

金門地區第 62 屆中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：行為與社會科學科

組 別：高級中等學校組

作品名稱：探討聲音頻率與強度變化對於聽覺感知的影響

關 鍵 詞：泛音、音強、錯聽

編 號：

摘要

我們發現一個不變的音頻若使受試者出現錯聽，其原因為泛音，而音強可影響產生錯聽與否，因此音頻的快慢、聲音的強度皆會影響人們的聽覺感知。本研究透過查詢文獻與針對 26 名受測學生進行聆聽不同頻率及強度搭配的音頻實驗，以及分析實驗後續資料，來了解構成聲音的要素，以及探討群眾的錯聽、泛音現象。

壹、研究動機



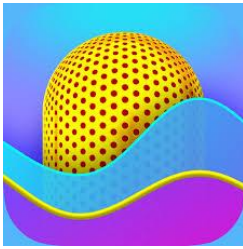

當研究此報告的其中一位成員用電子節拍器的音準練習拉小提琴時，偶然發現音調逐漸增高，會有某些「音頻不變、音強不變」的情況，聲音卻聽起來感覺更為刺耳，故布置了最初的實驗，想確認在何種頻率下會發生該情況，但經過查證後卻發現，該情況就是等響曲線。為了突破實驗，我們決定將實驗條件改為「音頻不變、音強改變」，而在這樣的研究進行過後，我們又進一步地發現當一個頻率持續不變音頻的音高較高時，聽者似乎較容易出現音頻變高的錯聽現象，因此我們想知道產生錯聽的原因。

貳、研究目的

- 一、整理可能使聲音聽起來不同的因素及其機制
- 二、探討音越高，越易導致聽者產生錯聽的原因
- 三、探討 E5、F5 聽覺感知不符合實驗曲線的原因

參、研究設備及器材

一、研究設備一覽

			
圖一、Soundcorset 軟體 logo (圖片來源： https://bit.ly/3qZzytP)	圖二、DIY 先生。聽力測試，音響頻率響應測試音頻 10Hz~24000Hz Sine Wave Sound Frequency Tone (圖片來源： https://bit.ly/3j1xkFT)	圖三、Spectrum App IOS 軟體 logo (圖片來源： https://bit.ly/378RvyK)	圖四、Marshall Acton II Bluetooth 經典黑藍牙喇叭 (圖片來源： https://bit.ly/3J65JOq)
Soundcorset 調音器、節拍器(用以產生實驗播放的部分音頻)	Youtube 音頻變化之聽力測試 (用以產生實驗播放的部分音頻)	Spectrum App IOS (研究過程中用以分析聲音頻譜)	Marshall Action II 喇叭 (於實驗時用以播放音頻)

二、改變頻率或強度對聽覺感受的影響問卷（完整題目及對應音頻設計詳見拾、附錄）

（一）、問卷題目說明：

為了解一般人聆聽不同音頻時，是否會產生錯覺而設計。每題分別使用 7 種音階（不同頻率）之聲音搭配 3 種強度改變（漸強、漸弱及不變）的方式，使用軟體產生出 20 種不同的音頻予受測者感受。

