



# 配戴助聽器聽障學生母音 產出之差異——以聲學參數分析

陳慶錨 國立高雄師範大學特殊教育學系博士班研究生

## 摘要

本研究旨在比較重度與極重度聽力損傷學生與聽力正常學生於母音產出的差異，本研究參與者分為兩組，一組為雙耳配戴助聽器的聽損青少年，另一組為聽力正常的同年齡者，人數各 18 名，年齡介於 14 至 18 歲，以母音共振峰和母音聲學空間面積做為比較的指標。研究結果發現，助聽器組學生母音/a/的 F1 小於聽常學生，母音/u/的 F2 大於聽常學生，顯示助聽器組學生母音產出時的舌位動作不夠精準，發母音/a/時舌位不夠低，發母音/u/時舌位趨向中間。助聽器組學生母音聲學空間面積也顯著小於聽常學生，依據母音聲學空間面積與言語清晰度的關聯性，顯示助聽器組學生母音產出的動作較不精準，清晰度是受影響的。

關鍵字：語音聲學分析、共振峰頻率、母音聲學空間面積、聽覺障礙

◎通訊作者：陳慶錨 [speech1123@gmail.com](mailto:speech1123@gmail.com)

東華特教 民 113 年 07 月

第七十一期 1



## 壹、前言

聽覺障礙學生除了聽知覺能力受影響之外，也經常表現在言語清晰度較差，使聽者難以理解，造成清晰度欠佳的主要原因是子音與母音產出的異常（張蓓莉，2000；楊惠美等人，2003；Chuang et al., 2012; Tseng et al., 2011）。母音是人類語音中最基本的聲音，母音可以單獨成為一個音節（syllable），而子音需要母音的結合才能組成音節或語詞，因此母音的產出如果有扭曲（distortion）、取代或省略的現象，即使說話者產出的子音是正確，聽者也可能辨識成其它的意思或是無法理解，例如：當聽損者說出「不要」的語詞時，如果唇形動作、下顎開啟幅度與舌頭擺位不夠精準（鄭靜宜，2011），可能產出類似「ㄅㄛˊ ㄩˊ」的語音，導致聽者不易辨識。

依據相關研究（楊惠美等人，2003；Chuang et al., 2012）發現，重度與極重度聽損兒童母音產出的正確率比同年齡的聽力正常兒童低。例如：楊惠美等人（2003）以單音節語詞為材料，採取複誦測驗者的方式蒐集說話者的語料，比較 26 個極重度聽損與聽力正常學前兒童的言語清晰度，結果發現他們所產出的母音平均正確率為 53.6%，只佔聽力正常兒童的 73.5%，需要聽覺輔具的持

續使用來提升他們的清晰度。

上述言語清晰度的表現，通常是採取聽者的聽知覺判讀而得到分數。隨著語音聲學分析技術的進展，另有研究是進行客觀的聲學參數分析（柯宜均，2018；劉惠美，2004；Baudonck et al., 2011; Yang et al., 2015），透過母音的第一共振峰頻率（first formant，簡稱 F1）和第二共振峰頻率（second formant，簡稱 F2）的數值，比較說話異常者和正常說話者在母音產出的差異。

依據聲源率波理論（source-filter theory），母音的產出是由於聲帶的振動而產生聲源的信號，再經過口道（vocal tract）中不同構音位置的擠壓與塑形，產生不同的共振頻率，因此也形成不同的母音信號（Kent & Read, 2002）。母音產出的第一共振峰會受到舌位高低的影響，當說話者的下顎動作較開，舌頭位置較低時，F1 則較高（鄭靜宜，2011）。母音產出的第二共振峰，則受到舌頭前後擺位的影響，當舌頭的擺位較前面，F2 則較高（鄭靜宜，2011）。因此從 F1 與 F2 的數值，可以推估說話者母音產出時舌位動作的精準度。

