

· 论著——临床研究 ·

轻中度感音神经性聋患者汉语普通话 声调知觉模式研究*

亓贝尔¹ 刘鹏² 古鑫¹ 刘博¹

[摘要] 目的:从语音知觉角度出发初步探究感音神经性聋患者的汉语普通话声调知觉的心理物理学特征知觉模式特点及其与听力正常人的异同。方法:采用 POSOLA 信号合成技术对普通话女发声人的原始语音材料 /ā/ 的基频进行控制,获得基频曲拱连续变化的一声/二声(T1/T2)、一声/四声(T1/T4)和二声/三声(T2/T3)的 3 组声调连续统。并在 E-Studio 测试平台控制下对 23 例感音神经性聋患者进行识别任务测试。采用 SPSS 19.0 软件拟合感音神经性聋患者声调知觉曲线,分析其声调知觉模式特点及其与听力正常人的异同,探究引起差异的可能原因。结果:①感音神经性聋患者声调知觉曲线具有明确的曲线边界和交点,在曲线交点前后测试成绩发生突变,符合范畴化知觉特性;其曲线形态呈现倒“S”型,与听力正常组类同;②该组耳聋患者声调连续刺激声的反应率与听力正常人无明显差异(T1/T2 组: $P=0.811$; T1/T4 组: $P=0.528$; T2/T3 组: $P=0.555$)。结论:感音神经性聋患者汉语普通话声调知觉模式仍可表现出范畴化知觉特征,听觉系统的轻度受损对声调知觉模式的影响程度有限。

[关键词] 声调;范畴化知觉;聋,感音神经性;普通话

doi:10.13201/j.issn.1001-1781.2017.01.011

[中图分类号] R764.43 [文献标志码] A

The characteristic of lexical tone perception in native Mandarin speakers with mild and moderate sensorineural hearing loss

QI Beier¹ LIU Peng² GU Xin¹ LIU Bo¹

(¹Beijing Tongren Hospital, Capital Medical University, Beijing Institute of Otolaryngology, Key Laboratory of Otolaryngology Head and Neck Surgery(Capital Medical University), Ministry of Education, Beijing, 100005, China; ²Department of Otolaryngology, the Affiliated Children's Hospital, Capital Institute of Pediatrics)

Corresponding author: LIU Bo, E-mail: trliubo@139.com

Abstract Objective: To explore the characteristic of lexical tone perception in native-Mandarin speakers with mild to moderate sensorineural hearing loss. **Method:** Three types of continuum (Tone1/tone2, tone1/tone4 and tone2/tone3) were constructed and each of them includes a 15 stimuli. All speech stimuli in these three continua were resynthesized by applying the Pitch-Synchronous Overlap and Add (PSOLA) method implemented in Praat to the same mandarin syllable, /a/, with a high level tone produced by a female native mandarin speaker. Twenty-three native-mandarin sensory hearing loss people were recruited for this study and identification task was used to acquire the tonal perceptual data. SPSS 19.0 software was used to get the fitting curves of lexical tone perception. **Result:** ① Each tone perception curves owns the characteristic of categorical perception, including an obvious boundary, a definite intersection and the abrupt performance change at intersection. The tone perception curves were S-shape in SNHL people which were same as that in normal hearing people. ② No significant performance difference of each continuum was observed between SNHL and NH in this study ($P=0.811$ in T1/T2 continuum, $P=0.528$ in T1/T4 continuum, $P=0.555$ in T2/T3 continuum). **Conclusion:** There is the categorical perception of lexical tone identification in native-mandarin sensorineural hearing loss people. The slight damage in peripheral auditory system did not changed characteristic of lexical tone perception.