（二）、問卷填答對象：

本研究以該年度本校高二自然專題課程中的 26 名學生做為施測母體，其中男性有 15 人、女性有 11 人，年齡皆為 16、17 歲。

肆、研究方法及過程

一、研究方法

（一）、文獻探討

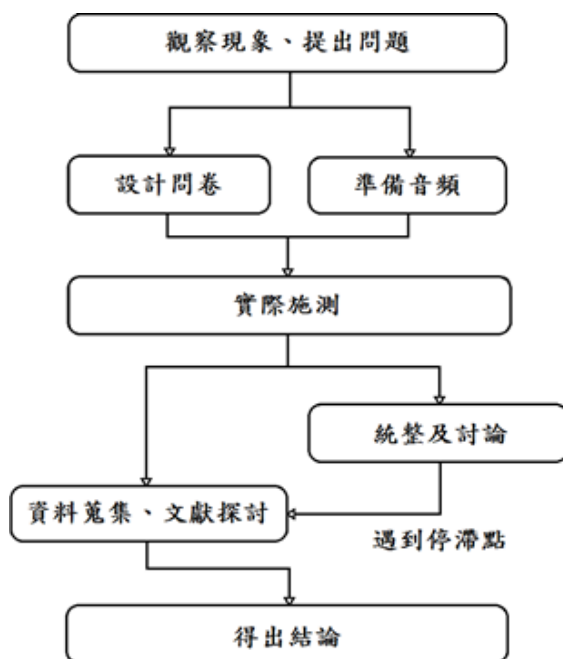
我們研究過程中的第一步為「文獻分析法」（Document Analysis），根據國家通訊傳播委員會在其研究中的說明，其指的是透過蒐集及歸納統整有關的文獻資料以分析事件，從而全面且精準地掌握所要研究問題的一種方式。本研究的文獻來源有網路及校內圖書館。

（二）、調查法

本研究使 26 名受測者現場聆聽音頻並填寫研究者所設計之改變頻率或強度對聽覺感受的影響問卷，後續再針對所獲結果資料進行統計、處理，及進一步的討論與分析。

二、研究流程圖

本研究之步驟與流程詳見下圖五。



圖五、研究流程圖（研究者自繪）

伍、研究結果

一、原始資料

(一)、以音強變化作為操縱變因之 T 檢定分析結果

		成對樣本檢定								
		成對差異數						T	df	顯著性 (雙尾)
		平均 數	標準 偏差	標準錯 誤平均 值	95%差異數的信賴區間					
					下限	上限				
頻率感知	C5 漸強 - 漸弱	.3077	.6794	.1332	.0333	.5821	2.309	25	.029	
強度感知	C5 漸強 - 漸弱	1.8462	.3679	.0722	1.6975	1.9948	25.584	25	.000	
頻率感知	D5 漸強 - 漸弱	-.3462	.7971	.1563	-.6681	-.0242	-2.214	25	.036	
強度感知	D5 漸強 - 漸弱	-1.6154	.6373	.1250	-1.8728	-1.3580	-12.925	25	.000	
頻率感知	E5 漸強 - 漸弱	-.4615	.6469	.1269	-.7228	-.2003	-3.638	25	.001	
強度感知	E5 漸強 - 漸弱	-1.6923	.6177	.1211	-1.9418	-1.4428	-13.970	25	.000	
頻率感知	F5 漸強 - 漸弱	.1154	.7114	.1395	-.1720	.4027	.827	25	.416	
強度感知	F5 漸強 - 漸弱	1.6923	.6177	.1211	1.4428	1.9418	13.970	25	.000	
頻率感知	G5 漸強 - 漸弱	.6538	.6895	.1352	.3754	.9323	4.835	25	.000	
強度感知	G5 漸強 - 漸弱	1.5769	.5778	.1133	1.3435	1.8103	13.916	25	.000	
頻率感知	A5 漸強 - 漸弱	.3462	.7971	.1563	.0242	.6681	2.214	25	.036	
強度感知	A5 漸強 - 漸弱	1.7308	.5335	.1046	1.5153	1.9463	16.542	25	.000	
頻率感知	B5 漸強 - 漸弱	-.6154	.6972	.1367	-.8970	-.3338	-4.500	25	.000	
強度感知	B5 漸強 - 漸弱	-1.8462	.3679	.0722	-1.9948	-1.6975	-25.584	25	.000	