每一個母音因口道中構音塑形位置的不同，有其特有的 F1 與 F2 數值，不同的母音會有所區隔，例如：前與高母音/i/（一）的 F1 較低，而 F2 較高。重



度與極重度聽損兒童母音產出時因為舌位動作的不精準，因此母音間共振峰頻率區隔較小（Verhoeven et al., 2016；Yang et al., 2015），若以每一位參與者不同母音的 F1 與 F2 標記在座標圖中，聽力正常兒童母音共振峰的區隔比較顯著，但是聽力受損兒童母音的共振峰範圍較大且有可能重疊，顯示不同母音間的聲學特徵區分性較不足。Chuang 等人（2012）發現聽力受損兒童母音 /i/ 與 /u/（ $\times$ ）的 F2 差距小於聽力正常兒童，顯示聽損兒童在發前與後母音時，舌位的動作不夠精準，有朝向央元音的趨勢。

將角落母音 /i/、/u/ 和 /a/（ $\gamma$ ）的 F1 與 F2 標記在二維的座標平面圖中，透過三個座標點可形成一個母音聲學空間面積（acoustic vowel space），母音的聲學面積越大，可預測說話者有更好的清晰度表現（劉惠美，2004；Tseng et al., 2011）。相關研究發現（Chuang et al., 2012; Verhoeven et al., 2016; Yang et al., 2015），重度與極重度聽損兒童母音產出時舌位動作不夠精準，母音的共振峰頻率與聽常兒童有顯著的差異，因此母音聲學空間面積亦顯著小於聽常兒童。

綜上所述，透過母音的第一和第二共振峰頻率及母音聲學空間面積的分析，可探究聽損者母音產出的差異。目前國內僅一篇（Chuang et al., 2012）有

使用客觀的語音聲學分析，但該研究受試者為植入人工電子耳兒童，沒有探討配戴助聽器者的表現，且聽覺受損者在青少年階段也較少有研究分析其清晰度。因此本研究欲以配戴助聽器的重度與極重度聽損青少年為研究對象，探討他們在母音產出時是否與聽常同年齡者有差異，以母音共振峰頻率及母音聲學空間面積作為比較的指標，研究所得結果提供給實務工作者教學的參考。

## 貳、研究方法

### 一、研究參與者

本研究參與者分為兩組，一組是助聽器組，另一組為聽力正常組，人數各 18 名。

#### （一）助聽器組

助聽器組為聽損程度達重度以上且雙耳配戴助聽器的學生，他們雙耳裸耳純音聽力在 500Hz、1000Hz、2000Hz 和 4000Hz 的平均閾值皆大於 70 分貝以上，包含重度聽力損傷 14 名，極重度聽力損傷 4 名，年齡介於 14 至 17 歲，男性 10 名，女性 8 名。助聽器組學生皆就讀在一般國中與高中職的普通班級，手冊上並沒有包含其他類別的障礙。



## (二) 聽力正常組

招募年齡相同的聽力正常學生，年齡介於 14 至 17 歲，目前也是就讀於一般國中與高中職，且沒有特殊教育需求的證明，男性 10 名，女性 8 名。聽常組學生透過攜帶式聽力檢查儀的篩檢後，雙耳裸耳的平均聽力閾值皆小於 25 分貝，雙耳聽力正常。

## 二、研究流程與工具

本研究主要在分析兩組參與者角落母音的第一共振峰和第二共振峰差異，以及母音聲學空間面積的差異。事先安排研究參與者欲錄製語料的時間，並安排在一間安靜的教室中錄製，請參與者對著收音麥克風，以自然說話的方式說出三組語句。錄製好的音檔再依各組做編號，以利後續的語音聲學分析。研究工具如下：

### (一) 語料

Chuang 等人 (2012) 研究發現持續發母音所測得的共振峰差距，會顯著大於句子表達中所擷取的母音段，聽障組與聽常對照組也都呈現相似的結果。因此若以持續發母音的方式蒐集角落母音，可能無法反映出兩組研究參與者在一般說話中母音產出的差異，故本研究

