

## 老化對母音共振峰和母音聲學空間面積的影響

鄭靜宜 柯宜均 蕭妍屹  
國立高雄師範大學 特殊教育系

### 摘要

母音聲學空間面積(acoustic vowel space area)是由說話者所發的角落母音，如/a/、/i/、/u/之第一和第二共振峰值為點在以這兩共振峰為軸線的平面空間中所圍成的面積。母音聲學面積的大小和說話者構音時舌頭動作有關，舌頭位移動作愈大，母音聲學空間面積則愈大。本研究比較老年人和一般成年人在華語詞語產生時母音聲學空間面積的大小，探討老化對說話時母音構音的影響。共有 116 位參與者，其中 58 位為說華語的老年人(男:30 名、女:28 名)，平均 69.67 歲，另 58 位為說華語的成年人(男:30 名、女:28 名)，平均 28.02 歲。語音取樣後以 Praat 程式進行母音的第一和第二共振峰分析，計算每個說話者的母音/a/、/i/、/u/的聲學空間面積。分析結果顯示老年組的母音聲學空間面積(Mean: 390432 Hz<sup>2</sup>)顯著較成人組的面積(Mean: 497804 Hz<sup>2</sup>)為小，且女性的母音聲學空間面積(Mean: 574100 Hz<sup>2</sup>)顯著較男性的(Mean: 322802 Hz<sup>2</sup>)為大。可見母音聲學空間面積會受性別和年齡變項的影響，而老化對於母音的構音動作具有顯著的作用。進一步分析三個母音的共振峰數值，結果顯示老年組和成人組之間主要的差異在於老年人發/i/音之 F2 值顯著較低，以及在發/u/音時 F2 值顯著較高，推論老年人在說話時舌頭前後移動伸展的幅度較小，發前母音/i/時舌尖不夠前伸，而發後母音/u/時舌身後縮不足，因而造成母音聲學空間的縮減。

關鍵詞：母音聲學空間面積、老化、母音、第一共振峰、第二共振峰

通訊作者：鄭靜宜

通訊地址：高雄市苓雅區和平一路 116 號

服務單位：國立高雄師範大學 特殊教育系

E-mail: jjeng@nknuc.nknu.edu.tw

電話：(07)7172930-2354

## 壹、緒論

母音聲學空間面積(acoustic vowel space area, VSA)是由說話者所發的角落母音，如 /a/、/i/、/u/之第一和第二共振峰值為點在以這兩共振峰為軸線的平面空間中所圍成的面積。母音聲學面積的大小和說話者構音時舌頭動作有關，若說話時舌頭位移的動作愈大，母音聲學空間面積則愈大，反之則愈小。

VSA 可應用於臨床診斷，先前一些相關研究已發現 VSA 的數值可能具有重要臨床意義，因為言語障礙者在說話時通常舌頭動作較小，具有較有限的母音聲學空間，因此 VSA 數值會較低，例如，一些研究發現語音異常兒童 (Higgins & Hodge, 2002)、腦性麻痺兒童 (Chen et al., 2018)、語言發展遲緩兒童 (Reese & O'Hanlon, 2004)、咬合異常者 (Xue, et al., 2011)、舌切除術者 (Whitehill et al., 2006)、唐氏症患者 (Bunton & Leddy, 2011)、肌萎縮側索硬化症患者 (Turner et al., 1995; Weismer et al., 2001)、巴金森氏症患者 (Skodda et al., 2012)、聽障者 (Verhoeven et al., 2016)皆出現 VSA 相對較小的情形。

一些研究 (DuHadway & Hustad, 2012; Turner et al., 1995; Liu et al., 2005) 進一步顯示母音聲學空間面積的大小和語音清晰度有顯著正相關的關係，且母音聲學空間面積變項的解釋力很高，通常可解釋超過 50% 以上的清晰度分數變異。可見，母音空間面積可能是個有效的言語能力評估指標。有些老人說話時語音會較模糊不清，可能是構音動作較不到位，語音中的子音和母音構音可能受到老化因素的影響。老人在母音方面角落母音的構音動作可能會相對地較小，而造成母音聲學空間面積的縮減。對於語音異常的說話者，如兒童語音異常、吶吃 (dysarthria)、聽障者，母音聲學空間面積這個變項具有臨床診斷意義，然要以此作為與音障礙診斷指標則需要有常模可加以對照。