Key words tone; categorical perception; hearing loss; sensory; Mandarin

* 基金项目:北京市科技新星项目(No:Z151110000315064);国家自然科学基金项目(No:81371103, No:81200753);北京市卫生系统高层次卫生技术人才培养计划(No:2015-3-019)

¹首都医科大学附属北京同仁医院 北京市耳鼻咽喉科研究所 耳鼻咽喉头颈科学教育部重点实验室(首都医科大学)(北京, 100005)

²首都儿科研究所附属儿童医院耳鼻咽喉科
通信作者:刘博, E-mail: trliubo@139.com

声调又称字调或音节声调,作为声调语言独有的语音学属性,既承担区别语义的作用亦具有抗噪声干扰的功能^[1-2]。因声调在语音知觉和言语识别中的重要地位,吸引了众多学者持续开展与汉语声调(普通话声调、广东话声调、台湾话声调)相关的科学研究。但是现有工作多侧重不同人群的声调识别能力,有关声调知觉模式的研究有限且多为基于英语人群语调识别模式的替代研究(如以升/降调替代一声/四声)^[3-4],真正以汉语人群为研究对象的声调知觉模式研究尚不多见,探究听力障碍群体声调知觉模式的研究更有待开展。本研究拟从语音知觉角度出发、利用识别任务测试方法获得轻中度感音神经性聋患者汉语普通话声调知觉模式特点、对比与听力正常人声调知觉模式的异同并探究引起差异的可能原因,以期为后续深入研究异常听觉系统和(或)人工听觉系统的声调知觉模式提供数据参考、积累实践经验。

1 资料与方法

1.1 研究对象

随机选取 2014 年 2~5 月于首都医科大学附属北京同仁医院就诊的双侧对称轻中度感音神经性语后聋患者 23 例[男 9 例,女 14 例;年龄(53.39±16.77)岁]为研究对象,其中轻度听力损失 5 例,中度听力损失 18 例;均日常使用汉语普通话交流。经本人同意并签署知情同意后纳入本研究。

1.2 研究方法

测试条件:测试在首都医科大学附属北京同仁医院临床听力学中心标准隔声室内完成,本底噪声≤30 dB(A)。选取声场下给声方式,测试声以零

度角正面入射,扬声器置于受试者前方 1 m 处,高度与受试者耳部齐平。

测试材料:以一名普通话一级女发声人的声音样本/ \bar{a} /为原始语料、采用 POSOLA 合成技术^[5]生成一声/二声(T1/T2)、一声/四声(T1/T4)和二声/三声(T2/T3)3 组声调连续统。3 组测试材料起止频率的选择方法同前期研究;每组连续统包含 15 个等级变化,每个等级基频的变化范围见表 1(声调连续统:是指一组基频频率呈现连续变化的合成声信号;识别任务,即测试过程中每次呈现一个刺激声,要求听者判断该声音的音位名称)。

测试方案:以语音知觉经典研究范式之一的识别任务为测试方案;在 E-studio 测试平台控制下以“二选一”测试(two alternative forced-choice, 2AFC)的方法实现声调知觉识别任务测试。每组连续统的 15 个刺激等级按随机顺序重复呈现十次,即每组测试受试者需进行 150 次(15 个×10 次)判断。受试者通过练习掌握测试方法后,在裸耳条件下以其自觉舒适的强度完成正式测试。测试过程中不对测试结果进行反馈,3 组连续统测试顺序随机,每完成一组声调连续统测试后给予受试者 5 min 休息。

计分方法:测试成绩定义为受试者将某个刺激声判断为第 1 种声调或者第 2 种声调的百分率。

1.3 统计学分析

采用 SPSS 19.0 软件的摘要点图拟合方法获得本组感音神经性聋患者声调知觉曲线;采用独立样本 t 检验方法评价耳聋患者与听力正常人声调知觉模式曲线的差异。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