採用短句的語料來擷取母音段作分析。本研究自編三組語句，包含：這是八 (/pa/ ㄅㄚˊ)；這是逼 (/pi/ ㄅㄧˊ)；這是舖 (/pu/ ㄅㄨˊ)，獲取參與者所說出的角落母音：/a/ (ㄚˊ)、/i/ (ㄧˊ) 和 /u/ (ㄨˊ)。36 位參與者，共錄製 108 個語句。

### (二) 語音聲學分析軟體

本研究採用聲學分析軟體 Praat 和 TF32，Praat 是由阿姆斯特丹大學的 Paul 和 David 所設計並持續開發的免費語音分析軟體，可應用於切割與後製語音檔。使用 Praat 的功能擷取參與者所產出的母音段，如圖 1，從語詞/pa/ (ㄅㄚˊ)的頻譜圖中，可觀察到聲母/p/ (ㄅ)產出時，有一個爆破的衝直條出現，接著後續聲帶開始震動，頻譜圖中可以觀察到一段嗓音調 (voice bar) 出現，這就是研究中需擷取的母音段。

後製所有參與者的母音段/a/、/i/和/u/後，使用語音聲學分析軟體 TF32 擷取母音段中間的 30ms 片段進行快速傅立葉轉換 (Fast Fourier Transform)，以獲取母音的第一共振峰 (F1) 和第二共振峰 (F2) 頻率，如圖 2，母音/i/的聲學分析後可觀察到前面兩個高點的波峰，如箭號處為 F1 與 F2。36 位參與者，依據相同的方法，共分析 108 個母音，得到每一位參與者母音/a/、/i/和/u/的 F1 與 F2。

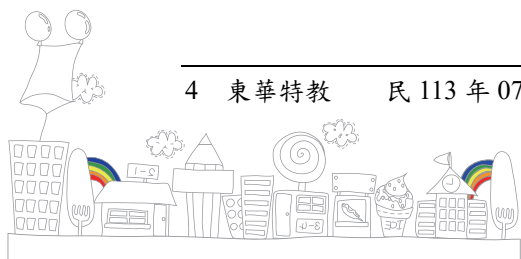


圖 1

語詞/pa/ (ㄆㄚ) 的頻譜圖

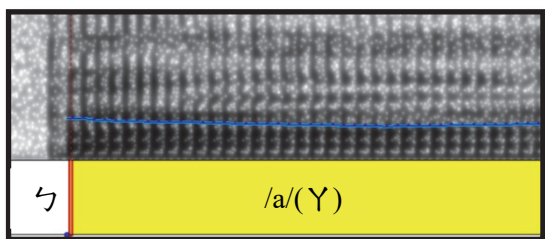
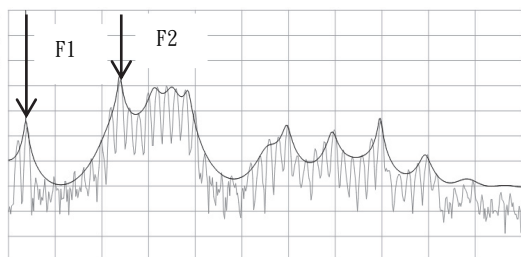


圖 2

母音/i/ (一) 的頻譜分析



### 三、資料分析

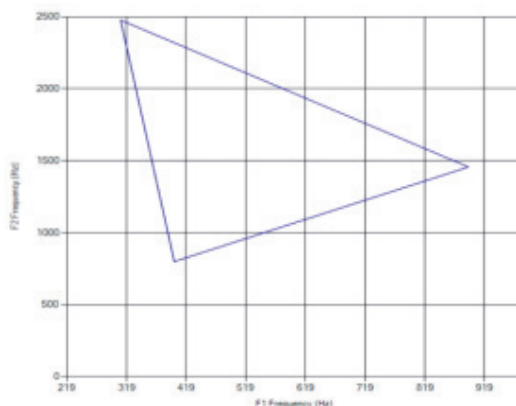
獲取每一位研究參與者母音的第一共振峰 (F1) 和第二共振峰 (F2) 數值後，依照組別針對三種不同角落母音的共振峰頻率，進行獨立樣本 T 考驗檢定，探討助聽器組學生與聽常學生在母音共振峰的差異。

