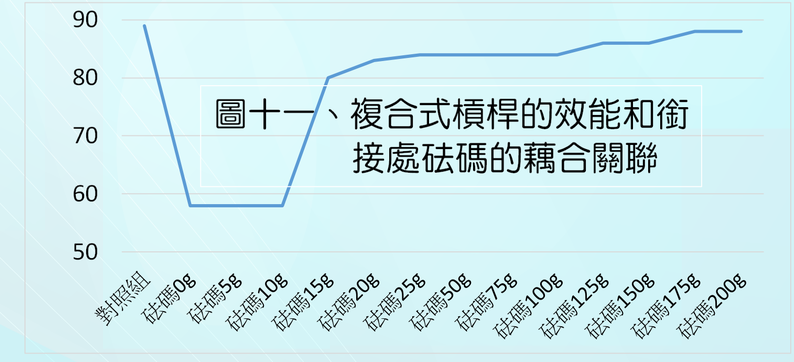


（圖十，縱軸座標代表音量，其單位為分貝，橫軸則為單一槓桿和雙重槓桿的組合。其成分參見表十）

十一、複合式槓桿，銜接方式不是水平，而是順應兩鋁管可互卡的最佳角度，約 120 度（見照片八）。如此一來也更貼近真實聽骨的相互關係。結果如表十一和圖十一所示。

表十一、

複式槓桿	對照組	實驗組1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
銜接處之砝碼（克）	N/A	0	5	10	15	20	25	50	75	100	125	150	175	200
音量（dB）	89	58	58	58	80	83	84	84	84	84	86	86	88	88
註	對照組，線圈的振動不經槓桿，而是直接驅動鋁盤。實驗組則是透過複合式槓桿驅動鋁盤發聲，所謂複合式槓桿是包含第一槓桿：施力臂 12.5cm，抗力臂 12.5cm。第二槓桿：施力臂 20cm，抗力臂 10cm。兩者銜接處夾角約 120 度。以順應兩槓桿互卡的最佳方位，由此延伸的影響是系統的其餘部分其角度也要調整才能完美匹配。銜接處的砝碼則是提供兩槓桿不同藕合程度的重要變因。（參見照片八）													

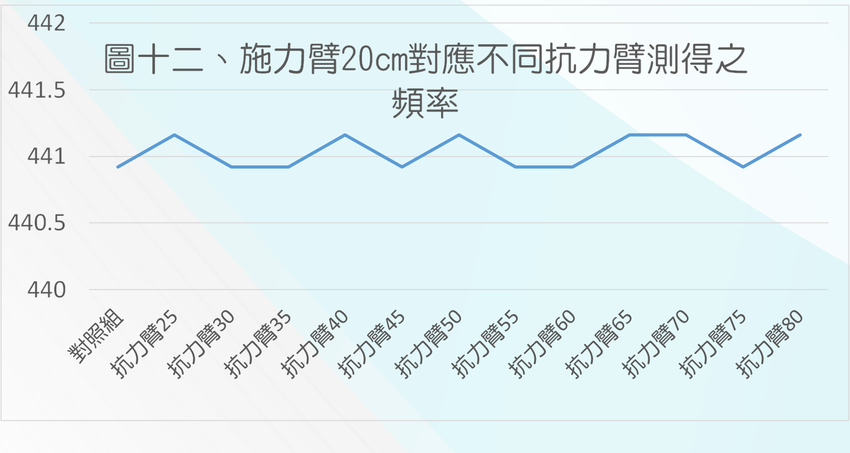


（圖十一，縱軸座標代表音量，其單位為分貝，橫軸則為複合槓桿銜接處砝碼的配重。由圖可見砝碼配重 15g 時，音量顯著提升。而且在配重 175g 和 200g 時，音量直逼對照組。）

十二、以單音測頻率，音源為 440.92Hz 結果鋁盤無論任何長度的力臂皆發出一致的頻率 440.92 至 441.16Hz

表十二，施力臂固定為 20cm，搭配不同抗力臂所測得的頻率

組別	抗力臂 (cm)	施力臂 (cm)	聲音頻率值 Hz
1	0	0	440.92
2	25	20	441.16
3	30	20	440.92
4	35	20	440.92
5	40	20	441.16
6	45	20	440.92
7	50	20	441.16
8	55	20	440.92
9	60	20	440.92
10	65	20	441.16
11	70	20	441.16
12	75	20	440.92
13	80	20	441.16



（圖十二，縱軸座標代表頻率，其單位為 Hz，施力臂固定為 20cm，搭配不同抗力臂）

陸、討論

一、我們的實驗設計是結合安培定律和槓桿原理，利用安培定律的電磁效應和強力磁鐵交互作用來產生振動以帶動槓桿系統，槓桿原理則是我們聚焦的主軸。

二、最初我們的設計結構傾向輕巧，但在施力端，能量因而容易渙散，無法有效傳遞至抗力端。後來改採厚重的設計思維，終於克服能量傳遞的障礙。

三、我們一度受制於 「力矩＝力×力臂」的觀點。最初預期每一個施力在施力臂大於抗力臂的情形下，理應在抗力端可驅動更大的抗力，產生更大的敲擊力道，製造更大的音量。但研究的結果出爐，卻炯異於我們原本的預期。不斷檢驗所有結構和操作細節，結果不同的支點位置，音量卻極相近。我們決定擴大觀點，引入功率的思維。

