

侧卧状态下人体垂直轴向感知距离实验

高 靖, 牛 欢, 孟子厚

(中国传媒大学传播声学研究所, 北京 100024)

摘要: 为了探讨人体侧卧状态下垂直轴向距离感知的规律, 在消声室中进行了听音实验, 并将其和仰卧状态下的实验数据进行对比分析。结果表明, 侧卧状态下垂直轴向距离感知与信号频率及信号种类相关。在人体下方的距离感知中, 纯音信号的距离感知趋势和窄带信号的距离感知趋势大体相同, 在人体上方的距离感知中, 窄带信号的距离感知趋势较纯音信号的距离感知趋势有一定的提升。

关键字: 侧卧; 垂直轴向; 距离感知

中图分类号: TP391.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2018)-06-0579-05

DOI 编码: 10.16300/j.cnki.1000-3630.2018.06.012

Experiment of vertical axial distance perception in lateral lying state of human body

GAO Jing, NIU Huan, MENG Zi-hou

(Communication Acoustics Laboratory, Communication University of China, Beijing 100024, China)

Abstract: In order to explore the law of vertical axial distance perception in the lateral lying state of human body, the subjective listening experiment is carried out in the anechoic chamber, and the experimental data are compared with the experimental data in the supine state. The experimental results show that the vertical axial distance perception in the lateral lying state is correlated with the signal frequency and the signal type. There is no significant difference between the pure and narrowband signals in the distance perception when the sound source is below the body. However, the distance perception trend of narrowband signal is improved to a certain extent compared with the pure tone signal when the sound source is above the body.

Key words: lateral state; vertical axial; distance perception

0 引 言

早期研究表明, 人耳对于声源垂直方位的估计是源于对声音信号频响中波峰和波谷出现的位置。1968 年 K. Roffler 等^[1]就尝试通过人耳对不同频率白噪声的垂直方位感知, 从生理上揭示了人耳对于声源垂直方位的感知是基于声音信号的高频部分。1974 年, Hebrank 等^[2]在针对滤波后的噪声进行定位实验后, 得出垂直轴向上的定位主要由 7~9 kHz 之间的频谱线索决定。1977 年 Butler 等^[3]针对前方中垂面定位的声学实验结果表明: 在声源于中垂面从上(30°)到下(-30°)移动时, 频谱线索中最重要的波谷(5~8 kHz)特征出现位置逐渐移向低频。

垂直轴向定位感知的实验中, Pratt^[4]实验结果发现高频信号在空间定位上比低频信号有所提升。

Roffler 等^[5]的后续实验结果, 指出被试有无高、低的先验知识对高频信号空间定位较高这种现象不具有影响性。Blauert^[6]的水平中垂面(正前方和正后方)定位实验结果, 表明中心频率的变化对 1/3 倍频带的噪声定位存在一定的影响。直到 2010 年 Matsui 等^[7]通过主观实验测试人耳对扬声器重建的声像的高度分辨, 发现当扬声器在侧边时, 随着声源高度的增加, 声像的高度感知分辨率逐渐增加; 扬声器在前或后时, 随着声源高度的增加, 声像的高度感知分辨率逐渐下降。申少雄等^[8]在仰卧状态下人体垂直轴向的距离感知实验中, 发现频率与距离感知不存在线性关系, 信号的种类以及频率的变化对于人体垂直轴向的距离感知存在一定的影响, 且上下空间距离感知规律不同。由于人体直立状态下受空间限制, 在垂直轴向上难以进行声源模拟, 为了探究人体的躺卧姿势对距离感知是否有影响, 本实验探讨了侧卧状态下人体垂直轴向的距离感知, 并与人体仰卧状态下垂直轴向距离感知的实验结果进行对比分析。