透過角落母音/a/、/i/和/u/的 F1 與 F2 數值，以 F1 為 x 軸，F2 為 y 軸，在二維座標圖中可構成三個點，三個點所圍成的面積就是母音聲學空間面積。本研究採用鄭靜宜 (2019) 所製作的程式，將母音/a/、/i/和/u/的 F1 與 F2 數值輸入後，即可得到母音聲學空間面積，如圖

3 所示。計算出所有研究參與者的母音聲學空間面積後，依照組別進行獨立樣本 T 考驗檢定，比較助聽器組學生與聽常學生在母音聲學空間面積的差異。

圖 3

母音聲學空間面積的計算



### 參、結果與討論

#### 一、結果

母音的第一共振峰 (F1) 會受到舌位高低位置的影響，第二共振峰 (F2) 會受到舌位前後位置的影響。依據不同參與者的組別進行獨立樣本 T 考驗，探





討母音共振峰與母音聲學空間面積的差異，如表 1、表 2 與圖 4。

### (一) 母音共振峰的差異

在母音/a/產出方面，聽常組 F1 平均數為 891.56 Hz，助聽器組 F1 平均數為 783.06 Hz，t 考驗達顯著差異， $t=2.25$ ， $p<.05$ 。聽常組 F2 平均數為 1457.39 Hz，助聽器組 F2 平均數為 1423.03 Hz，t 考驗未達顯著差異。顯示助聽器組學生在發低母音/a/的時候，下顎打開幅度較小，造成舌位不夠低，因此 F1 頻率比聽常組低。

在母音/i/產出方面，聽常組 F1 平均數為 309.39 Hz，助聽器組 F1 平均數為 299.69 Hz，t 考驗未達顯著差異，顯示助聽器組學生在發前母音/i/的時候，舌位是較高的，與聽常組無異。聽常組母音/i/的 F2 平均數為 2477.44 Hz，助聽器組

F2 平均數為 2304.14 Hz，t 考驗未達顯著差異，但  $p$  值為.07，顯示部分助聽器組學生舌位有趨中間的趨勢，但未與聽常組學生有明顯差異。

在母音/u/產出方面，聽常組 F1 平均數為 398.72 Hz，助聽器組 F1 平均數為 387.11 Hz，t 考驗未達顯著差異，顯示助聽器組學生在發後母音/u/的時候，舌位是較高的，與聽常組無異。聽常組 F2 平均數為 799.89 Hz，助聽器組 F2 平均數為 924.92 Hz，t 考驗達顯著差異， $t=-2.23$ ， $p<.05$ ，顯示助聽器組學生後母音/u/的 F2 頻率明顯大於聽常組，舌位不夠後置，朝向中間的位置，有趨向於央母音的發音位置。透過聲學參數的比較，可見重度與極重度聽損的青少年，即使雙耳配戴助聽器的增益已持續一段時間，母音產出時舌頭擺放的位置仍不夠精準，而影響到母音的清晰度。



表 1

不同組別在母音共振峰的獨立樣本 t 考驗摘要表

共振峰	組別	n	M	SD	Min	Max	t	p
/a/F1	聽常	18	891.56	156.68	630	1093	2.25*	.03
	助聽器	18	783.06	133.40	509	1020		
/a/F2	聽常	18	1457.39	189.67	1117	1823	0.53	.60
	助聽器	18	1423.03	199.62	1134	1808		
/i/F1	聽常	18	309.39	54.47	214	398	0.53	.60
	助聽器	18	299.69	56.41	218	430		
/i/F2	聽常	18	2477.44	269.71	2014	2931	1.87	.07
	助聽器	18	2304.14	287.51	1862	2954		
/u/F1	聽常	18	398.72	67.79	298	551	0.63	.53
	助聽器	18	387.11	39.03	304	446		
/u/F2	聽常	18	799.89	91.93	605	926	-2.23*	.03
	助聽器	18	924.92	219.97	637	1523		

