

DOI:10.3969/j.issn.1005-202X.2023.04.011

医学生物物理

## 基于统计学的生理期语音特征分析

章彩孟<sup>1</sup>, 卢涛<sup>1</sup>, 芦煜<sup>2</sup>

1. 北京中医药大学生命科学院, 北京 100029; 2. 中国中医科学院中医药信息研究所, 北京 100700

**【摘要】目的:**建立快速准确且安全无创的生理期语音监测模式。**方法:**采用中医闻声诊技术对育龄期女性进行生理期语音特征分析,分别以排卵期、月经期、痛经程度作为判别依据,筛选出可反映上述指征的差异性语音频率特征,拟建立相关回归模型。**结果:**在242项语音指标中分析得出排卵期与非排卵期、月经期与非月经期、4种痛经程度中,分别有14、11、4项语音特征指标差异具有统计学意义,其中与排卵期相关的语音特征指标为语音第五共振峰高度和最持续帧最大能量频率占时比,与月经期呈负相关的语音特征指标为最高能频段序号,与痛经程度呈正相关的语音特征指标为音阶。**结论:**育龄期女性在生理期语音呈现特征性变化,对排卵期、月经期具有一定的预测能力,对痛经程度的量化具有一定的参考价值。

**【关键词】**生理期;排卵期;月经期;语音特征

**【中图分类号】**R318;R339.2

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2023)04-0463-06

### Analysis of physiological voice characteristics based on statistics

QIN Caimeng<sup>1</sup>, LU Tao<sup>1</sup>, LU Yu<sup>2</sup>

1. School of Life Science, Beijing University of Chinese Medicine, Beijing 100029, China; 2. Institute of Information on Traditional Chinese Medicine, China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100700, China

**Abstract: Objective** To establish a rapid, accurate, safe and non-invasive mode of physiological voice monitoring. **Methods** The physiological voice characteristics of women in reproductive age were analyzed with auscultation and olfaction. The ovulatory period, menstrual period, and the degree of dysmenorrhea were used as the discriminatory basis to screen out the differential voice frequency characteristics that could reflect the above indications, and a regression model was established. **Results** Among the 242 voice indicators, there were 14, 11 and 4 voice indicators which were significantly different between ovulation and non-ovulation, menstruation and non-menstruation, and in 4 dysmenorrhea degrees, respectively. The voice resonance peak time sequence5 and the maximum energy frequency to time ratio of the most sustained frame were associated with ovulatory period; and the highest energy frequency band number was negatively associated with menstrual period; and the tone scale was positively correlated with the degree of dysmenorrhea. **Conclusion** Women of reproductive age show characteristic changes in voice during the physiological period, which has certain predictive ability for ovulation and menstruation, and has certain reference value for quantifying the degree of dysmenorrhea.

**Keywords:** physiological period; ovulatory period; menstrual period; voice feature

### 前言

女性生理周期以子宫内膜出血及排卵为标识,可将其划分为排卵期、月经期和黄体期,其中排卵期的规律性监测与受孕成功率密切相关,维护月经期

的动态平衡是提高排卵质量与生殖系统健康的重要因素<sup>[1]</sup>,因此,对生理期中的排卵期与月经期的时间节点进行动态监测,有利于反映女性生理健康。

目前对排卵期的推算方法往往基于经验评估,同时在体质差异、情致波动、疾病等因素的作用下,排卵期的精准预测存在一定的困难。目前针对月经期的监测方法有很多,体内的监测方法有B超检测、卵泡刺激素检测、黄体生成素检测<sup>[2]</sup>、心电信号检测<sup>[3]</sup>、磁共振检测<sup>[4]</sup>等,需要较专业的技术与设备,不利于长期监测与使用;体外的监测方法有体温检测、脉象诊断<sup>[5]</sup>等,由于体温具有一定的规律性,自身差异性较低,而脉象的个