收稿日期: 2017-11-02; 修回日期: 2017-12-17

作者简介: 高靖(1992-), 女, 陕西榆林人, 硕士研究生, 研究方向为全景声技术。

通讯作者: 孟子厚, E-mail: mzh@cuc.edu.cn

1 听音实验

采用白噪声、频率范围为 250~8 000 Hz 按倍频程递增的纯音, 以及按中心频率 250~8 000 Hz 倍频程递增的窄带粉红噪声, 共计 13 种实验信号。实验的被试共 14 名, 男女生各 7 人, 年龄在 22~27 岁之间, 均为在读研究生, 所有被试听力正常。

人体垂直轴向在被试正常站立姿势时, 声源距离变化难以进行真实模拟。因而为了研究侧卧状态下人体垂直轴向的距离感知的变化, 在全消声室的水平面上移动声源, 以此来模拟垂直轴向的声源。实验布局图如图 1 所示。

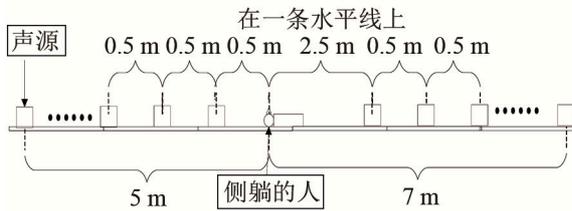


图 1 实验布局图
Fig.1 Experimental layout

听音实验采用尺度估计法^[9], 实验信号随机放。实验前需进行校准, 使每个信号在听音点处的声压级为 75 dB(A), 使被试侧卧状态下头部保持固定不动。实验过程中被试在每个序号后会听到两个相同的信号, 时间间隔为 2.0 s, 序号和序号间间隔约 3.0 s, 被试的任务是在听到实验信号后对距离进行判断。

2 结果统计与分析

对所有被试的实验数据进行重测信度检验^[10], 采用两倍标准差原则剔除不合格的数据, 再对所留数据进行显著性检验, 结果显示数据间具有显著性差异。

2.1 垂直轴向上方的距离感知

对垂直轴向上方不同声源位置的实验数据进行统计分析, 得到不同声源位置处频率对距离感知的影响, 如图 2 所示(C 代表纯音, Z 代表窄带)。图 2 中横坐标表示纯音/窄带频率, 纵坐标表示被试主观感知距离(单位为 m)。

当声源位于 0.5 m 时, 纯音频率为 250 Hz 时的主观感知距离为 0.3 m; 1 000 Hz 时的感知距离为 0.5 m; 8 000 Hz 时的感知距离接近 1 m。声源位于 2、4、5 m 时存在同样的变化趋势。因而, 随着纯

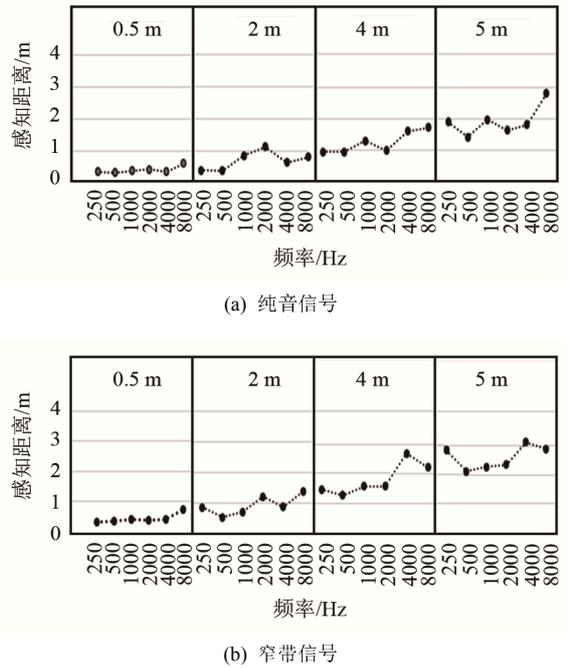


图 2 频率对方上距离感知的影响
Fig.2 Influence of frequency on the distance perception above the body

音频率的增加, 被试垂直轴向的主观感知距离增加并最终趋于平稳。

对于窄带信号, 当声源位于 0.5 m 处, 随着信号频率的增加, 被试垂直轴向的感知距离也随之增加。同样对于声源位于其他位置处, 也存在同样的变化趋势, 并且最终都趋于平稳。

