

人耳廓對於頭影效應音場之影響 The Sound Field with Head Shadow Effect by Pinna

余仁方^{1,3}、陳彥昇^{2,3}、林逸昕^{2,3}

¹長庚大學醫療機電工程研究所助理教授

²長庚大學醫療機電工程研究所碩士生

³長庚大學耳科學實驗室

摘 要

本研究主要以 125 Hz、250 Hz、500 Hz、750 Hz、1 kHz、2 kHz、3 kHz、4 kHz、5 kHz、6 kHz、7 kHz、8 kHz 等頻率為刺激音做測量，並且分別探討裸耳在 0 度、15 度、30 度、45 度、60 度、75 度、90 度等處之音源下，人耳廓對於頭影效應音場之影響。近耳耳廓與遠耳耳廓影響的頻率範圍在 3 kHz~8 kHz，且本研究發現音源位置之擺設會影響耳廓對頭影效應音場之聲壓差異，音源位置在 0 度時，耳廓影響大的頻率為 8 kHz，音源位置在 15 度時，其中影響最大的頻率為 3 kHz，音源位置在 30 度時，影響最大的頻率為 4 kHz，音源位置在 45 度時，影響最大的頻率為 5 kHz，音源位置在 60 度時，影響最大的頻率為 5 kHz，音源位置在 75 度時，影響最大的頻率為 4 kHz，音源位置在 90 度時，影響最大的頻率為 5 kHz。本研究推導出其依方程式代表耳廓對頭影效應音場之影響為： $P=H_t-H_r$ ，由此方程式，可以讓臨床在做雙耳助聽器選配時做參考，然而，本研究發現其助聽器配戴的位置，必須考慮耳廓效應、頭影效應、刺激音頻以及音源位置，得以調整出較適合聽障者所使用之雙耳助聽器。

關鍵字：耳廓效應、耳廓、聲源、聲源位置、聲音量測、音場

Abstract

This study is to develop a procedure of measuring the sound field outside human ear canal with head shadow effect to discuss the pinna effect by the influence of azimuth angles (0, 15, 30, 45, 60, 75 and 90 degrees of azimuth) and frequencies (125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 750 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 3 kHz, 4 kHz, 5 kHz, 6 kHz, 7 kHz and 8 kHz) of sound source. Based on the results, the pinna effect occurred at 3 kHz to 8 kHz. Additionally, the difference of sound pressure between near and far ears with pinnas would be affected by the location of sound source. At 0, 15, 30, 45, 60, 75 and 90 degrees azimuth, the pinna effect occurred apparently at 8 kHz, 3 kHz, 4 kHz, 5 kHz, 5 kHz, 4 kHz and 5 kHz, respectively. The equation for the sound field with head shadow effect by pinna was $P=H_t-H_r$. The equation obtained in this study could be the reference for bilateral hearing aids selection in clinic. In conclusion, the pinna effect, head shadow effect, frequency of stimuli and the sound location should be considered for hearing aids selection for bilateral hearing-impaired listeners.

Keywords : Pinna effect, Pinna, Sound source, Sound location, Sound measurement, Sound field

壹、前言

人類的遠耳會因為音源位置而聽見不同的聲壓大小，聲音有高低頻的分別，當聲源在近耳邊發出低頻聲音時，由於低頻聲音的波長較長，低頻聲音可藉由繞射方式，傳至遠耳，因此雙耳聲壓差異不會很大，但是高頻聲音，因為其波長 (wave) 較短，人的頭部對高頻聲音而言，就像一個屏障，造成近遠耳間之聲壓強度的有較大的差異[1]，這裡所謂的聲壓差異，即為頭影效應 (Head Shadow Effect)。一般人耳在接收聲音的過程中，頭影效應所影響的頻率範圍在 4 kHz ~ 6 kHz，近遠耳間之聲壓值差值可達到 10~20 dB[2]。

文獻[2]提到頭影效應對耳道口處之音場，所影響的頻率範圍在 4 kHz ~ 6 kHz，以及文獻[4]提出耳廓對耳道口處音場頻率之影響，則是在 4 kHz 以上，但是耳廓對於頭影效應下的耳道口處音場的頻率影響並未提出。另外，文獻[2]亦提到頭影效應造成近遠耳間之聲壓差可達到 10~20 dB。然而，並未探討遠耳耳廓對遠耳耳道口處音場之影響、耳廓對於頭影效應音場的影響以及音源位置是否影響到耳廓對於頭影效應的音場。因此，本研究主要是探討遠耳耳廓對遠耳耳道口處音場的聲壓及音頻的影響，進而分析人耳廓對於頭影效應音場的影響。