\* $p < .05$

## (二) 母音聲學空間面積的差異

將不同組別受試者產出角落母音 /a/、/i/、/u/ 的 F1 和 F2 平均數，標記在二維的座標圖中，三個點可形成一個母音三角形，如圖 4 呈現兩組的母音聲學空間面積。聽常組母音產出所形成的三角形面積是大於助聽器組，顯示助聽器組學生母音產出的清晰度是低於聽常組。造成差異的原因是，助聽器組母音 /a/ 的 F1 數值小於聽常組，母音 /u/ 的 F2 數值大於聽常組。

進行兩個組別母音聲學空間面積的統計分析，如表 2 所示，聽常組母音聲學空間面積的平均數為 452360 Hz<sup>2</sup>，助聽器組的平均數為 301634 Hz<sup>2</sup>，t 考驗達

顯著差異， $t=3.17$ ， $p < .01$ ，顯示助聽器組學生母音的聲學空間面積顯著小於聽常組，可見助聽器組學生母音動作的精準度是不如聽力正常的學生。

圖 4

不同組別的母音聲學空間面積

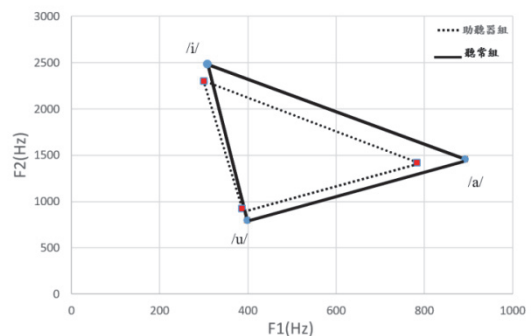


表 2

不同組別在母音聲學空間面積的獨立樣本 t 考驗摘要表

項目	組別	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
母音聲學面積	聽常	18	452360	157475.30	183786	749754	3.17**	.003
	助聽器	18	301634	12635.73	62763	493325		

\*\* $p < .01$ 

## 二、討論

### (一) 母音共振峰

本研究聽常組學生產出角落母音 /a/、/i/、/u/ 的 F1 和 F2 頻率，符合低母音 /a/ 的 F1 頻率最大，前母音 /i/ 的 F2 頻率最大，後母音 /u/ 的 F2 頻率最小。Jeng (2000, 引自鄭靜宜, 2011) 的研究中指出，說華語的成年人控制組所測得母音 /a/ 的 F1 為 928 Hz，F2 為 1507Hz，母音 /i/ 的 F1 為 313 Hz，F2 為 2505Hz，母音 /u/ 的 F1 為 363 Hz，F2 為 802Hz (引自鄭靜宜, 2011, 117 頁)，與本研究中聽常組所測得母音的 F1 和 F2 頻率相似，因此本研究的聽常組母音產出的共振峰數據可用來比較聽力受損的學生。

本研究中發現，重度與極重度聽損學生母音產出的共振峰頻率與聽常者有差異。母音 /a/ 的 F1 頻率顯著小於聽常者，與 Verhoeven 等人 (2016) 的研究結果相似，植入人工電子耳兒童母音 /a/ 的 F1 頻率顯著小於聽常兒童。但與

Baudonck 等人 (2011) 所調查植入人工電子耳和使用助聽器兒童與青少年產出母音 /a/ 的結果不太一致，該研究中配戴助聽器受試者有包含程度較輕的中度聽損，因此可能是造成未有顯著的原因，而本研究聽損受試者皆為重度和極重度聽損。