(二)、以改變音頻作為操縱變因之 T 檢定分析結果

		成對樣本檢定							
		成對差異數							顯著性 (雙尾)
		平均 數	標準 偏差	標準錯 誤平均 值	95%差異數的信賴區間		T	df	
					下限	上限			
頻率 感知	強度不變音頻變高 (100~200Hz)	-.0769	.6276	.1231	-.3304	.1766	-.625	25	.538
強度 感知	強度不變音頻變高 (100~200Hz)	-.0769	.4836	.0948	-.2722	.1184	-.811	25	.425
頻率 感知	強度不變音頻變高 (150~250Hz)	.1154	.6528	.1280	-.1483	.3791	.901	25	.376
強度 感知	強度不變音頻變高 (150~250Hz)	-.2692	.6038	.1184	-.5131	-.0253	-2.273	25	.032
頻率 感知	強度不變音頻變高 (400~500Hz)	-.3077	.6794	.1332	-.5821	-.0333	-2.309	25	.029
強度 感知	強度不變音頻變高 (400~500Hz)	-.0769	.5602	.1099	-.3032	.1494	-.700	25	.490

(三)、影響聲音的要素之 T 檢定分析結果

		成對樣本檢定							
		成對差異數							顯著性 (雙尾)
		平均 數	標準 偏差	標準錯 誤平均 值	95% 差異數的信賴區間		T	df	
					下限	上限			
手寫題 1 - 手寫題 2	音頻影響音強 - 音強影響音頻	.3846	.6373	.1250	.1272	.6420	3.077	25	.005
手寫題 1 - 手寫題 3	音頻影響音強 - 音色影響音頻、音強	.0385	.5277	.1035	-.1747	.2516	.372	25	.713
手寫題 2 - 手寫題 3	音強影響音頻 - 音色影響音頻、音強	-.3462	.7452	.1462	-.6472	-.0451	-2.368	25	.026

陸、討論

一、為什麼使用 T 檢定

本研究之受試者皆為同屆之年紀相仿學生，且男女比例接近於一比一，雖然樣本數少於三十件應採用無母數檢定，對小樣本的母群體來說會更適合，但在嘗試使用 T 檢定做資料分析後，我們發現兩兩的相似題型間沒有非常顯著的結果差異，故我們假設在本屆理組班級隨機抽樣的受試者呈現常態分佈，將兩相似題作為兩種母群體，用屬母數分析的 T 檢定來觀察其結果。

二、為何實驗結果顯示同樣頻率的音頻，受測者會因為其強度變高，而隨之產生出聲音頻率也變高的錯聽

我們在 C5 至 B5 的音域（見下圖六）中，每次挑選一個音，分別進行聲音強度的增、減，而通過實驗結果，我們觀察到的現象是：在「頻率不變、音強變高」的條件下，會導致受試者聆聽原本頻率應該不變的音時，出現了頻率變高的錯聽現象。



圖六、「完美鋼琴」軟體截圖。C5 為 C4 的高八度，故 C5~B5 皆比 C4 ~B5 高八度。

我們推測這樣的實驗結果跟「泛音」的現象有關係，「泛音是指分音列中除了基音以外的任何一音。當一根弦或空氣柱整體振動而產生基音（第一分音）時，在該基音上將發出與基頻為整數倍的頻率。」（維基百科，2022）。由於泛音是基音通過空氣振動而產生的分音，所以即便我們在實驗中使用的音頻皆為單音（C5 至 B5），但仍然會產生泛音，出現聽起來的音頻略為變高的結果。



圖七、「Spectrum App iOS」軟體內截圖。除第一波峰為基頻，其他波峰皆為泛音的頻率。

由於在「頻率變高、音強不變」的條件下，音強為控制變因，因此我們不予將其加入聲音強度與泛音的探討中，而在「頻率不變、音強變高」、「頻率不變、音強變低」二者強度變化中，前者情況下會有較多人產生錯聽。又在「頻率不變、音強變低」的條件下較不會產生錯聽的原因為：在音強變小的過程中泛音不容易被聽出來，因為聽不見泛音，也就無法有頻率變高的感覺，反之，若音強變高，便會聽到頻率在空氣中震動所產生的泛音，此泛音列不斷重疊，也就出現音頻變高的感覺。因此聲音強度變化會影響聽覺感受。