貳、材料與方法

硬體：NI PXI 機箱(PXI 1042)以及 NI PIX 資料擷取卡 Data Acquisition card(PXI 4461、PXI 4462)、三支麥克風 (G. R. A. S TYPE 46AE)、聲學人偶 KEMAR (Sound Quality Head B&K 4100) 以及喇叭 (J. S.)。軟體：Labview。

本研究建立出一套聲音量測系統並且在半無響室(Semi-anechoic Room)內進行量測，量測時，必須先使用聲壓校正器 (B&K 4231) 進行麥克風的校正，聲壓校正器收音為 1 kHz 且音強為 94 dB SPL，將個別之麥克風裝至聲壓校正器進行校正，若音頻測得不為 1 kHz，則表示麥克風之震動膜有問題，則須送廠校正；若音強是不足或是超過 94 dB SPL，必須修正麥克風之靈敏度；若量測值為 1 kHz 且音強為 94 dB SPL，麥克風即校正完成。

量測音源 (A) 位置以 0 度、15 度、30 度、45 度、60 度、75 度、90 度與聲學人偶 (B) 之距離則為 1 公尺且與音源位置等高都離地 1 公尺，並以八度音方式選取 125 Hz、250 Hz、500 Hz、1 kHz、2 kHz、4 kHz、8 kHz 等頻率為刺激音，因為頻率高的音源，較容易受頭影效應影響且因文獻[4]提出耳廓影響的頻率在 4 kHz 以上，因此本研究在 1 kHz 至 8 kHz 之間多增加 3 kHz、5 kHz、6 kHz、7 kHz 的量測、以及增加臨床聽力檢查常用之 750 Hz 為刺激音頻，而音強平均約為 65 dB SPL，量取 100 次後，再加以平均並將聲學人偶 (B) 之左耳 (C) 視為近耳，聲學人偶 (B) 之右耳 (D) 視為遠耳，且 KEMAR 之耳廓為可拆式，因此本研究方法分成有耳廓之量測以及無耳廓之量測，再將量測結果分成兩部份進行討論，因為遠耳之音場較會受到頭影效應之影響，所以本研究第一部分先探討遠耳耳廓對於耳道口處音場之影響，第二部份進而討論人耳廓對頭影效應下之音場的影響，如圖 1 為 90 度量測示意圖。

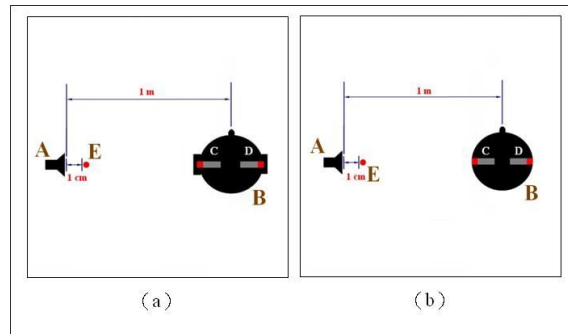


圖1 90度量測示意圖 (a) 有耳廓量測 (b) 無耳廓量測

參、結果與討論

如圖2為各刺激音頻下遠耳之有耳廓與無耳廓的聲壓差異、圖3為各刺激音頻下有耳廓之近耳與遠耳間的聲壓差異，圖4為各刺激音頻下無耳廓之近耳與遠耳間的聲壓差異以及圖5為人耳廓對頭影效應音場之影響圖。由各刺激音頻下遠耳之有耳廓與無耳廓的聲壓差異可知影響的頻率範圍是在3 kHz ~ 8 kHz，如圖2，與文獻[4]所提到耳廓會局部影響高頻率(約大於4000Hz)，有所吻合；且文獻[2]中提到一般人耳在接收聲音的過程中，頭影效應所影響的頻率範圍在4 kHz ~ 6 kHz，其中，兩耳音強差可達到10~20 dB，由圖9、圖10中得知，音源位置在90度時，4 kHz ~ 6 kHz的兩耳音強差可達到10.63~11.75 dB SPL，符合文獻[2]中所提10~20 dB之內，以下分為兩部份進行討論(一)遠耳耳廓對於耳道口處音場之影響以及(二)人耳廓對頭影效應下之音場的影響。