声源位于同一位置时, 对比纯音信号与窄带信号, 两者关于频率与声源位置的变化趋势大体一致, 都呈线性上升趋势。

分析不同频率的纯音信号和窄带信号以及白噪声在不同位置的感知距离如图 3 所示, BZ 代表白噪声, 横坐标为声源位置。

纯音频率为 250 Hz 时, 声源位置在 0.5~5 m 之间变化, 被试的垂直轴向感知距离在 0.5~3 m 之间变化。并且被试的距离感知随声源位置的增加而增加, 但均小于声源距离, 纯音频率为 1 000、4 000 Hz 时, 存在相同的变化趋势。对比纯音频率为 250 Hz 和 4 000 Hz 的数据, 结果显示高频处距离感知相对低中频有一定的提升, 但依然小于实际声源距离。

窄带信号中心频率为 250 Hz 时, 声源位置从 0.5~5 m 渐进变化, 被试的垂直轴向感知距离从 0.5~3.8 m 递增变化, 因此被试垂直轴向感知距离随声源位置距离的增加而增加, 但依然小于实际声源距离。在其他频率处存在相同的变化趋势, 但高频的垂直轴向距离感知相对于低中频存在一定的提升。上方声源位置时, 窄带和纯音距离感知有相

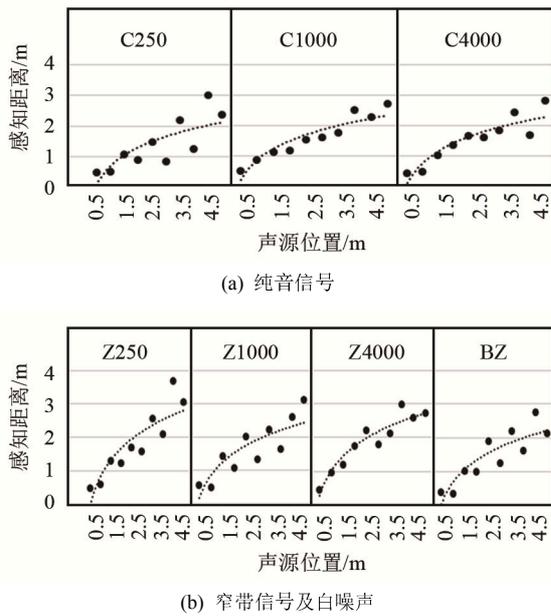


图 3 声源位置对上方距离感知的影响
Fig.3 Influence of sound source position on the distance perception above the body

同的趋势，但存在一定差异。

同时也对白噪声进行了相同的实验，实验发现随实际声源距离的增加，垂直轴向距离感知趋势的变化与纯音、窄带信号的低频信号结果具有相似性。

2.2 垂直轴向下方的距离感知

对垂直轴向下方不同声源位置的实验数据进行统计分析，得到不同声源位置处，频率对距离感知的影响，如图 4 所示。图 4 中横坐标表示纯音/

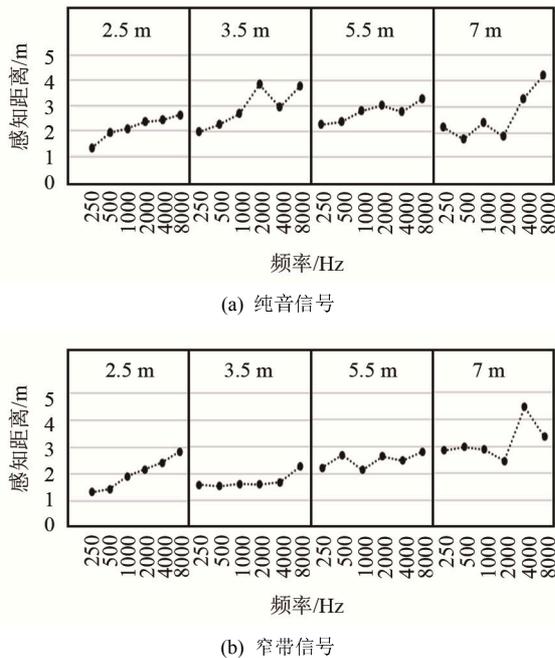


图 4 频率对下方距离感知的影响
Fig.4 Influence of frequency on the distance perception below the body