本研究發現重度與極重度聽損學生母音 /i/ 的 F2 頻率雖然小於聽常組，但未達顯著差異，與 Baudonck 等人 (2011) 的研究結果相似。但與 Verhoeven 等人 (2016) 的研究結果不一致，該研究中發現聽損兒童母音 /i/ 的 F2 頻率是明顯小於聽常兒童，可能是 Verhoeven 等人 (2016) 聽損受試者的年齡較小，平均年齡 5 至 7 歲，母音清晰度相對較差一些。

本研究發現重度與極重度聽損學生母音 /u/ 的 F2 頻率顯著大於聽常組，顯示聽損學生發後音 /u/ 時舌位有朝中間的趨勢，因此母音 /u/ 的 F2 頻率偏高，與 Chuang 等人 (2012)、Verhoeven 等人 (2016) 的研究結果相似。





## (二) 母音聲學空間面積

母音聲學空間面積的大小與言語清晰度呈現正相關(劉惠美, 2004 ; Tseng et al., 2011), 本研究發現重度與極重度聽損學生母音聲學空間面積是顯著小於聽常組, 可見他們母音產出的清晰度是有影響的, 與 Tseng 等人 (2011) 和 Verhoeven 等人 (2016) 的研究結果相似。Chuang 等人 (2012) 的研究發現, 聽損兒童母音/i/與/u/的F2 差距是顯著小於聽常兒童, 本研究中助聽組學生在/i/與/u/的 F2 差距也是小於聽常組, 如圖 4, 因此/i/-/u/的 F2 邊長是小於聽常組, 這是造成母音聲學空間面積較小的原因之一。

## 肆、結論與建議

### 一、結論

本研究比較配戴助聽器的聽損學生與聽力正常學生在母音共振峰與母音聲學空間面積的差異, 聽損學生的程度皆為重度與極重度聽損。研究結果發現, 助聽器學生在母音/a/的第一共振峰(F1)是顯著小於聽常學生, 顯示聽損學生母音/a/產出時, 下顎張開幅度不夠, 舌位不是最低。助聽器學生在母音/u/的第二共振峰(F2)亦是顯著小於聽常學生, 顯示聽損學生母音/u/產出時, 舌位不夠後置, 趨向於中間的位置, 此為聽損學

生母音清晰度受影響的原因。

在母音聲學空間面積方面, 以角落母音/a/、/i/、/u/的 F1 與 F2 標記在二維的座標圖中, 由於聽損學生母音/a/的第一共振峰頻率較小, 以及母音/u/的第二共振峰頻率較大, 因此母音三角形的邊長相對比聽常組短, 助聽器組學生在母音聲學空間面積是顯著小於聽常學生, 由於母音聲學空間面積與言語清晰成正相關, 可見使用助聽器的聽損學生在母音產出的清晰度是受影響的。

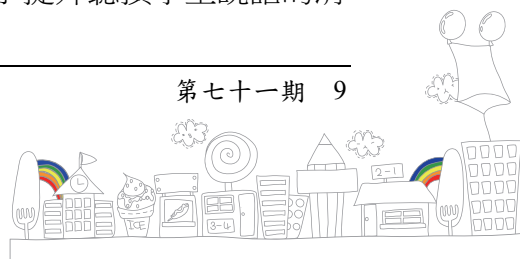
## 二、建議

### (一) 研究限制與建議

依據杜嘉煒等人 (2020) 的研究發現, 聽損程度越重者使用助聽器的聽知覺表現有限, 需有植入人工電子耳的增益。本研究在比較使用助聽器的聽損學生母音產出的聲學特徵, 研究參與者並未包含人工電子耳植入者, 建議未來可以比較植入人工電子耳與助聽器使用者和聽常者間的差異, 是否助聽器使用者的母音清晰度較差。

### (二) 教學建議

重度與極重度聽損學生在說話時, 下顎和舌位的動作範圍較小, 說話時會較為含糊, 影響言語清晰度的表現。本研究建議, 為了提升聽損學生說話的清



晰度，在教學介入的時候，可以採用動作取向的方法，讓聽損學生清楚了解到每一個母音的動作擺位，若動作不確實容易影響聽者的辨識，除了教學者的口語示範，也可藉由鏡子的視覺輔助，幫助聽損學生做好舌頭動作的擺位，提升說話的清晰。