表 1 声调连续统刺激基频分布情况

等级	Hz						
	T1/T2 连续统		T1/T4 连续统		T2/T3 连续统		
	F0 起点	F0 末点	F0 起点	F0 末点	F0 起点	F0 中点	F0 末点
1	300	300	320	320	240	235.35	303.15
2	294	300	320	305	236.8	219.35	296.35
3	288	300	320	290	233.6	203.35	289.55
4	282	300	320	285	230.4	194.35	282.75
5	276	300	320	280	227.2	185.35	275.95
6	270	300	320	275	224	176.35	269.15
7	266	300	320	270	220.8	169.35	262.35
8	262	300	320	265	217.6	162.35	255.55
9	258	300	320	260	214.4	153.35	248.75
10	254	300	320	255	211.2	144.35	241.95
11	250	300	320	250	208	135.35	235.15
12	244	300	320	235	204.8	119.35	228.35
13	238	300	320	220	201.6	103.35	221.55
14	230	300	320	200	198.4	87.35	214.75
15	220	300	320	180	195.2	71.35	207.95

2 结果

2.1 感音神经性聋患者汉语普通话声调知觉曲线

本研究中每组连续刺激材料可采集 3 450 个数据(15 个刺激等级 × 10 次/等级 × 23 人),利用 SPSS 19.0 软件摘要点图拟合方法将所得数据进行曲线拟合,获得感音神经性聋患者 T1/T2、T1/T4 和 T2/T3 声调知觉曲线,如图 1 所示。

2.2 感音神经性聋患者汉语普通话声调知觉模式特性

如图 1 所示,本组 SNHL 患者的声调知觉曲线均具有明确的曲线边界和交点,交点附近的测试成绩接机会值(即 50%),交点前后测试成绩快速上升或下降至曲线边界的极值点(接近 100% 或 0)且测试成绩跨越交点后发生反转。该曲线特点符合范畴化知觉特征,即 2 个连续刺激之间的识别百分数出现突变且突变点位于 2 条感知曲线的交点处,同时感知曲线表现出陡峭的上升或者下降趋势并可观察到明显的范畴边界,提示轻-中度感音神经性聋患者的声调知觉模式具有范畴化知觉特性。

2.3 感音神经性聋患者与听力正常人汉语普通话声调知觉曲线的异同

以 T1/T2 声调知觉曲线为例,将本研 究所得 SNHL 组声调知觉曲线与前期研究 中所得听力正常人声调知觉曲线^[6]重新绘制为图 2,详述 2 组知觉曲线特性的异同。图中 X 轴表示刺激声等级,每组连续统包含 15 个变化等级;Y 轴表示听者将刺激判断为某种声调的比例。SNHL 组与 NH 组声调知觉曲线整体走势类同,均呈现“S”型并具有明确的曲线边界和曲线交点,但同时亦发现两组受试者的声调知觉曲线形态仍有差异,如 SNHL 组声调知觉曲线交点较 NH 组偏右,极值区域较 NH 组缩小(表 2)。采用独立样本 *t* 检验进一步分析 SNHL 组和 NH 组各个等级刺激声下的反应率,结果显示差异无统计学意义(T1/T2 组: $P=0.811$; T1/T4 组: $P=0.528$; T2/T3 组: $P=0.555$)。

在 T1/T2 连续统刺激条件下,NH 组知觉曲线交点位于 7 号、8 号刺激等级之间(即 F0 起始频率位于 262~266 Hz);SNHL 组 T1/T2 知觉曲线交点位于 8、9 号刺激等级之间(即 F0 起始频率位

于 258~262 Hz)。NH 组知觉曲线极值点位于 1~5 号和 10~15 号频率区间,提示当基频接近 276 Hz(即 5 号刺激对应 F0 频率值)或者 254 Hz(即 10 号刺激对应 F0 频率值)时,听力正常人即可明确区分声调并将 F0 起始频率 ≥ 276 Hz 的言语声判断为一声、F0 起始频率 ≤ 254 Hz 的言语声判断为二声。SNHL 组知觉曲线极值点位于 1~3 号和 14~15 号频率区间,提示当基频接近 288 Hz(即 3 号刺激对应 F0 频率值)或者 230 Hz(即 14 号刺激对应 F0 频率值)时,感音神经性耳聋患者方可明确区分声调并将 F0 起始频率 ≥ 288 Hz 的言语声判断为一声、F0 起始频率 ≤ 230 Hz 的言语声判断为二声。与 NH 组相比,SNHL 组知觉曲线极值点向两侧移动、极值区域扩大,提示感音神经性聋患者出现声调混淆的区域更宽、声调识别敏感度下降。