**【收稿日期】**2022-12-20

**【基金项目】**国家自然科学基金青年科学基金(82104739);中国博士后科学基金(2022M723531)

**【作者简介】**章彩孟,硕士,研究方向:中医人工智能技术研发,E-mail: qincaimeng163@163.com

体差异较大,存在较大的样本差异,故基于体温与脉象的检测模式仍在完善中。目前基于声音的诊断分析技术应用于多领域中,如疲劳检测、疾病筛查等,因其样本获取途径便捷,数据容纳量庞大,可较好地平衡自身差异化与个体差异化,有利于进行长期健康监测。采用目前的检测技术针对对月经期的监测方案中,往往呈现出准确性与方便性的互斥,检测往往需要繁琐的操作过程,不利于日常使用。同时,相关的激素水平、饮食习惯、运动量等对月经的影响也无法及时定量评估,数据的相关性难以得到及时反馈;如果发生月经过程的异常,比如痛经,其比较评价方法更是依赖主观性表述,月经期的疼痛程度缺乏横向比较方法,镇痛药物的使用也存在较大的误差,因此对痛经程度的量化与监测有利于药物有效使用。因此,需要建立一种即刻的、准确的、安全的生理分期预测方法,应用于女性自主监测生理健康问题。本研究认为语音可以表征月经周期规律及其变化。原因如下:人的发音系统受到多种因素控制。激素分泌是其中最显著的一种(青春期变声即是激素的长期影响导致的永久性改变),而月经导致的激素分泌变化也会引起声音的变化。同时语音发声的过程不仅仅需要声带振动,传播过程还需要全身协调统一的振动,其中血液分布以及津液输布的变化,都会引起语音改变。此外中医诊断学中的闻声诊表明,依据声音变化,可以辨别病证。综上所述,笔者认为可以按照中医闻声诊的分析思路,利用语音分析技术对育龄期女性进行生理期语音特征分析,因此开展如下实验。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

于2022年1月~2022年3月选取受试前3个月月经周期规律的育龄期女性12名;选取连续30 d内每天一段固定模式语音信号,包含月经期、排卵期,筛选出242例语音样本,探索基于中医闻声诊断技术的数据对于生理期分期预测与痛经程度的评价能力。

**1.1.1 纳入标准** (1)年龄21~28岁;(2)月经周期24~38 d;(3)受试者本人签署知情同意书。

**1.1.2 排除标准** (1)存在月经提前、错后、妊娠等现象;(2)存在避孕药、活血化瘀药等影响生理期规律的药物服用史;(3)存在上呼吸道、咽部损伤或病变等影响发声的疾病。

### 1.2 数据采集

采集方法为连续记录自然状态下的固定语音模式。每天在固定时间录入固定诵读语音,分别以慢速长音、快速短音诵读“啊、喻、嗯”3个字。“啊”发音时,口自然大开,扁唇,舌头居中央,舌面中部略隆

起,舌尖置下齿龈,声带振动,软腭上升,关闭鼻腔通路。“喻”发音时,舌根与软腭接触,舌往后缩,舌根往上抬,打开鼻腔通路,气流从鼻腔透出成声。“嗯”发音时,舌尖及舌前部两侧先与口腔前上部完全闭合,然后舌尖抵住上齿龈,形成阻塞;软腭下降,打开鼻腔通路;气流同时到达口腔和鼻腔,在口腔中受到阻碍,气流从鼻腔透出成声。

样本采样周期为38 d,数据以MP3形式储存。记录月经期的痛经程度,疼痛等级分为0~3,0代表无疼痛感,1代表轻微疼痛感,2代表较重疼痛感,3代表疼痛难忍。筛选出包含排卵期、月经期的30 d语音样本进行后续统计学分析。