三、為何 E5、F5 的實驗結果不符合上升趨勢

透過實驗結果發現，在「頻率不變、音強增加」的條件下，E5、F5 音的結果呈現出，E5 時有較多人認為聲音頻率變高，而較高的音 F5 卻沒有呈現出「音頻較高時，產生該頻率變高感覺」的正相關。

我們推測其原因與聲音頻率差有關。第十五題 E5、第七題 F5 的近似頻率為 659Hz、698Hz，兩者的前後題皆為「頻率變高、音強不變」的條件，又第六題、第十四題的最高頻率分別達到 250Hz、200Hz，第六題與 F5 的頻率差為 409Hz、第 14 題與 E5 的頻率差為 498Hz。由於前者的頻率差較小，所以推測受試者聽出第六題、第七題間頻率變化差距，推算出 F5 並沒有出現頻率的變化，而後者則因為頻率差較大，所以若以第十四題、第十五題間的頻率變化差距作為判斷依據，實驗結果會更貼近於耳朵所聽到的真實感受。

由於 F5 與前一題的音頻差相對於 E5 較小，故推測受試者可藉由此分辨頻率間的變化。因 F5 與 E5 接近（只差半音），且為高音低的分點，故我們推測實驗結果可能會受前一題的影響。

柒、結論

- 一、頻率及強度皆有可能為使聲音聽起來不同的因素。
- 二、泛音將使受試者產生頻率變高的錯聽。
- 三、音強會影響聽覺感受，決定是否產生錯聽。

捌、展望

- 一、可再做一組不同音頻（音高）的實驗，及完善原實驗的更多細節。
- 二、可再針對不同群體受測者做泛音現象的驗證。
- 三、探討為什麼觀眾會選擇聽泛音，而忽略基音。

玖、參考資料

- 一、國家通訊傳播委員會。**第二章研究方法**（年代未知）。檢索自：<https://bit.ly/3j2NHC3>。
檢索日期：2022 年 03 月 29 日。
- 二、孫俊彥（2015 年 01 月 30 日）。**音樂與科學：音樂與泛音**。檢索自：
<https://bit.ly/3uRBZ2K>。檢索日期：2022 年 03 月 29 日。

三、何宗翰（2018年06月15日）。內科部研究能力課程（二）、連續型變數之統計檢定：平均數檢定與無母數檢定。檢索自：<https://bit.ly/3LGh1e0>。檢索日期：2022年03月27日。

四、好和弦（2021年04月17日）。不要相信你的耳朵！5個讓你懷疑自己的聽覺錯覺現象～。檢索自：<https://bit.ly/3J0UUNn>。檢索日期：2022年03月26日。