/a/、/i/、/u/ 這三個母音為人類語言中普遍共有的語音，幾乎所有的語言都有這三個母音。而這三個母音也是舌頭最為伸展的母音，又稱為角落母音 (corner vowels)，在母音四邊形中各佔據其中三個角落，母音四邊形的第四個母音則隨不同語言而定，在英語以 /æ/ 或 /e/ 為主，然而以前中母音構成 /æ/ 或 /e/ 並不適用於華語，由於華語語音中並無 /æ/ 音，且 /e/ 音也與英語的不同。華語 /e/ 音並不單獨發音，會和介音 /i/ 一起連接發音或是以雙母音 (/ei/，ㄟ) 的方式出現，受到華語音韻結合規則 (phonotactic rules) 的限制，因此 /e/ 音的構音會受到前後連接母音共構 (coarticulation) 的影響，無法單獨構音成音，因此華語中 /e/ 音的共振峰數值並不穩定，變異性高，個別差異極大。因此本研究不將之納入，母音空間面積調查以 /a/、/i/、/u/ 這三個母音為主。雖然同為 /a/、/i/、/u/ 角落母音，華語的母音構音方式和英語的方式還是有些不同，例如華語的 /a/ 音的位置會稍較前，/i/ 音的位置則會比英語的 /i/ 稍較後，這些構音習慣的差異皆會影響母音共振峰的數值，連帶也會影響母音聲學空間面積的大小。

在先前的研究文獻中，母音聲學空間面積的相關研究皆以英語說話者為對象，鮮少研究以華語說話者為對象 (Liu, Tsao, & Kuhl, 2005)。本研究主要的目的是比較一般說華語的成人和老年人在 /a/、/i/、/u/ 三個母音的第一和第二共振峰值，以及以 /a/、/i/、/u/ 三母音圍起

來的聲學空間面積的差異。探討老化對母音聲學空間面積和母音共振峰頻率的影響，推論老化對母音構音動作的影響。

## 貳、方法

### (一) 參與者

共有 116 位參與者，其中 58 位是 65 歲以上的老年人，年齡範圍在 65-83 歲之間。有 58 位年輕成人，為控制組，年齡範圍在 19 至 40 歲。表 1 列出兩組和男女性別參與者的男女人數、年齡平均數和標準差。成年組的參與者屬於年輕的成年人，多為大學生或研究生。老年人則來自社區的活動中心。這些參與者皆為自願參加，皆居住於台灣，以華語或台語為母語，在本研究測試之時皆為健康之個體，並未持有身心障礙手冊或是有身心障礙等情形。

表 1 兩組參與者之年齡平均值與標準差（單位：歲）

組別	成人組			老年組		
	人數	平均值	標準差	人數	平均值	標準差
男性	30	29.13	8.75	30	69.03	6.21
女性	28	26.82	7.03	28	70.36	4.33
計	58	28.02	7.98	58	69.67	5.38

### (二) 儀器設備

數位錄音機(TASCAM DR100)、麥克風(SONY ECM-MS907)、電腦

### (三) 程序

在安靜的室內進行語句朗讀作業，共 24 個句子。錄音時要求受試者以平常的速度和適度的音量念讀，每個句子兩次，本研究分析其中含有母音/a/、/i/、/u/詞語的母音。以數位錄音機的錄音存檔，之後使用聲學分析程式 Praat (Boersma, 2021)的共振峰分析功能做共振峰頻率的分析，測量音節中母音時長之中段約 30-40 毫秒的音段進行前兩個共振峰的分析，避免取最前段和尾段的部分。母音時長的界定是在頻譜圖上由母音的第一個喉脈衝(glottal pulse)開始到明顯母音聲學能量降低至接近零為止，量測語句中各目標母音音段的第一和第二共振峰。得到每個說話者三母音共振峰數值後，計算每個說話者的三個母音座標之三角形面積，以海龍公式(Heron's formula)算出/a/、/i/、/u/兩個共振峰(F1, F2)三點於平面座標空間所圍成的三角形面積，即為母音聲學空間之面積。

## 參、結果與討論

### 一、母音聲學空間面積

圖 1 呈現男、女性成年、老年兩組的母音聲學空間，可見到男性的母音聲學空間較女性的為小，且無論在男性和女性，兩年齡組(成人組 vs. 老人組)空間面積差異有一致的情形，即老人組的面積值均較成人組的為小。表 2 呈現老年組和成年組男、女性在詞句誦唸作業中母音/a, i, u/的第一、第二共振峰頻率所構成的母音聲學空間面積平均值。