(一) 遠耳耳廓對於耳道口處音場之影響

由實驗結果可知音源在90度時遠耳耳廓影響之刺激音頻是在4 kHz ~ 6 kHz及8 kHz聲壓差異範圍為7.15 dB SPL ~ 22.68 dB SPL，聲壓差異最大之頻率則是5 kHz，其值為22.68 dB SPL。由上述結果可發現出遠耳耳廓對於遠耳耳道口處音場之影響的頻率與文獻[4]中提到耳廓影響之頻率在4 kHz以上相符合，更發現受耳廓影響最明顯頻率為5 kHz及8 kHz。

(二) 人耳廓對於頭影效應音場之探討

有耳廓實驗之結果發現音源位置在75度時，近耳與遠耳差異最小在125 Hz，其差值是1.96 dB SPL；差異最大是在8 kHz，而其差值為38.21 dB SPL。無耳廓實驗之結果發現音源位置音源位置在75度時，近耳與遠耳差異最小在125 Hz，其差值是1.83 dB SPL；差異最大是在8 kHz，而其差值為29.40 dB SPL。從有耳廓實驗以及無耳廓實驗之結果可以發現耳廓對頭影效應之影響，發現音源位置在30度時，耳廓影響之頻率為3 kHz ~ 5 kHz，其中影響最大的頻率為4 kHz，有16.16 dB SPL的聲壓差異。由有耳廓實驗及無耳廓實驗中之結果討論頭影效應，與文獻[2]中提出頭影效應所影響的頻率範圍在4 kHz ~ 6 kHz，兩耳音強差可達到10~20 dB相符合，耳廓對於頭影效應音場之影響，頻率範圍在3 kHz ~ 8 kHz，然而，音源位置擺設不同，其耳廓對於頭影效應音場影響最大之頻率也不同，如音源位置在0度時，耳廓影響大的頻率為8 kHz，有-7.03 dB SPL的聲壓差異。一般所為之頭影效應包含了頭部以及耳廓的影響，經由上述討論，進而推導出其一方程式： $H_t = H_r + P$ ，其中， H_t 為有耳廓之頭影效應(一般所謂之頭影效應)，如圖3、 H_r 無耳廓之頭影效應(僅頭部的影響)，如圖4、 P 為單純耳廓的影響，如圖5。各頻率在0度音源位置之 H_t 值、 H_r 值及 P 值經由推算可得出各角度下之 $H_t = H_r + P$ ，再藉由 $H_t = H_r + P$ 方程式，推導出其另一方程式： $P = H_t - H_r$ ，經由上式，可得知一般所為之頭影效應減去頭部的影響其結果為耳廓對於頭影效應下音場之影響，如圖5。

肆、結論

本研究在遠耳耳廓對於耳道口處音場之影響中，發現其遠耳耳廓會受到音源位置之擺設影響聲壓差異，音源位置在0度時，耳廓影響大的頻率為5 kHz，音源位置在15度時，影響較明顯的頻率的頻率為3 kHz~8 kHz，音源位置在30度時，影響較明顯的頻率為3 kHz、5 kHz、6 kHz及8 kHz，音源位置在45度時，影響較明顯的頻率為4 kHz、5 kHz、7 kHz，音源位置在60度時，影響較明顯的頻率為4 kHz、6 kHz及8 kHz，音源位置在75度時，影響較明顯的頻率為4 kHz、5 kHz及8 kHz，音源位置在90度時，影響明顯的頻率為5 kHz；且在耳廓對於頭影效應音場之影響中，發現音源位置之擺設會影響其聲壓差異，音源位置在0度時，耳廓影響大的頻率為8 kHz，音源位置在15度時，其中影響最大的頻率為3 kHz，音

源位置在 30 度時，影響最大的頻率為 4 kHz，音源位置在 45 度時，影響最大的頻率為 5 kHz，音源位置在 60 度時，影響最大的頻率為 5 kHz，音源位置在 75 度時，影響最大的頻率為 4 kHz，音源位置在 90 度時，影響最大的頻率為 5 kHz，由實驗結果可得知人耳廓影響遠耳之音場最明顯的頻率為 4 kHz 及 5 kHz，頭部影響之音場最明顯的頻率範圍是 3 kHz、6 kHz、7 kHz 及 8 kHz，單純人耳廓影響頭影效應之音場最明顯的頻率範圍是 3 kHz、4 kHz 及 5 kHz。