### 1.3 数据分析

数据及其样本均经中医医师核实与确认。基于Matlab 2017a平台,纳入中医闻声诊数字化系统,提取出符合临床诊断需求及人耳听觉特征的467项语音特征指标。采用SPSS 20.0统计学软件进行数据统计分析,数据以均数±标准差的方式表示,对排卵期与非排卵期、月经期与非月经期、月经期不同痛经等级的语音特征指标进行ANOVA单因素方差分析,筛选出具有统计学差异( $P<0.05$ )的语音特征指标,并对其进行逻辑回归分析,探索基于连续语音分析的生理期动态预测分析方法。构建神经网络感知模型,输入痛经分级相关差异指标,以7:3的比例将样本划分为训练集和测试集,预测痛经分级的正确性以及各指标的重要性。

## 2 结果

### 2.1 基线资料

受试志愿者为12名育龄期女性,平均年龄为25.75岁,月经期平均为5.25 d,平均身高为159.88 cm,平均体质量为48.06 kg。

### 2.2 具有统计学差异的语音特征指标

在467项语音特征指标中,区分排卵期与非排卵期(表1)、月经期与非月经期(表2)、4种痛经程度(表3)的语音中分别有14、11、4项语音特征指标差异具有统计学意义( $P<0.05$ )。语音的共振峰代表语音共同振动的能量,最大语音能量代表重音质量,二者数值趋势可反映语音产生时伴随的力量,数值偏低则反映语音产生时的力量偏低,即通俗意义上的语音乏力,是气虚的特征性表现。在月经期间,伴随激素水平的波动变化,常常可以被认为是气血多趋于供应下焦肝肾,而上焦气血供应不足导致发音无力,但这种情况的产生可能是非病理性因素所致,可能是特殊的生理因素变化所致;因此,可推测语音的共振峰、最大语音能量等数值变化越大,反映体质水平变化越大,甚至可能是致病前兆表征。

表1 排卵期与非排卵期相关差异指标( $\bar{x} \pm s$ )Table 1 Difference indicators related to ovulatory and non-ovulatory periods (*Mean±SD*)

差异指标	排卵期	非排卵期	P值
语音第五共振峰高度	8.374×10 <sup>-4</sup> ±4.649×10 <sup>-4</sup>	12.772×10 <sup>-4</sup> ±9.231×10 <sup>-4</sup>	0.012
语音第五共振峰强度	1.023±0.658	4.130±4.514	0.028
最大共振峰占比/%	36.019±38.176	64.969±82.821	0.031
语调节律波动的第一共振峰	0.226±0.203	0.408±0.340	0.001
语调节律波动的第二共振峰	0.413±0.363	0.767±0.661	0.003
语调节律波动的第三共振峰	0.682±0.455	1.285±1.049	0.003
语调节律波动的第四共振峰	0.967±0.571	1.853±1.469	0.002
最高频段能量一次趋势	0.039±0.016	0.020±0.009	0.034
音阶	1.127±1.065	3.638±3.429	0.010
单位时间内语音频域波峰数均值	4.359±4.837	14.969±13.261	0.007
单位时间内语音频域波峰数标准差	3.279±3.168	17.654±15.800	0.005
最大语音能量频段能量均值	6.301±4.166	9.558±8.240	0.011
最大语音能量频段位置标准差	0.857±1.087	6.232±5.905	0.001
最持续帧最大能量频率占比/%	10.726±10.279	28.896±36.117	0.001

表2 月经期与非月经期相关差异指标( $\bar{x} \pm s$ )Table 2 Difference indicators related to menstrual and non-menstrual periods (*Mean±SD*)

差异指标	月经期	非月经期	P值
语音音量标准差	3.014±3.035	3.119±2.793	0.026
语音第一共振峰高度	0.006±0.004	0.005±0.004	0.033
语音第二共振峰强度	2.429±1.065	2.217±1.041	0.036
语音第四共振峰强度	3.486±1.067	3.705±1.054	0.014
最高频段序号	6.800±3.324	7.831±5.213	0.001
最高第三频带位置	-0.143±1.004	-0.237±0.974	0.028
音质	4.366±1.180	4.626±0.862	0.009
单位时间内语音频域波峰数均值	13.261±4.837	14.969±4.359	0.039
语音高音颤抖程度	4.728±0.573	4.784±0.688	0.002
最大语音能量频段位置标准差	5.905±1.087	6.232±0.857	0.027
中气力度	0.977±0.323	0.952±0.357	0.003