3 讨论

知觉作为人类认知过程的重要组成部分,是一种极其复杂的心理现象;知觉模式不仅与被感知物的物理属性有关,亦与感知者的生理和心理属性相关。语音知觉是人们对语音信息的感知和认知过程,因其体现人类将声音信号的物理属性(如频率、强度)感知为心理属性(如音调、音量)的特殊过程,成为知觉研究领域中的热点问题。1957 年,Liberman 等学者利用合成器对英语/b、d、g/3 个塞辅音进行处理,生成 14 个第 2 共振峰呈连续性变化的 C-V(辅音-元音)音节并将其依次播放给受试者聆听,结果发现听者仅感知到/be/、/de/和/ge/3 个 C-V 音节而未察觉到/be-/de/或者/de-/ge/之间尚存在连续变化的其他音节,即听者将连续变化的语音识别为离散的、数量有限的音位。在后续研究中,学者们进一步发现这种特殊现象广泛存在于知觉的各个领域,如颜色分辨和人脸识别。这种将连续变化的物理特性知觉为间断变化心理印象的特殊现象即知觉的范畴化特性(categorical perception,CP)。如图 3 所示。

既往针对语音范畴知觉的研究集中于元音、辅音等音段音位特性,针对超音段音位特征的研究、特别是针对声调知觉的研究数量有限且结果不一

表 2 NH 组和 SNHL 组声调知觉曲线特性分析

声调知觉曲线	交点位置		机会值位置		极值位置		曲线形态	
	NH	SNHL	NH	SNHL	NH	SNHL	NH	SNHL
T1-T2	7-8	8-9	7/8	7/8/9	1-5 10-15	1-3 14-15	S 型	S 型
T1-T4	4-5	5-6	5	5/6	1-2 11-15	1-2 14-15	S 型	S 型
T2-T3	7	8-9	7	8/9	1-3 12-15	1-3 13-15	S 型	S 型