本研究推導出其依方程式代表耳廓對頭影效應音場之影響為： $P=H_t-H_r$ ，由此方程式，可以讓臨床在做雙耳助聽器選配時做參考，然而，本研究發現其助聽器配戴的位置，必須考慮耳廓效應、頭影效應、刺激音頻以及音源位置，得以調整出較適合聽障者所使用之雙耳助聽器。

伍、參考文獻

- (1) Rayleigh, L., Our perception of sound duration. *Phil. Mag.*, 1907. 13(214-232).
- (2) Shaw, E.A., Transformation of sound pressure level from the free field to the eardrum in the horizontal plane. *J Acoust Soc Am*,56(6): p. 1848-61(1974)
- (3) Fischer, W.H. and J.W. Schafer, Direction-dependent amplification of the human outer ear. *Br J Audiol*,25(2): p. 123-30.(1991)
- (4) Shaw, E.A.G., Acoustical features of the human ear," in *Binaural and Spatial Hearing in Real and Virtual Environments*, edited by R. H. Gilkey and A. T. B. Erlbaum, Mahwah, NJ,p. 25-47(1997)
- (5) Plenge, G., On the differences between localization and lateralization. *J Acoust Soc Am*,56(3): p. 944-51(1974)
- (6) Blauert, J., *Special Hearing : The Psychophysics of Human Sound Localization* (rev. ed.) . Cambridge, Ma : MIT Press(1997)

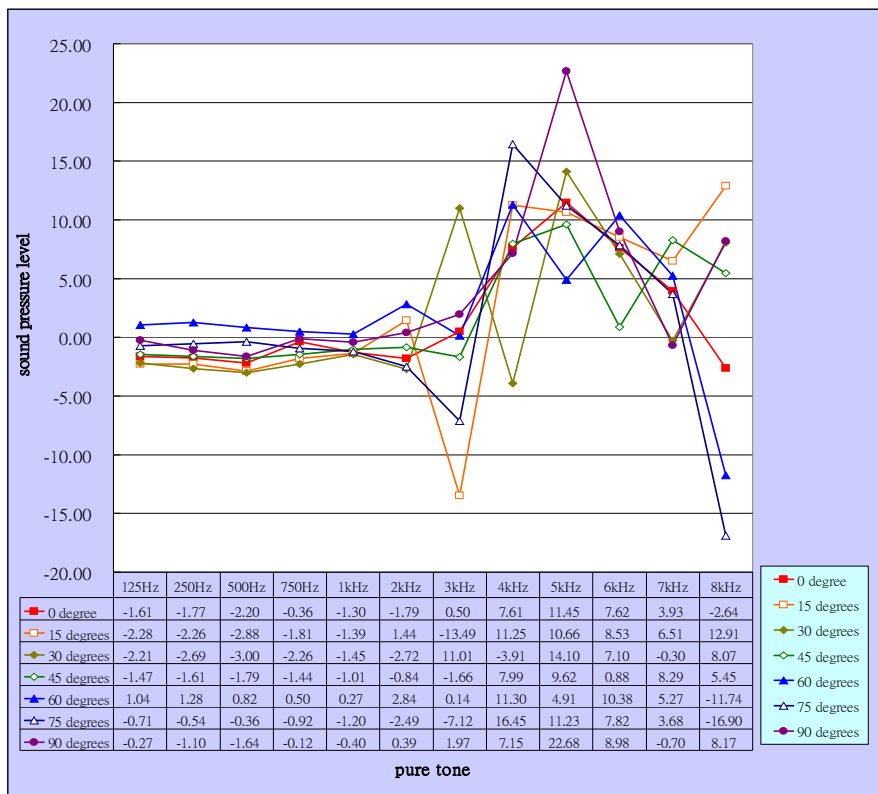


圖 2 各刺激音頻遠耳之有耳廓與無耳廓的聲壓差異 (單位：dB SPL)