以年齡組和性別為自變項，母音聲學空間面積值為依變項的獨立二因子變異數分析結果顯示，年齡組變項效果達顯著， $F(1, 112) = 20.40, p < .001$ ；性別變項達顯著， $F(1, 112) = 110.06, p < .001$ ；兩變項的交互作用未達顯著， $F(1, 112) = 0.99, p = .32$ 。可見無論男、女性，老人組的母音聲學空間面積皆顯著小於成人組，即母音聲學空間面積的大小顯著受老化因素的影響。

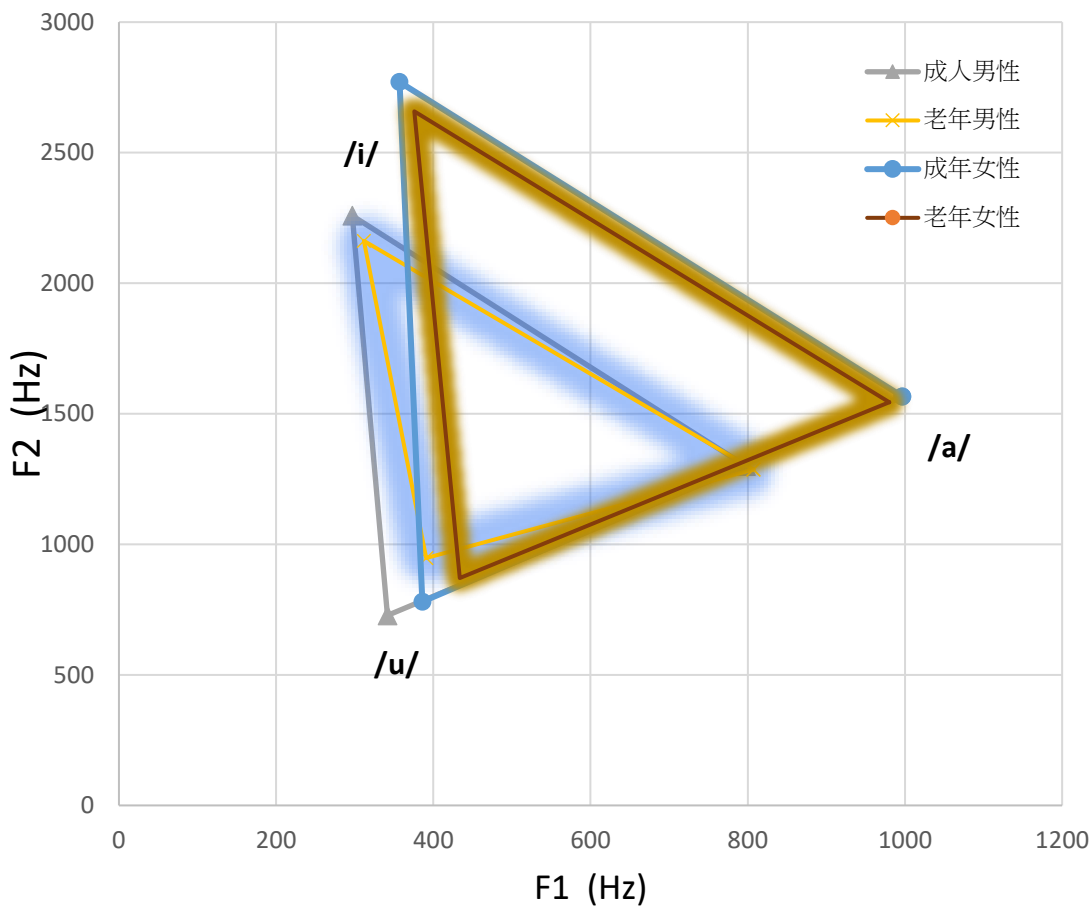


圖 1 成年、老年(男、女)兩組的平均母音聲學空間

表 2 成年、老年(男、女)兩組之母音聲學空間面積平均值和標準差(單位:Hz<sup>2</sup>)

	成人組 (n=58)				老人組(n=58)			
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
男性	364964	109757	136662	645383	280641	75405	168982	430695
女性	640134	177465	293480	947443	510379	135645	215202	762801