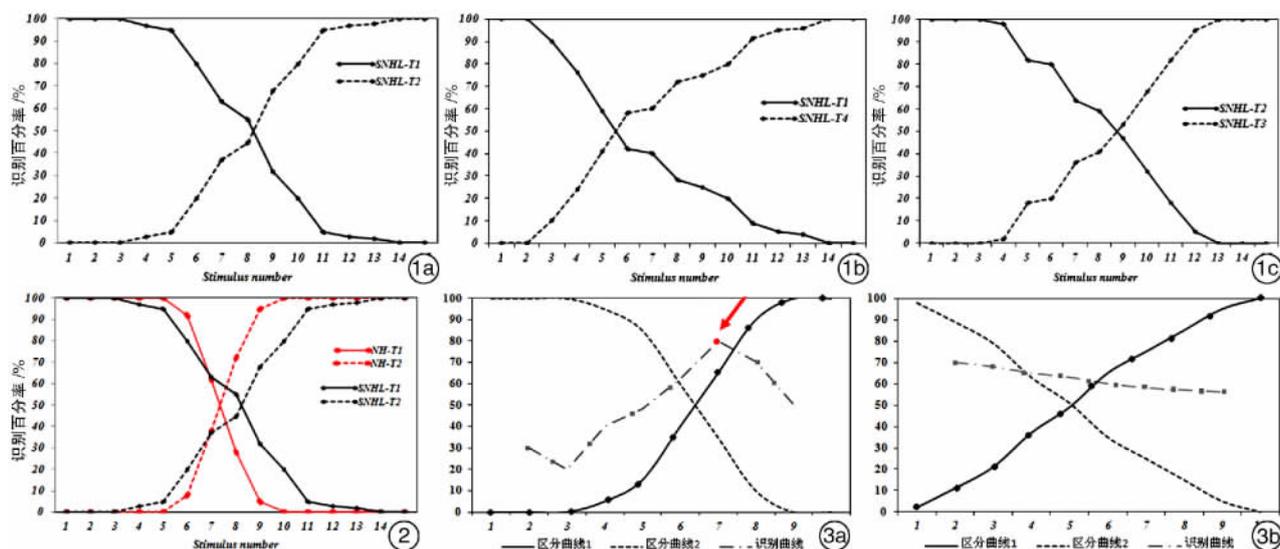


图 1 感音神经性聋患者声调知觉拟合曲线 X 轴代表刺激声的等级; Y 轴代表某刺激声被判断为第 1 种声调或者第 2 种声调的百分率; 1a~1c 依次为 T1/T2 声调知觉拟合曲线、T1/T4 声调知觉拟合曲线和 T2/T3 声调知觉拟合曲线; 图 2 T1/T2 声调知觉拟合曲线 X 轴代表刺激声等级; Y 轴代表某刺激声被判断为 T1 或者 T2 的百分率; 红线为 NH 组声调知觉曲线^[6]; 黑线为 SNHL 组声调知觉曲线; 实线代表某刺激声被判断为 T1 的百分率、虚线代表某刺激声被判断为 T2 的百分率; 图 3 语音知觉模式示意图 3a: 范畴化知觉特性示意图; 3b: 连续化知觉特性示意图。

致。近年来随着人工听觉设备的广泛使用, 人工耳蜗使用者在识别音调、声调和语调等超音段音位信息方面的不佳表现使得相关研究再次成为热点。本研究利用 3 组基频音高曲拱连续变化的连续统刺激材料, 对母语为汉语普通话的双侧对称感音神经性语后聋患者进行识别任务测试, 获得感音神经性耳聋患者的声调知觉模式特点、分析与听力正常人声调知觉模式的异同、探究引起差异的可能原因, 以期为后续深入开展声调知觉模式特性的研究奠定基础、提供参考。

本研究结果显示轻-中度感音神经性聋患者的声调知觉曲线存在明显的边缘和交点、其形态特征与听力正常人无显著差异($P > 0.05$)。分析其原因可能与以下因素有关: ①声调知觉能力形成时间。以心理学研究为基础的记忆机制理论认为语音知觉模式与听觉经验密切相关。伴随听觉经验增加语音知觉模式由最初(出生后 6~8 个月)的高度一致逐渐向有利于识别母语语音学特性的方向进行重组, 其中声调知觉模式在 6~8 岁时完成重组、达到成人水平^[7]。由于本次研究仅选取语后聋患者为研究对象, 其声调知觉模式、声调相关听觉和语音记忆在听力障碍出现时已经达到或者接近听力正常人水平, 可能是本组感音神经性聋患者声调知觉模式与听力正常人无显著差异的主要原因。②听力损失程度。物理声学证实基频及其各次谐波承载着声调的主要信息, 是听力正常人进行声调识别的主要线索, 仅依据基频信息听力正常人的声调识别正确率即可到达 90% 以上。本研究仅选取轻、中度感音神经性聋患者为研究对象, 低频区

域保存较好的残余听力(32% 的患者 500 Hz 以下的听阈可接近或到达正常)使得本组受试者可以获得与听力正常人相近的基频信息(女性发声者的基频 280 Hz 左右), 可能是感音神经性聋患者声调知觉模式与听力正常人无显著差异的补充原因。