表3 痛经分级相关差异指标( $\bar{x} \pm s$ )Table 3 Difference indicators related to the degree of dysmenorrhea (*Mean±SD*)

差异指标	0级	1级	2级	3级	P值
噪音延时趋势	-3.146±11.263	0.000±0.000	39.500±0.000	0.000±0.000	0.007
最高第二频带距离	2.743±2.758	1.000±0.000	16.000±0.000	2.000±0.000	0.001
音阶	3.714±1.178	5.000±0.000	5.000±0.000	4.667±0.577	0.030
最大语音能量频段能量均值	10.854±6.446	8.644±0.000	11.995±0.000	9.618±2.581	0.015

### 2.3 差异性语音特征指标的逻辑回归分析

对差异性语音特征指标进行逻辑回归分析,结果(表4)显示,排卵期与非排卵期的差异性语音特征

指标中有两项具有显著差异性,其中语音第五共振峰高度与排卵期的可能性呈负相关,最持续帧最大能量频率占比与排卵期的可能性呈正相关( $P<0.05$ )。

月经期与非月经期的差异性语音特征指标中仅有一项具有显著差异性,即最高能频段序号,其与月经期的可能性呈负相关( $P<0.05$ )。与痛经程度相关的

差异性语音特征指标中仅有一项具有显著差异性,即音阶,与痛经程度呈正相关( $P<0.05$ )。

表4 逻辑回归分析结果

Table 4 Results of logistic regression analysis

特征	指标	回归方程系数	P值	OR值
排卵期	语音第五共振峰高度	-2.536	0.001	0.079
	最持续帧最大能量频率占比	0.046	0.005	1.047
月经期	最高能频段序号	-2.668	0.001	0.069
痛经程度	音阶	0.278	0.041	-

语音第五共振峰高度定义为语音频谱中能量相对集中的区域由低到高的排序中排列为5的区域,反映了声道(共振腔)的物理特征;最持续帧最大能量频率占比定义为语音频谱中帧数最长片段中频率最高的帧数时长占比;最高能频段序号定义为语音频谱中按照频段由高到低的排序中排列第1的频段;音阶定义为语音频谱中由低到高排列的5种主音频率。OR值为点估计,OR>1代表该指标与事件发生的可能性呈正相关,OR<1代表该指标与事件发生的可能性呈负相关,OR=1代表该指标与事件发生无关

### 2.4 神经网络预测痛经程度

采用痛经分级相关差异指标,构建神经网络多层感知模型(图1),以7:3的比例将样本划分为训练集和测试集,预测痛经等级分类;训练模型的预测正确率为96.7%,测试结果的正确率为88.9%;此外,在该模型中,相关差异指标的重要性以最高第二频带距离和音阶最为显著(图2),权重均为100%。