## 二、母音/a/的共振峰頻率

表 3 呈現老年組和成年組男、女性在詞句誦唸作業中母音/a/的第一、第二共振峰頻率平均值資料，可見到在年齡變項上在男女性第一共振峰頻率值的變化有不一致的情形。而老人組男女的平均第二共振峰頻率較成人組的略低，但降低幅度不大。以年齡組和性別為自變項，/a/音的第一共振峰頻率值為依變項的獨立二因子變異數分析結果顯示，年齡組變項效果未達顯著， $F(1, 112) = 0.03, p = .87$ ；性別變項達顯著， $F(1, 112) = 78.10, p < .001$ ；兩變項的交互作用未達顯著， $F(1, 112) = 0.39, p = .53$ 。可見老化不影響/a/音的第一共振峰頻率值。

以年齡組和性別為自變項，/a/音的第二共振峰頻率值為依變項的獨立二因子變異數分析結果顯示，年齡組變項效果未達顯著， $F(1, 112) = 0.57, p = .45$ ；性別變項達顯著， $F(1, 112) = 125.22, p < .001$ ；兩變項的交互作用未達顯著， $F(1, 112) = 0.03, p = .87$ 。可見老化不影響/a/音的第二共振峰頻率值。

表 3 兩組男女之/a/音 F1 和 F2 頻率平均值和標準差(單位:Hz)

組別	男性				女性			
	F1		F2		F1		F2	
	平均數	標準差	平均數	標準差	平均數	標準差	平均數	標準差
成人	798	108	1300	99	997	142	1566	196
老人	807	81	1287	69	980	117	1545	108

## 三、母音/i/的共振峰頻率

表 4 呈現老年組和成年組男、女性在詞句誦唸作業中母音/i/的第一、第二共振峰頻率平均值資料，可見到老人組的第一共振峰頻率較成人組的略高，而老人組的第二共振峰頻率較成人組的為低，且降低幅度較/a/音的幅度為大。以年齡組和性別為自變項，/i/音的第一共振峰頻率值為依變項的獨立二因子變異數分析結果顯示，年齡組變項效果未達顯著， $F(1, 112) = 2.15, p = .15$ ；性別變項達顯著， $F(1, 112) = 29.44, p < .001$ ；兩變項的交互作用未達顯著， $F(1, 112) = 0.03, p = .86$ 。母音/i/的第一共振峰頻率不受年齡變項的影響。

以年齡組和性別為自變項，/i/音的第二共振峰頻率值為依變項的獨立二因子變異數分

析結果顯示，年齡組變項效果達顯著， $F(1, 112)=8.67, p=.004$ ；性別變項達顯著， $F(1, 112)=203.19, p<.001$ ；兩變項的交互作用未達顯著， $F(1, 112)=0.05, p=.83$ 。可見老化不影響/i/音的第一共振峰頻率值，但對/i/音的第二共振峰頻率值有顯著影響，會造成/i/音的F2顯著下降。

表 4 兩組男女之/i/音 F1 和 F2 頻率平均值和標準差(單位:Hz)

組別	男性				女性			
	F1		F2		F1		F2	
	平均數	標準差	平均數	標準差	平均數	標準差	平均數	標準差
成人	297	40	2259	148	357	58	2770	250
老人	312	38	2162	158	376	95	2658	194

#### 四、母音/u/的共振峰頻率

表 5 呈現老年組和成年組男、女性在詞句誦唸作業中母音/u/的第一、第二共振峰頻率平均值資料，可見到在第一共振峰頻率和第二共振峰頻率的在兩個年齡組之間差異有一致的情形。其中老人組男女的第一和二共振峰頻率均較成人組的高。以年齡組和性別為自變項，/u/音的第一共振峰頻率值為依變項的獨立二因子變異數分析結果顯示，年齡組變項效果達顯著， $F(1, 112)=20.03, p<.001$ ；性別變項達顯著， $F(1, 112)=16.19, p<.001$ ；兩變項的交互作用未達顯著， $F(1, 112)=0.01, p=.93$ 。母音/u/的第一共振峰頻率會受年齡變項的影響。

以年齡組和性別為自變項，/u/音的第二共振峰頻率值為依變項的獨立二因子變異數分析結果顯示，年齡組變項效果達顯著， $F(1, 112)=16.84, p=.004$ ；性別變項未達顯著， $F(1, 112)=0.10, p=.75$ ；兩變項的交互作用未達顯著， $F(1, 112)=2.92, p=.09$ 。可見/u/音的第一和第二共振峰頻率值皆會受到年齡組變項影響，共振頻率皆顯著上升。

表 5 兩組男女之/u/音 F1 和 F2 頻率平均值和標準差(單位:Hz)