与此同时本研究亦发现感音神经性聋患者、听力正常人的声调知觉曲线形态尚存在一定差异, 如 SNHL 组曲线交点较 NH 组偏右、声调混淆区域较 NH 组更广泛, 分析原因可能与以下因素有关: ①听觉系统固有属性的改变。以生理学研究为基础的听觉敏感理论认为声调知觉模式的差异来自于感知者的生理差异, 即听觉系统固有属性的差异^[8]。外周听觉系统的损伤导致感音神经性耳聋患者听觉系统固有属性发生改变, 可能是导致其声调知觉模式与听力正常人存在差异的主要原因。②声调识别辅助信息的缺失。物理学研究证实任何一个声音信号均由频域信息和时域信息组成, 通常条件下听力正常人依靠频域信息识别声调; 当频域信息不足时, 时域信息特别是时域精细结构信息成为听力正常人识别声调的主要依据^[9-11]。但是有关时域信息与听觉认知相关性研究亦表明: 对于外周感受器功能受损的异常听觉系统而言, 其提取和利用 TFS 信息的能力显著下降^[12-13]。因此, 无法获得充足 TFS 信息、难以有效利用 TFS 信息可能是导致感音神经性耳聋患者声调知觉模式与听力正常人存在差异的补充原因。

此外, 利用声调知觉模式特征可以较好的解释声调识别难易程度的产生原因。本研究中使用 15 个等级的刺激声序列, 若听觉系统对于不同声调的

感知敏感度相同,那么识别任务曲线交点的理论值应处于 7~8 号刺激之间。然而实际测试结果发现 T1/T4 声调知觉曲线交点较理论值偏左, T1/T2 和 T2/T3 声调知觉曲线接近理论值,这是否说明当受试者听到介于 T1~T4 之间的声信号时,其听觉系统更倾向于将其判断为 T4,所以 T1/T4 的混淆程度较低;而当受试者听到 T1~T2 或者 T2~T3 之间的声信号时,其听觉系统的敏感程度基本相当,没有明显的倾向性,所以 T1/T2、T2/T3 的混淆程度较高。声调知觉模式特性有力的支持 T1/T2 混淆程度最高、T2/T3 混淆程度次之、T1/T4 混淆程度最低的已有研究结论^[14-15]。

本研究从语音知觉角度出发、利用识别任务测试方法对轻-中度感音神经性聋患者的声调知觉模式特性进行分析,发现该群体的声调知觉模式仍具有范畴知觉特征、与听力正常人间无显著差异,提示听觉系统的轻度受损对声调知觉模式的影响程度有限。但是随着耳聋程度加重感音神经性聋患者的声调知觉模式将呈现何种改变有待进一步深入研究。其他类型的听力损失,如传导性聋、混合型聋亦或听神经病谱系障碍患者的声调知觉模式具有何种特性表现尚有待在后续研究中进一步深入探讨。

参考文献

[1] CHEN F, WONG L L, HU Y. Effects of lexical tone contour on Mandarin sentence intelligibility [J]. *J Speech Lang Hear Res*, 2014, 57: 338-345.
 [2] WANG J, SHU H, ZHANG L, et al. The roles of fundamental frequency contours and sentence context in Mandarin Chinese speech intelligibility [J]. *J Acoust Soc Am*, 2013, 134: 91-97.
 [3] SHEN G, LEVY E, FROUD K. Perceptual learning of lexical tones by native speakers of English [J]. *J Acoust Soc Am*, 2014, 135: 23-53.
 [4] HALLE P A, CHANG Y C, BEST C T. Identification and discrimination of Mandarin Chinese tones by Mandarin Chinese vs. French listeners [J]. *J Phonet*,