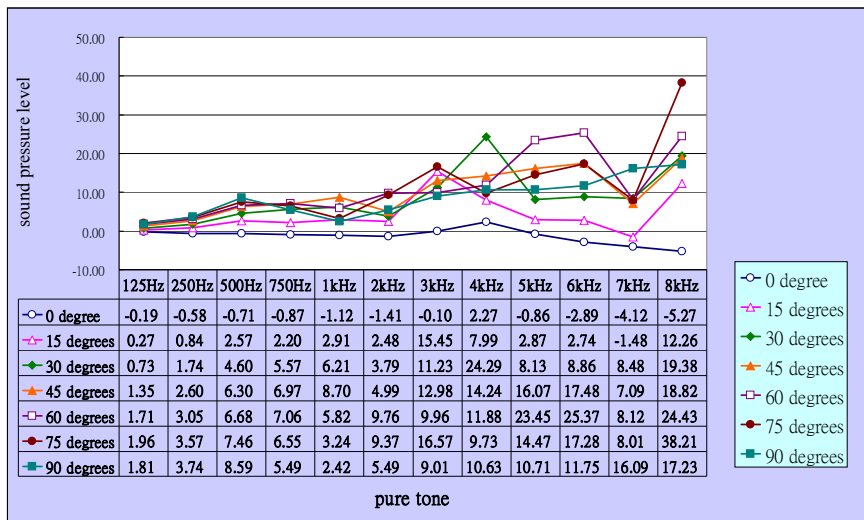


圖3各刺激音頻下之有耳廓近耳與遠耳間的聲壓差異 (單位: dB SPL)

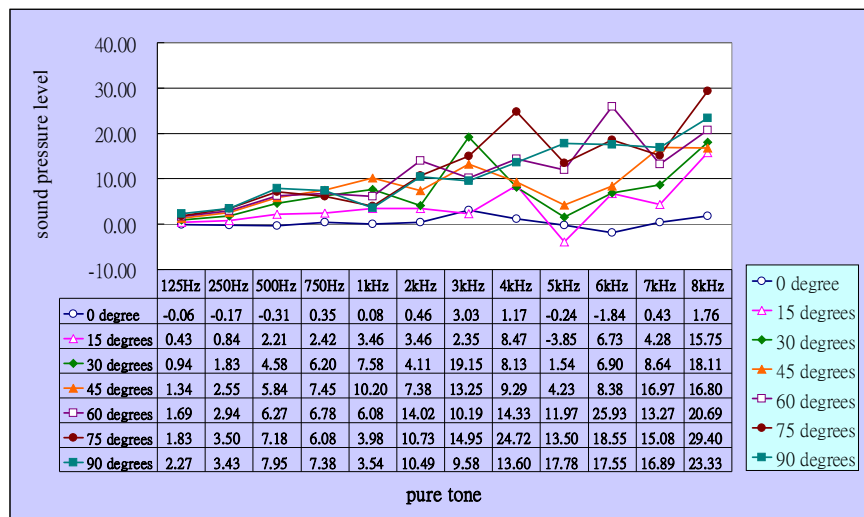


圖4各刺激音頻下無耳廓之近耳與遠耳間的聲壓差異 (單位: dB SPL)

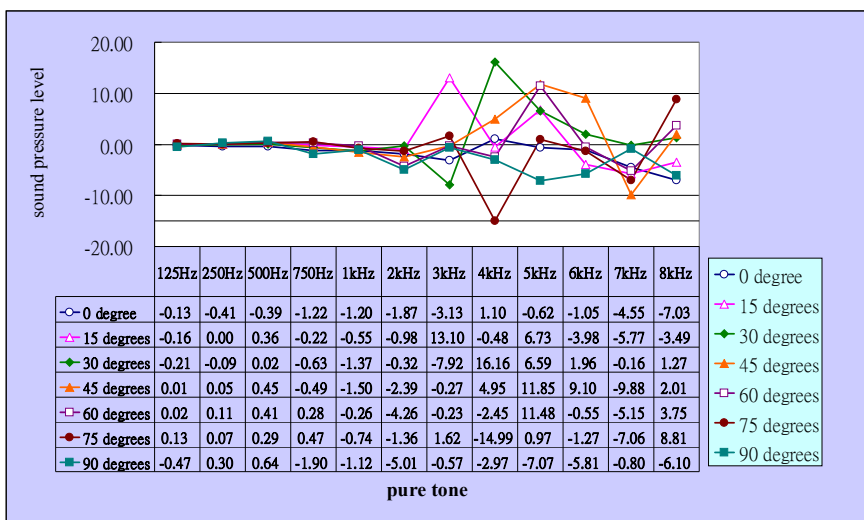


圖5人耳廓對頭影效應音場之影響 (單位: dB SPL)