組別	男性				女性			
	F1		F2		F1		F2	
	平均數	標準差	平均數	標準差	平均數	標準差	平均數	標準差
成人	341	42	728	111	386	56	780	86
老人	391	47	948	345	434	83	871	154

## 肆、結論

本研究測量老年人和成年人兩組說話者的/a, i, u/三母音共振峰頻率值(F1、F2)，並比較兩組的三母音聲學空間面積。分析結果顯示老年組的母音聲學空間面積顯著較成人組的面積為小，女性的母音聲學空間面積顯著較男性的為大。可見母音的聲學空間面積和共振峰頻率值皆顯著受性別和年齡的影響。女性說話者由於體型較小、口道長度相對地較男性的為短，因此母音的共振峰頻率值會較男性的為高，而母音聲學空間面積自然也會相對地較大，此結果本在預期之中。較特別的是無論男、女性別，老年組的母音聲學空間面積顯著較成年組為小，老年人在說話時有母音聲學空間有顯著縮小的趨勢，而老化因素對於母音的構音動作具有不利的影響。

老年組和成人組之間母音共振峰頻率主要差異在於老年人發/i/音之 F2 值顯著較低，以及在發/u/音時 F1 和 F2 值顯著地較高，推論老年人在說話時舌頭前後移動伸展的幅度較小，在前母音/i/構音時他們的舌尖前伸不足，導致第二共振峰值較低，而在發後母音/u/時舌身後縮不足，導致第二共振峰值較高，且發後母音/u/時舌位提升不足，這幾個因素造成母音聲學空間的縮小。

老化因素對於母音的構音動作之幅度上有顯著的縮減作用，在日常生活中這種小變化可能尚未對語音的清晰度造成危害，但有可能是運動神經系統疾患或退化的先兆。若個體有較大幅度的衰減，可能需要留意，並做進一步的神經學檢查。至於造成老化造成母音空間面積縮減、構音動作幅度變小的原因則有待後續研究做進一步探討。

## 伍、參考文獻

- Bunton, K., & Leddy, M. (2011). An evaluation of articulatory working space area in vowel production of adults with Down syndrome. *Clinical linguistics & phonetics*, 25(4), 321-334.
- Chen, L. M., Hustad, K. C., Kent, R. D., & Lin, Y. C. (2018). Dysarthria in Mandarin-speaking children with cerebral palsy: Speech subsystem profiles. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 61(3), 525-548.
- Chuang, H. 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.
- DuHadway, C. M., & Hustad, K. C. (2012). Contributors to intelligibility in preschool-aged children with cerebral palsy. *Journal of medical speech-language pathology*, 20(4), 11.
- Higgins, C. M., & Hodge, M. M. (2002). Vowel area and intelligibility in children with and without dysarthria. *Journal of Medical Speech-Language Pathology*, 10(4), 271-277.

- Liu, H. M., Tsao, F. M., & Kuhl, P. K. (2005). The effect of reduced vowel working space on speech intelligibility in Mandarin-speaking young adults with cerebral palsy. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 117(6), 3879-3889.
- Nicolaidis, K., & Sfakianaki, A. (2016). Acoustic characteristics of vowels produced by Greek intelligible speakers with profound hearing impairment I: Examination of vowel space. *International Journal of Speech-Language Pathology*, 18(4), 378-387.
- Reese, A. L., & O'Hanlon, L. (2004). Vowel formants and intelligibility in normal and disordered children. In Presentation at the ASHA conference, California State University, Sacramento, CA, USA.
- Skodda, S., Grönheit, W., & Schlegel, U. (2012). Impairment of vowel articulation as a possible marker of disease progression in Parkinson's disease. *PloS one*, 7(2), e32132.
- Turner, G. S., Tjaden, K., & Weismer, G. (1995). The influence of speaking rate on vowel space and speech intelligibility for individuals with amyotrophic lateral sclerosis. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 38(5), 1001-1013.
- 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.
- Weismer, G., Jeng, J. Y., Laures, J. S., Kent, R. D., & Kent, J. F. (2001). Acoustic and intelligibility characteristics of sentence production in neurogenic speech disorders. *Folia Phoniatica et Logopaedica*, 53(1), 1-18.
- Whitehill, T. L., Ciocca, V., Chan, J. C. T., & Samman, N. (2006). Acoustic analysis of vowels following glossectomy. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 20(2-3), 135-140.
- Xue, S. A., Lam, C. W. Y., Whitehill, T. L., & Samman, N. (2011). Effects of Class III malocclusion on young male adults' vocal tract development: A pilot study. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 69(3), 845-852.