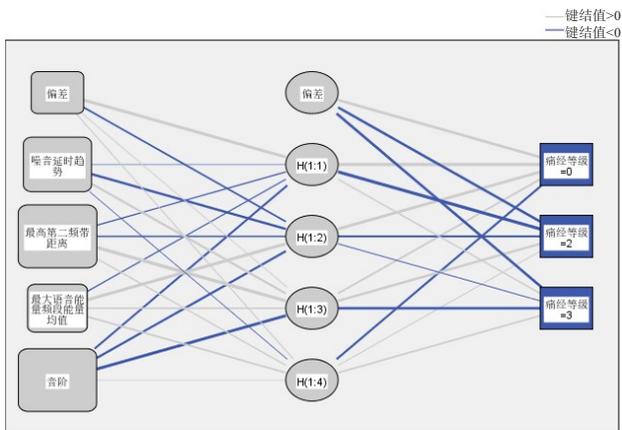


图1 神经网络模型图

Figure 1 Neural network model

左列模型输入端参数,即痛经相关差异指标;中间列为该模型的算法函数隐藏层;右列为预测输出结果,即痛经等级;各元素之间的线段代表其关联值,线段越粗则值越高

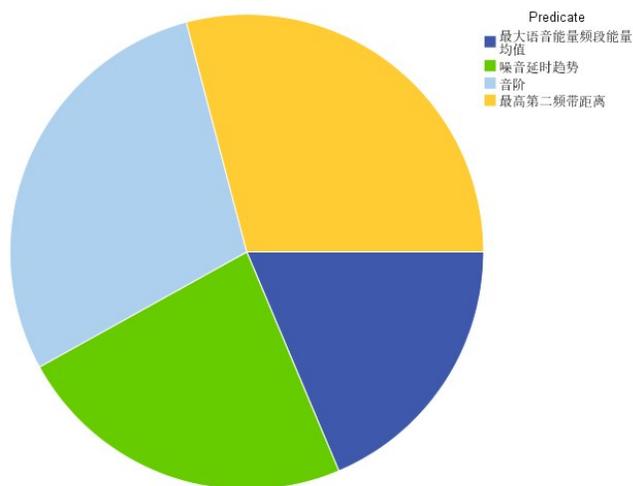


图2 差异指标在模型中的重要性

Figure 2 Importance of difference indicators in the model

预测相关的差异指标在该预测模型中的重要性(权重),音阶和最高第二频带距离均为100%,噪音延时趋势为80%,最大语音能量频段能量为64%

医疗领域中,实现了症候诊断的无创性与高效性,随着智能健康技术的发展,语音特征分析技术也逐步形成了健康评价体系<sup>[6]</sup>,如辅助诊断咽喉部损伤相关的疾病,为脑功能退行性疾病<sup>[7]</sup>、抑郁<sup>[8]</sup>等的诊断分析提供了一种新的参考依据。

经脉学说表明,喉属肺系,循喉咙的经脉有足阳明胃经、足少阴肾经,循咽的经脉有足太阴脾经、手太阳小肠经、手少阴心经,上述经脉与声音的发生密切相关。同时肾为先天之本,肾精充足而天癸至,主导女子排卵与月经来潮;脾、胃经为气血化生之源,

## 3 讨论

目前基于语音特征的诊断分析技术逐渐应用于

主导经、孕、产、乳等物质基础的形成;上述经络既是运行精气血的通道,也是联系脏腑与胞宫的桥梁,而胞宫是产生月经和孕育胎儿的重要器官,与女子月事(即生理期)的发生与进程息息相关<sup>[9]</sup>。因此,中医里的脏腑经脉学说,为生理期与声音之间的联系提供了一种可靠的理论基础。

现代研究表明,人类语音的产生涉及大脑语言中枢、声带、喉部、气道等多组织的相互作用,声带由肌肉、韧带、粘膜组成层隙结构,气流压迫其振动产生最初的声音,喉部的前庭、下咽、口咽以及呼吸道的口腔、鼻咽和鼻腔共同组成了声音传输通道<sup>[10]</sup>。其中喉部富集了大量的性激素和甲状腺激素受体,对喉部、声带、呼吸道的结构和功能都有巨大的影响<sup>[11]</sup>。由于人类语言的表达,需要联动大脑信号,声音产生于传输系统,极易受激素水平的影响<sup>[12]</sup>,如青春期时性激素和生长激素处于快速上升并周期性波动的特殊时期,青少年的嗓音易发生显著的改变<sup>[13]</sup>,形成了变声期;而老年期的性激素水平日渐衰减,易产生显著的嗓音老年化改变。而雌激素与黄体酮协同作用产生了女性声音特征<sup>[14]</sup>,因此,性激素水平的动态变化极易导致语音的动态改变<sup>[15]</sup>。研究表明,月经周期中孕酮水平的变化可影响喉部血管变化<sup>[16]</sup>,鼻黏膜的变化与雌激素的增加有关<sup>[17-18]</sup>,雌二醇水平降低则直接影响语音张力与抖动参数<sup>[19]</sup>。早期,临床上因激素水平改变导致的疾病患者声音呈现出明显变化<sup>[20]</sup>,结合医生的感知评估和患者自我评估等主观语音分析表明青春期女性在月经周期不同阶段的语音特征呈现显著变化;女性在排卵前以更高、更可变的基本频率说话<sup>[21]</sup>;因声音采集技术和声学参数分析技术的差异,研究表明,对青少年女性卵泡期和黄体期以及中老年女性绝经期的声学改变难以捕捉到显著的语音指标<sup>[22-23]</sup>,而随着声学分析技术的革新,已有研究评估了健康成年妇女月经周期3个阶段的声音分析参数的规范值<sup>[24]</sup>,可用于改善临床评估和筛选<sup>[25]</sup>。