在教學介入前，可以使用語音聲學分析軟體，將聽損學生說話中的語料擷取角落母音段，計算母音聲學空間面積的大小。教學介入之後，再分析聽損學生語料中的母音聲學空間面積，透過聲學空間面積的增加，可作為介入後清晰度提升的客觀參照。另外，也可以運用母音聲學空間面積的圖形，讓聽損學生較為清楚的了解，自己說話方面需再注意的地方，輔助他們有效的學習。

## 參考文獻

### 一、中文部分

杜嘉煒、吳俊良、楊惠美（2020）。配戴助聽器孩童之語音知覺表現。《台灣耳鼻喉頭頸外科雜誌》，55（4），201-207。

柯宜均（2018）。吶吃者口腔肌肉力量、構音和言語清晰度的關係（未出版之碩士論文）。國立高雄師範大學。

張蓓莉（2000）。聽覺障礙學生說話清晰

度知覺分析研究。《特殊教育研究學刊》，18，53-78。

楊惠美、黃啓原、余永吉、林怡蕙、吳俊良（2003）。評量植入人工耳蝸兒童之說話清晰度。《台灣耳鼻喉頭頸外科雜誌》，38（4），146-152。

鄭靜宜（2011）。《語音聲學：說話聲音的科學》。心理出版社。

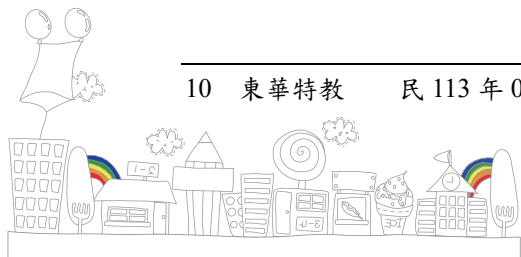
鄭靜宜（2019年4月20日）。《母音四邊形面積計算工具》。Jeng 靜宜的語言治療資源網。<http://www.jengspeech.com/othershtml.html>

劉惠美（2004）。腦性麻痺患者元音構音空間的限制與說話清晰度缺損之研究。《特殊教育研究學刊》，27，77-92。

### 二、英文部分

Baudonck, N., Van Lierde, K., Dhooge, I., & Corthals, P. (2011). A comparison of vowel productions in prelingually deaf children using cochlear implants, severe hearing-impaired children using conventional hearing aids and normal-hearing children. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, 63(3), 154-160.

Chuang, I.F., Yang, C.C., Chi, L.Y., Weismer, G., & Wang, Y.T. (2012). Speech Intelligibility, speaking rate, and vowel



formant characteristics in Mandarin  
-speaking children with cochlear  
implant. *International Journal of  
Speech-Language Pathology*, 14(2),  
119-129.

Kent, R. D., & Read, C. (2002). *The  
Acoustic Analysis of Speech*. Singular/  
Thomson Learning Publishing.

Tseng, S. C., Kuei, K., & Tsou, P. C.  
(2011). Acoustic characteristics of  
vowels and plosives/affricates of  
Mandarin-speaking hearing-impaired  
children. *Clinical linguistics & phonetics*,  
25(9), 784-803.

Verhoeven, J., Hide, O., De Maeyer, S.,  
Gillis, S., & Gillis, S. (2016).  
Hearing impairment and vowel  
production: A comparison between  
normally hearing, hearing-aided and  
cochlear implanted Dutch children.  
*Journal of Communication Disorders*,  
59, 24-39.

Yang, J., Brown, E., Fox, R. A., & Xu, L.  
(2015). Acoustic properties of vowel  
production in prelingually deafened  
Mandarin-speaking children with  
cochlear implants. *The Journal of the  
Acoustical Society of America*, 138(5),  
2791-2799.