窄带信号频率，纵坐标表示被试主观感知距离(单位为 m)。

当声源位于 2.5 m 时，纯音频率为 250 Hz 时的主观感知距离为 1.2 m；500 Hz 时的感知距离为 2 m；8 000 Hz 时的感知距离接近 3 m。声源位于 3.5、5.5、7.5 m 时存在同样的变化趋势。因而，随着纯音频率的增加，被试垂直轴向的主观感知距离增加并最终趋于平稳。

对于窄带信号，当声源位于 2.5 m 时，随着信号频率的增加，被试垂直轴向的感知距离也随之增加。同样对于声源位于其他位置处，也存在相同的变化趋势，并且最终都趋于平稳。

声源位于同一位置时，对比纯音信号与窄带信号，两者关于频率与声源位置的变化趋势大体一致，都呈线性上升趋势。但窄带信号的变化趋势相对比较缓慢，趋势线平稳，总体的感知距离数值低于纯音感知距离数值。

由图 5 可知，在不同声源位置对不同频率的纯音信号和窄带信号以及白噪声信号进行分析(横坐标为声源位置)。

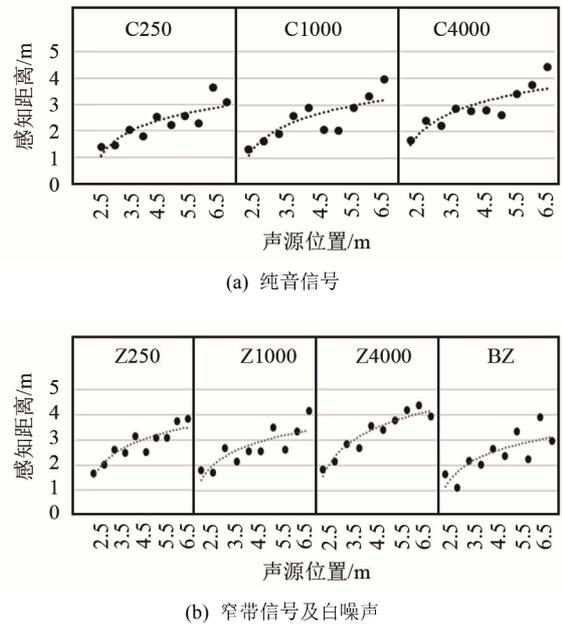


图 5 声源位置对下方距离感知的影响
Fig.5 Influence of sound source position on the distance perception below the body

纯音频率为 250 Hz 时，声源位置由 2.5~7 m 之间变化，被试的垂直轴向感知距离为 1.5~4 m 之间变化。并且被试的感知距离随声源位置的增加而增加，但均小于声源距离。纯音信号频率为 1 000、8 000 Hz 时，存在相同的变化趋势。对比纯音信号频率为 500 Hz 和 8 000 Hz 的数据，结果显示高频处距离感知相对低中频有一定的提升，但依然小于

实际声源距离。

窄带信号中心频率为 250 Hz 时, 声源位置从 2.5~7 m 渐进变化, 被试的垂直轴向感知距离从 1.6~4 m 递增变化, 因此被试垂直轴向感知距离随声源位置距离的增加而增加, 但依然小于实际声源距离。在其他频率处存在相同的变化趋势, 但高频的垂直轴向距离感知相对于低中频存在一定的提升。下方声源位置时, 窄带和纯音距离感知有相同的趋势, 但存在一定差异。同时也对白噪声进行了相同的实验, 实验结果与垂直轴向上方结论存在一致性。