语音的产生源于声带的振动,文字的发音在人体腔体产生共振,本研究中选取“啊、喻、嗯”作为代表音分别在鼻腔、胸腔、腹腔产生共振,同时对应中医里的上焦、中焦、下焦,联络全身脏腑气机。女子下焦的天癸每月循而复地变化,构成了月经期与排卵期的周期性变化,同时导致上焦、中焦的气机随之变化,致上焦气血津液发生阴虚火旺等改变,对声音的产生造成一定的影响。本研究以语音特征分析出发,探索女性月经周期内的语音变化特征,其中最高能频段序号、语音第五共振峰高度等声音频率特

征可为排卵期、月经期的判别预测提供参考依据,音阶的变化程度可反映痛经程度,上述结果为这生理期与声音之间的联系提供了实际参考依据,为临床上对主观痛经进行了客观的量化呈现,同时基于语音特征分析可建立一种即刻的、准确的、安全的生理分期预测方法,有利于女性自主监测生理健康问题。

## 【参考文献】

- [1] 郑友红,王沂峰.正常月经周期子宫内膜变化及机制[J].山东医药,2016,56(7):90-91.  
Zheng YH, Wang QF. Endometrial changes and mechanisms in normal human menstrual cycle[J]. Shandong Medical Journal, 2016, 56(7): 90-91.
- [2] 蒋冉,王成宝.化学发光法检测性激素六项在妇科疾病诊断中的应用价值评价[J].中国实用医药,2022,17(8):101-103.  
Jiang R, Wang CB. Evaluation of the application value of six items of sex hormone detected by chemiluminescence method in the diagnosis of patients with gynecological diseases[J]. China Practical Medicine, 2022, 17(8): 101-103.
- [3] 冯砚瑜,唐诚,陆娟,等.女性生理周期心电图T波改变的特点及临床意义[J].海南医学,2017,28(2):235-237.  
Feng YY, Tang C, Lu J, et al. Characteristics and clinical significance of changes of electrocardiogram T-wave in female physiologic cycle[J]. Hainan Medical Journal, 2017, 28(2): 235-237.
- [4] 王萍,徐萍,黎规典.育龄女性正常子宫周期性磁共振成像表现[J].临床医学工程,2015,22(10):1276-1277.  
Wang P, Xu P, Li GD. Periodic MRI findings of normal uterus in reproductive age female[J]. Clinical Medicine & Engineering, 2015, 22(10): 1276-1277.
- [5] 王新宇.基于脉搏的女性生理期分析与识别[D].北京:北京邮电大学,2020.  
Wang XY. Analysis and classification of feminine menstrual circle based on pulse signal[D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2020.
- [6] 林旭赞.基于声音的病例特征提取与分析[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2016.  
Lin XY. Voice pathologic feature extraction and analysis[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2016.
- [7] 张力元.声音诊断系统关键技术研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2016.  
Zhang LY. Key techniques of voice diagnosis system[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2016.
- [8] 刘振宇.基于语音的抑郁识别方法及关键技术研究[D].兰州:兰州大学,2017.  
Liu ZY. Research on method and key technology for depression recognition based on speech[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2017.
- [9] 杨洪艳,顾植山.三阴三阳开阖枢理论对月经周期理论新解[J].中国中医基础医学杂志,2016,22(11):1457-1459.  
Yang HY, GU ZS. New chinese medicine insights to menstrual cycle according to theory of "open, close and axis of Three Yin and Three Yang"[J]. Journal of Basic Chinese Medicine, 2016, 22(11): 1457-1459.
- [10] Zamponi V, Mazzilli R, Mazzilli F, et al. Effect of sex hormones on human voice physiology: from childhood to senescence[J]. Hormones (Athens), 2021, 20(4): 691-696.
- [11] 庄佩耘,刘昉逸.内分泌激素与嗓音[J].山东大学耳鼻喉眼学报,2021,35(3):5-9.  
Zhuang PY, Liu YY. Hormones and voice [J]. Journal of Otolaryngology and Ophthalmology of Shandong University, 2021, 35(3): 5-9.
- [12] Hari Kumar KV, Garg A, Ajai Chandra NS, et al. Voice and endocrinology[J]. Indian J Endocrinol Metab, 2016, 20(5): 590-594.
- [13] 罗红强,徐晓扬.青少年变声期发音异常的防治观察[J].现代中西医结合杂志,2004,13(22):2982-2983.  
Luo HQ, Xu XY. Observations on the prevention and treatment of