拾、附錄

一、改變頻率或強度對聽覺感受的影響問卷題目

最初準備 20 種不同頻率與強度的組合，與 3 題手寫題題目分別如下：

對組	題號	項目	發放之紙本問卷（題目）	原實驗設計（答案）
1 (頻率聽覺)	1	聲音的頻率	頻率： <input type="checkbox"/> 變高 <input type="checkbox"/> 不變 <input type="checkbox"/> 變低	C5 不變，強度漸強
	11	聲音的頻率	頻率： <input type="checkbox"/> 變高 <input type="checkbox"/> 不變 <input type="checkbox"/> 變低	C5 不變，強度漸弱
2 (強度聽覺)	1	聲音的強度	強度（大小聲）： <input type="checkbox"/> 變高 <input type="checkbox"/> 不變 <input type="checkbox"/> 變低	C5 不變，強度漸強
	11	聲音的強度	強度（大小聲）： <input type="checkbox"/> 變高 <input type="checkbox"/> 不變 <input type="checkbox"/> 變低	C5 不變，強度漸弱
3 (頻率聽覺)	2	聲音的頻率	頻率： <input type="checkbox"/> 變高 <input type="checkbox"/> 不變 <input type="checkbox"/> 變低	G5 不變，強度漸強
	12	聲音的頻率	頻率： <input type="checkbox"/> 變高 <input type="checkbox"/> 不變 <input type="checkbox"/> 變低	G5 不變，強度漸弱
4 (強度聽覺)	2	聲音的強度	強度（大小聲）： <input type="checkbox"/> 變高 <input type="checkbox"/> 不變 <input type="checkbox"/> 變低	G5 不變，強度漸強
	12	聲音的強度	強度（大小聲）： <input type="checkbox"/> 變高 <input type="checkbox"/> 不變 <input type="checkbox"/> 變低	G5 不變，強度漸弱
5 (頻率聽覺)	3	聲音的頻率	頻率： <input type="checkbox"/> 變高 <input type="checkbox"/> 不變 <input type="checkbox"/> 變低	B5 不變，強度漸弱
	13	聲音的頻率	頻率： <input type="checkbox"/> 變高 <input type="checkbox"/> 不變 <input type="checkbox"/> 變低	B5 不變，強度漸強
6 (強度聽覺)	3	聲音的強度	強度（大小聲）： <input type="checkbox"/> 變高 <input type="checkbox"/> 不變 <input type="checkbox"/> 變低	B5 不變，強度漸弱
	13	聲音的強度	強度（大小聲）： <input type="checkbox"/> 變高 <input type="checkbox"/> 不變 <input type="checkbox"/> 變低	B5 不變，強度漸強
7 (頻率聽覺)	4	聲音的頻率	頻率： <input type="checkbox"/> 變高 <input type="checkbox"/> 不變 <input type="checkbox"/> 變低	音頻變高（100~200Hz）， 強弱不變
	14	聲音的頻率	頻率： <input type="checkbox"/> 變高 <input type="checkbox"/> 不變 <input type="checkbox"/> 變低	音頻變高（100~200Hz）， 強弱不變
8 (強度聽覺)	4	聲音的強度	強度（大小聲）： <input type="checkbox"/> 變高 <input type="checkbox"/> 不變 <input type="checkbox"/> 變低	音頻變高（100~200Hz）， 強弱不變
	14	聲音的強度	強度（大小聲）： <input type="checkbox"/> 變高 <input type="checkbox"/> 不變 <input type="checkbox"/> 變低	音頻變高（100~200Hz）， 強弱不變
9 (頻率聽覺)	5	聲音的頻率	頻率： <input type="checkbox"/> 變高 <input type="checkbox"/> 不變 <input type="checkbox"/> 變低	E5 不變，強度漸弱
	15	聲音的頻率	頻率： <input type="checkbox"/> 變高 <input type="checkbox"/> 不變 <input type="checkbox"/> 變低	E5 不變，強度漸強
10 (強度聽覺)	5	聲音的強度	強度（大小聲）： <input type="checkbox"/> 變高 <input type="checkbox"/> 不變 <input type="checkbox"/> 變低	E5 不變，強度漸弱
	15	聲音的強度	強度（大小聲）： <input type="checkbox"/> 變高 <input type="checkbox"/> 不變 <input type="checkbox"/> 變低	E5 不變，強度漸強
11 (頻率聽覺)	6	聲音的頻率	頻率： <input type="checkbox"/> 變高 <input type="checkbox"/> 不變 <input type="checkbox"/> 變低	音頻變高（150~250Hz）， 強弱不變
	16	聲音的頻率	頻率： <input type="checkbox"/> 變高 <input type="checkbox"/> 不變 <input type="checkbox"/> 變低	音頻變高（150~250Hz）， 強弱不變