3 对比分析

对侧卧和仰卧两种不同状态下垂直轴向上方距离感知进行对比分析。

频率不同时, 纯音信号和窄带信号垂直轴向距离感知对比如图 6 所示。

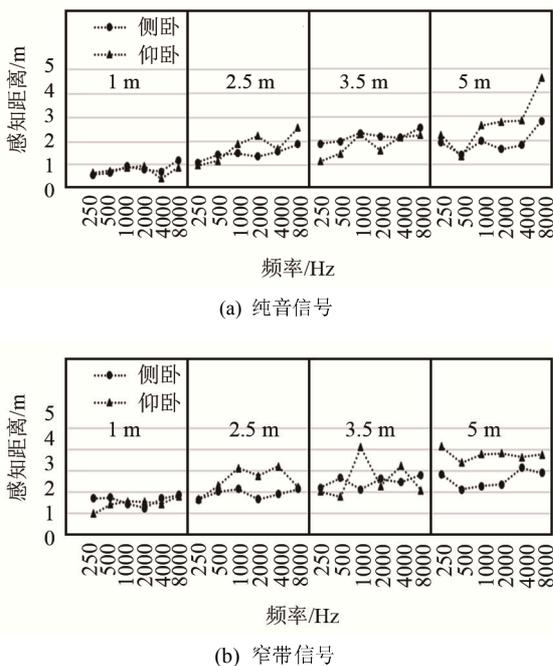


图 6 侧卧和仰卧状态下频率对距离感知的影响对比
Fig.6 Comparison between the influences of frequency on distance perception in the states of lateral lying and supine lying

当声源位置为 1 m、纯音信号频率从 250~8 000 Hz 进行变化时, 仰卧和侧卧两种状态下垂直轴向感知距离从 0.5~1 m 呈上升变化趋势, 但变化较为平缓。其他声源位置变化趋势相同。由此可得, 相同声源位置在两种状态下, 纯音信号趋势变化基本一致, 且声源距离越短, 趋势线重合性越好。随声源距离的增加, 两种状态下距离感知变化趋于稳定。

当声源位置在 2.5 m、窄带信号中心频率从 250~8 000 Hz 变化时, 两种状态下垂直轴向距离感知均呈上升变化趋势, 但侧卧状态下存在微小的距离感知压缩, 故声源位于远距离时, 侧卧状态下的感知距离更接近声源距离。由此可得, 相同声源距离两种状态下窄带信号趋势变化基本一致。

对比纯音信号和窄带信号两种状态垂直轴向距离感知的一致性, 纯音信号比窄带信号效果好, 声源距离较远处虽有一定差异, 但都不是显著性的。

不同声源位置时, 纯音信号和窄带信号垂直轴向距离感知对比如图 7 所示(横坐标为声源位置)。

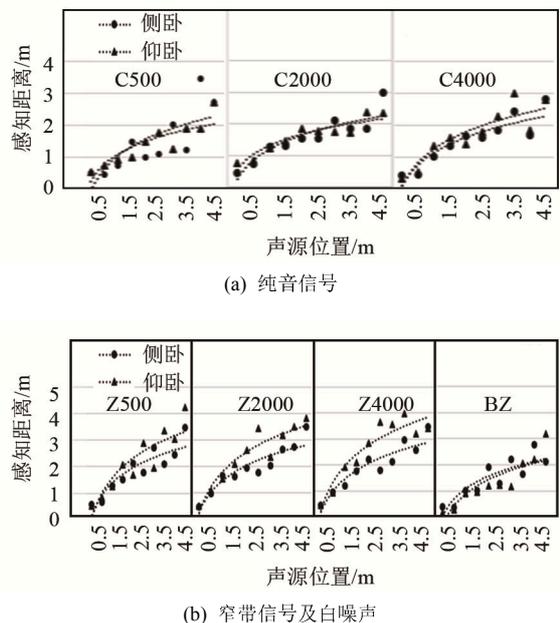


图 7 侧卧和仰卧状态下声源位置对距离感知的影响对比
Fig.7 Comparison of the influence of sound source position on the distance perception in the states of lateral lying and supine lying