四、引入功率的思維，再比對我們的研究結果，讓我們豁然開朗。

以施力臂：抗力臂＝10：1 為例

施力：抗力＝1：10

再考慮時間，及施力端和抗力端擺動位移。

同一時間內，施力端的端點擺動位移：抗力端的端點擺動位移＝10：1

換算成移動速率也就是，施力端的端點移動速率：抗力端的端點移動速率＝10：1

所以理論上 F×V 在槓桿兩端是相等的，也就是功率是守恆的。乘以時間後，F×V×t　能量是守恆的。

接著，抗力端敲擊鋁杯，則應引入碰撞的物理觀。當然非完全彈性碰撞必有能量耗損。 能量轉移有效量，決定音量的大小。（圖一至圖六）

五、槓桿先平衡但各組的質量不相等時所得音量和槓桿先平衡且各組的質量相等時所得音量結果相近。（圖一至圖七）

六、槓桿結構的緊密程度，對聲音的傳遞效度有極大影響。結構鬆弛，音量會被削弱；結構緊密，音量則加大。由此可達成對聲音的過濾效果。（圖八、圖十二）

七、複合式的槓桿更貼近真實聽骨的運作情景，能量傳遞過程也比單一槓桿耗損更多。（圖九、圖十）藕合多重槓桿的銜接處成為能量傳遞效能的關鍵，簡單的說，這就成了過濾能量的另一關卡。但兩槓桿銜接處仍保有靈活度，不能鎖住，否則豈不就成單一槓桿，而不是複式槓桿？我們原本以為水平方式的藕合是最有效的傳遞聲音方式，可是從有夾角的複合式槓桿（表十一、圖十一）的結果來看，未必如此。藕合的緊密程度顯然影響更大。

八、聽骨扮演傳導聲音的重要介質，使空氣的音波能順利傳進淋巴液，驅動浸在淋巴液的聽覺接受器。就此功能而言，一塊聽骨，如果夠長的話，不也是可以達到目的？能量更不會耗損，不是嗎？但大聲在此不王道，能有效控制能量傳遞的比率才是兼具實用和保護的兩全之計。複合式的槓桿可達到更精巧控制的目的。

柒、結論

一、槓桿的結構，施力臂>抗力臂無法提高聲音的音量，抗力臂>施力臂 也不會因而大輻度削弱聲音的音量。可見聲音分貝終究和能量有關。換言之，槓桿的結構無法違背能量守恆的定律，在本實驗再度獲得印證。因此某些生理學或生物物理教科書放大作用之說法（例，蕭雅文（1997 初版； 2016，初版 11 刷）・聽力學導論 P.54・臺北市：五南。）有修正之必要。

二、我們認為槓桿的結構對聲音的傳遞，應是過濾作用，槓桿結構不同的緊密程度對音量的傳遞效度不同，可藉此達成過濾作用，削弱大音量對聽覺構造的傷害。

三、頻率的表現，在材質可匹配時，已由音源鎖定。(表十二、圖十二)

四、本研究我們全方位的整合了力矩、功率、碰撞、能量轉移，終於呈現清晰的思路。再返回力矩的觀點，也釐清了我們對力矩似是而非的迷思。

五、本研究可在跨領域生物醫學方面提供更精準的思維，也可在聽覺系統指出更正確的研究方向。發明更好聽覺輔具，以造福聽障者。

六、聽骨顯然不是為放大能量而存在，它的真正存在的意義是使空氣的音波能順利傳進淋巴液。三小聽骨，由於耳膜面積大於卵圓窗的面積，三小聽骨的複合式槓桿是可以放大力，也可放大壓力。因為即使力不變，傳到卵圓窗較小的面積時，壓力也會變大。卵圓窗對蝸牛殼管而言，則扮演活塞式的角色，活塞的壓力在蝸牛殼管內部的密閉液體空間傳導，帕司卡原理在此登場。帕司卡原理又如影響最終聲音的表現？聲音的波動，是一種動態表現，運用在槓桿原理或帕司卡原理，開啟了一個新視野。這也是我們未來可以再深入研究的方向。我們躍躍欲試。

捌、參考資料

一、蕭雅文（1997）・聽力學導論・臺北市：五南

二、Eric P. Widmaier , Vander’s Human Physiology ,11th Edition, MacGRAW HILL

二、維基百科-槓桿 https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%9D%A0%E6%9D%86

三、維基百科-慣性 https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%85%A3%E6%80%A7

四、維基百科-安培右手法則 https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%8F%B3%E6%89%8B%E5%AE%9A%E5%89%87

五、Tools Dev，聲級計、噪聲檢測器，手機 APP，2016.7.26，1.2 版本

六、CarlTune，半音階調諧器，手機 APP，2016.11.18，2.9.4 版本

七、https://www.youtube.com/watch?v=1mnZswDdjMY 標準音樂

八、SEIKO Quartz metronome SQ-77 440.92Hz