12 (強度聽覺)	6	聲音的強度	強度(大小聲): <input type="checkbox"/> 變高 <input type="checkbox"/> 不變 <input type="checkbox"/> 變低	音頻變高(150~250Hz), 強弱不變
	16	聲音的強度	強度(大小聲): <input type="checkbox"/> 變高 <input type="checkbox"/> 不變 <input type="checkbox"/> 變低	音頻變高(150~250Hz), 強弱不變
13 (頻率聽覺)	7	聲音的頻率	頻率: <input type="checkbox"/> 變高 <input type="checkbox"/> 不變 <input type="checkbox"/> 變低	F5 不變, 強度漸強
	17	聲音的頻率	頻率: <input type="checkbox"/> 變高 <input type="checkbox"/> 不變 <input type="checkbox"/> 變低	F5 不變, 強度漸弱
14 (強度聽覺)	7	聲音的強度	強度(大小聲): <input type="checkbox"/> 變高 <input type="checkbox"/> 不變 <input type="checkbox"/> 變低	F5 不變, 強度漸強
	17	聲音的強度	強度(大小聲): <input type="checkbox"/> 變高 <input type="checkbox"/> 不變 <input type="checkbox"/> 變低	F5 不變, 強度漸弱
15 (頻率聽覺)	8	聲音的頻率	頻率: <input type="checkbox"/> 變高 <input type="checkbox"/> 不變 <input type="checkbox"/> 變低	音頻變高(400~500Hz), 強弱不變
	18	聲音的頻率	頻率: <input type="checkbox"/> 變高 <input type="checkbox"/> 不變 <input type="checkbox"/> 變低	音頻變高(400~500Hz), 強弱不變
16 (強度聽覺)	8	聲音的強度	強度(大小聲): <input type="checkbox"/> 變高 <input type="checkbox"/> 不變 <input type="checkbox"/> 變低	音頻變高(400~500Hz), 強弱不變
	18	聲音的強度	強度(大小聲): <input type="checkbox"/> 變高 <input type="checkbox"/> 不變 <input type="checkbox"/> 變低	音頻變高(400~500Hz), 強弱不變
17 (頻率聽覺)	9	聲音的頻率	頻率: <input type="checkbox"/> 變高 <input type="checkbox"/> 不變 <input type="checkbox"/> 變低	D5 不變, 強度漸弱
	19	聲音的頻率	頻率: <input type="checkbox"/> 變高 <input type="checkbox"/> 不變 <input type="checkbox"/> 變低	D5 不變, 強度漸強
18 (強度聽覺)	9	聲音的強度	強度(大小聲): <input type="checkbox"/> 變高 <input type="checkbox"/> 不變 <input type="checkbox"/> 變低	D5 不變, 強度漸弱
	19	聲音的強度	強度(大小聲): <input type="checkbox"/> 變高 <input type="checkbox"/> 不變 <input type="checkbox"/> 變低	D5 不變, 強度漸強
19 (頻率聽覺)	10	聲音的頻率	頻率: <input type="checkbox"/> 變高 <input type="checkbox"/> 不變 <input type="checkbox"/> 變低	A5 不變, 強度漸強
	20	聲音的頻率	頻率: <input type="checkbox"/> 變高 <input type="checkbox"/> 不變 <input type="checkbox"/> 變低	A5 不變, 強度漸弱
20 (強度聽覺)	10	聲音的強度	強度(大小聲): <input type="checkbox"/> 變高 <input type="checkbox"/> 不變 <input type="checkbox"/> 變低	A5 不變, 強度漸強
	20	聲音的強度	強度(大小聲): <input type="checkbox"/> 變高 <input type="checkbox"/> 不變 <input type="checkbox"/> 變低	A5 不變, 強度漸弱
21	(手寫題 1)		你覺得聲音的「頻率」變化會不會影響聽覺的大小聲?	無
22	(手寫題 2)		你覺得聲音的「強度」變化會不會影響聽覺的頻率高低?	
23	(手寫題 3)		你覺得聲音的「音色」會不會影響聽覺頻率、或大小聲的高低?	