对于频率为 500 Hz 的纯音信号, 当声源位置从 0.5~5 m 间变化时, 仰卧和侧卧两种状态下垂直轴向感知距离从 0.5~3 m 呈上升趋势, 同时 2 000、4 000 Hz 等频率均存在相同的变化趋势。由此可得, 在不同声源距离两种状态下, 纯音频率的垂直轴向距离感知变化趋势基本一致, 且均随着声源距离增加而增加, 最终趋于平稳。

对于中心频率为 2 000 Hz 的窄带信号, 当声源位置从 0.5~5 m 变化时, 仰卧和侧卧两种状态下垂直轴向感知距离从 0.5~3 m 呈上升变化趋势, 同时 500、4 000 Hz 等频率也存在相同的变化趋势。由此可得, 在不同声源距离, 两种状态下窄带频率在垂直轴向距离感知上趋势基本一致, 也随声源距离增加而增加直到趋于平稳, 但均小于实际声源距离。但窄带垂直轴向感知距离相较于纯音更接近声源距离。

同时由图7中白噪声的变化趋势图可得,两种状态下白噪趋势线基本重合。

4 结论

实验探讨了被试在侧卧状态下垂直轴向的距离感知变化,并与仰卧状态下进行对比分析,实验结果表明:

(1) 不同频率的信号以及不同种类的信号源对于侧卧状态下的垂直轴向距离感知具有一定的相关性。

(2) 声源位置作为垂直轴向距离感知影响因子的实验结果表明,相对于纯音信号距离感知,上方的窄带信号对距离感知有提升的效果,但下方二者并无太大差别。(3) 频率作为垂直轴向距离感知影响因子的结果表明,相同频率的纯音信号与窄带信号在上方存在明显差异,但在下方都呈现大体相同的趋势。中高频的纯音信号与窄带信号在垂直轴向上的距离感知均高于低频。

综上可知在侧卧状态下,可能由于上下空间距离感知机理的不同,从而呈现不同的规律性。对比两种状态下的实验结果表明,上下空间垂直轴向距离感知中,侧卧和仰卧状态垂直轴向距离感知趋势基本趋于一致,存在一定的差异,但是这种差异不显著。

参 考 文 献

- [1] ROFFLER K, BUTLER A. Factors that influence the localization of sound in the vertical plane[J]. *J. Acoust. Soc. Am.*, 1968, **43**(2): 1255-1259.
- [2] HEBRANK J, WRIGHT D. Spectral cues used in the localization of sound sources on the median plane[J]. *J. Acoust. Soc. Am.*, 1974, **56**(2): 1829-1834.
- [3] BUTLER A, BELENDIUK K. Spectral cues utilized in the localization of sound in the median sagittal plane[J]. *J. Acoust. Soc. Am.*, 1977, **61**(1): 1264-1269.
- [4] PRATT C C. The spatial character of high and low tones[J]. *Journal of Experimental Psychology*, 1930, **13**(3): 278-285.
- [5] ROFFLER S K, BUTLER R A. Localization of tonal stimuli in the vertical plane[J]. *J. Acoust. Soc. Am.*, 1968, **43**(6): 1260-1266.
- [6] BLAUERT J. Sound localization in the median plane[J]. *Acta Acustica United with Acustica*, 1969, **22**(4): 205-213.
- [7] MATSUI K, ANDO A. Perception of sound image elevation in various acoustic environments[C]//Audio Engineering Society Conference: 40th International Conference, 2010.
- [8] 申少雄, 张茂成, 牛欢, 等. 仰卧状态下人体垂直轴向距离感知的实验[C]//中国声学学会 2107 年全国声学学术会议论文集, 2017. SHEN Shaoxiong, ZHANG Maocheng, NIU Huan, et al. Vertical distance perception experiment in the supine condition[C]//The Acoustical Society Conference of China, 2017.
- [9] 孟子厚. 音质主观评价的实验心理学方法[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008. MENG Zihou. Experimental psychological method for subjective evaluation of sound[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2008.
- [10] 金瑜. 心理测量[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 2005. JIN Yu. The measurement of psychological[M]. Shanghai: East China Normal University Press, 2005.