- pronunciation abnormalities in adolescents during voice change[J]. *Modern Journal of Integrated Traditional Chinese and Western Medicine*, 2004, 13(22): 2982-2983.
- [14] Plexico LW, Sandage MJ, Kluess HA, et al. Blood plasma hormone-level influence on vocal function[J]. *J Speech Lang Hear Res*, 2020, 63(5): 1376-1386.
- [15] Çelik Ö, Çelik A, Ateşpare A, et al. Voice and speech changes in various phases of menstrual cycle[J]. *J Voice*, 2013, 27(5): 622-626.
- [16] Shoffel-Havakuk H, Carmel-Neiderman NN, Halperin D, et al. Menstrual cycle, vocal performance, and laryngeal vascular appearance: an observational study on 17 subjects[J]. *J Voice*, 2018, 32(2): 226-233.
- [17] Philpott CM, El-Alami M, Murty GE. The effect of the steroid sex hormones on the nasal airway during the normal menstrual cycle[J]. *Clin Otolaryngol Allied Sci*, 2004, 29(2): 138-142.
- [18] Robinson AM, Philpott CM, Gaskin JA, et al. The effect of female hormone manipulation on nasal physiology[J]. *Am J Rhinol*, 2007, 21(6): 675-679.
- [19] Arruda P, da Rosa MR, Almeida LN, et al. Vocal acoustic and auditory-perceptual characteristics during fluctuations in estradiol levels during the menstrual cycle: a longitudinal study[J]. *J Voice*, 2019, 33(4): 536-544.
- [20] Hannoun A, Zreik T, Hussein ST, et al. Vocal changes in patients with polycystic ovary syndrome[J]. *J Voice*, 2011, 25(4): 501-504.
- [21] Fischer J, Semple S, Fickenscher G, et al. Do women's voices provide cues of the likelihood of ovulation? The importance of sampling regime [J]. *PLoS One*, 2011, 6(9): e24490.
- [22] Meurer EM, Wender MC, Von Eye Corleta H, et al. Phono-articulatory variations of women in reproductive age and postmenopausal[J]. *J Voice*, 2004, 18(3): 369-374.
- [23] Meurer EM, Garcez V, Von Eye Corleta H, et al. Menstrual cycle influences on voice and speech in adolescent females[J]. *J Voice*, 2009, 23(1): 109-113.
- [24] Tatar EC, Sahin M, Demiral D, et al. Normative values of voice analysis parameters with respect to menstrual cycle in healthy adult turkish women[J]. *J Voice*, 2016, 30(3): 322-328.
- [25] Chae SW, Choi G, Kang HJ, et al. Clinical analysis of voice change as a parameter of premenstrual syndrome[J]. *J Voice*, 2001, 15(2): 278-283.

(编辑:薛泽玲)