2004, 32: 395-421.
 [5] MOULINES E, LAROCHE J. Non-parametric techniques for pitch-scale and time-scale modification of speech [J]. *Speech Communication*, 1995, 16: 175-205.
 [6] 亓贝尔,刘鸣,傅新星,等. 听力正常人汉语普通话声调知觉特征研究 [J]. *临床耳鼻咽喉头颈外科杂志*, 2016, 30(19): 1507-1511.
 [7] YANG J, LIU C. Categorical perception of lexical tone in 6 to 8-year-old monolingual and bilingual children [J]. *Int J Asian Lang Proc*, 2012, 22: 49-62.
 [8] PASTORE R E, AHROON W A, BAFFUTO K J, et al. Common-factor model of categorical perception [J]. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 1977, 3: 686-696.
 [9] WANG S, MANNELL R, NEWALL P, et al. Contribution of spectral cues to Mandarin lexical tone recognition in normal-hearing and hearing-impaired Mandarin Chinese speakers [J]. *Ear Hear*, 2011, 32: 97-103.
 [10] KONG Y Y, ZENG F G. Temporal and spectral cues in Mandarin tone recognition [J]. *J Acoust Soc Am*, 2006, 120: 2830-2840.
 [11] XU L, PFINGST B E. Relative importance of temporal envelope and fine structure in lexical-tone perception [J]. *Acoust Soc Am*, 2003, 114: 3024-3027.
 [12] WANG S, XU L, MANNELL R. Relative contributions of temporal fine structure and envelope cues to lexical tone recognition in hearing-impaired listeners [J]. *J Assoc Res Otolaryngol*, 2011, 12: 783-794.
 [13] LORENZI C, GILBERT G, CARN H, et al. Speech perception problems of the hearing impaired reflect inability to use temporal fine structure [J]. *PANS*, 2006, 103: 18866-18869.
 [14] 王媛,王硕,董瑞娟,等. 人工耳蜗植入者使用音调信息识别声调能力的评价 [J]. *临床耳鼻咽喉头颈外科杂志*, 2014, 28(19): 1461-1464.
 [15] 陈雪清,刘海红. 语前聋患者人工耳蜗植入后声调识别能力研究 [J]. *听力学及言语疾病杂志*, 2010, 18(1): 55-56.

(收稿日期: 2016-08-27)

(上接第 37 页)

[6] 孙群,姚惠香. 雷贝拉唑联合氟哌噻吨美利曲辛治疗非糜烂性食管反流病的临床观察 [J]. *上海交通大学学报(医学版)*, 2014, 34(3): 352-356.
 [7] 中华耳鼻咽喉头颈外科杂志编委会鼻科组,中华医学会耳鼻咽喉头颈外科学会鼻科学组. 变应性鼻炎诊断与治疗指南(2009 年,武夷山) [J]. *中华耳鼻咽喉头颈外科杂志*, 2009, 44(12): 977-978.
 [8] 叶瑞繁,耿庆山,陈剑,等. 医院焦虑抑郁量表与 Beck 抑郁问卷在综合医院门诊病人中评定抑郁的比较 [J]. *中国临床心理学杂志*, 2013, 21(1): 48-50.
 [9] 王红星,杨仕明. 不能忽视过敏性鼻炎患者的精神和行为障碍 [J]. *中华医学杂志*, 2015, 95(9): 709-711.

[10] 岳胜清,任贤灵,罗通勇. 变应性鼻炎对患者负性情绪影响的研究 [J]. *临床耳鼻咽喉头颈外科杂志*, 2015, 29(15): 1336-1339.
 [11] 陶泽璋,喻迪,王鹏举. 情志对变应性鼻炎的影响 [J]. *中国中西医结合耳鼻咽喉科杂志*, 2015, 23(6): 476-477.
 [12] 郭杰峰,刘萍,伍慧卿,等. SIT 对变应性鼻炎患者心理和生活质量影响的研究 [J]. *临床耳鼻咽喉头颈外科杂志*, 2016, 30(9): 712-714.
 [13] 邹志,杨婵娟,陈开容,等. 抗焦虑抑郁辅助治疗对慢性阻塞性肺疾病患者临床疗效观察 [J]. *临床肺科杂志*, 2016, 21(9): 1627-1631.

(收稿日期: 2016-10-23)