

doi: 10.3969/j.issn.1672-4933.2025.03.012

阻塞性睡眠呼吸暂停儿童听功能评估及模型构建

Assessment of Auditory Function and Predictive Model Construction in Children with Obstructive Sleep Apnea

邹怡^{1,2} 陆颖霞² 宇文奇² 张旭¹

ZOU Yi, LU Ying-xia, YUWEN Qi, ZHANG Xu

【摘要】目的 通过对阻塞性睡眠呼吸暂停(obstructive sleep apnea, OSA)儿童的听力效果进行评估,建立基于机器学习方法的OSA儿童听力损失预测模型。**方法** 选择经多导睡眠监测诊断为OSA的儿童为研究对象,其中轻度组64耳、中重度组96耳。同期体检的健康儿童为对照组,共94耳。对所有受试者进行听功能评估。采用支持向量机、逻辑回归、朴素贝叶斯3种机器学习方法建立OSA儿童听力损失预测模型并选出最优模型。**结果** ①3组气导听阈在0.25~2 kHz差异无统计学意义;4 kHz及以上高频和扩展高频差异具有统计学意义($P<0.05$)。②3组畸变产物耳声发射(DPOAE)幅值在0.75~3 kHz差异无统计学意义;在4、6、8 kHz差异具有统计学意义($P<0.05$)。③3组ABR I波、Ⅲ波潜伏期及I~Ⅲ波间期差异无统计学意义;V波潜伏期及Ⅲ~V、I~V波间期差异具有统计学意义($P<0.05$)。④基于朴素贝叶斯方法构建的OSA儿童听力损失模型为最优预测模型。⑤模型特征重要性排名显示,重要的影响因素为最低血氧饱和度和氧降指数。**结论** 儿童OSA与听力损失存在显著关联,低氧血症的严重程度是导致OSA儿童听力损失的关键因素。

【关键词】 阻塞性睡眠呼吸暂停;儿童;听力损失;机器学习

【中图分类号】 R764.5

【文献标识码】 A

【文章编号】 1672-4933(2025)03-0276-05

【Abstract】Objective This study aims to assess the auditory function in children with obstructive sleep apnea (OSA) and to construct a machine learning-based predictive model for hearing loss in pediatric OSA patients. **Methods** Children diagnosed with OSA through polysomnography (PSG) were enrolled as study subjects, categorized into a mild group (64 ears) and a moderate-to-severe group (96 ears). A control group of 94 ears from healthy children undergoing routine physical examinations during the same period was also included. Comprehensive auditory function assessments were conducted on all the participants. Three machine learning methods: Support Vector Machine, Logistic Regression, and Naive Bayes were employed to construct predictive models for hearing loss in children with OSA. The optimal model was selected based on performance metrics. **Results** ① No significant differences were observed in hearing thresholds at 0.25-2 kHz across the three groups. However, significant differences were noted at frequencies ≥ 4 kHz and in the extended high-frequency range ($P<0.05$). ② Distortion product otoacoustic emission (DPOAE) amplitudes showed no significant differences at 0.75-3 kHz but exhibited significant variations at 4, 6 and 8 kHz ($P<0.05$). ③ Auditory brainstem response (ABR) measurements revealed no significant differences in Wave I and III latencies or the I-III interpeak interval. However, significant differences were observed in Wave V latency and the III-V and I-V interpeak intervals ($P<0.05$). ④ The Naive Bayes-based model demonstrated superior performance in predicting hearing loss in children with OSA. ⑤ Feature importance analysis identified the lowest oxygen saturation and oxygen desaturation index as the most influential predictors of hearing loss. **Conclusion** This study establishes a significant association between OSA and hearing loss in children, with the severity of hypoxemia emerging as a critical determinant. The Naive Bayes-based predictive model offers a robust tool for identifying hearing loss risk in pediatric OSA patients, highlighting the importance of early intervention and monitoring.

【Key words】 Obstructive sleep apnea; Children; Hearing loss; Machine learning

儿童阻塞性睡眠呼吸暂停(obstructive sleep apnea, OSA)是指睡眠过程中频繁发生部分或完全上气道阻塞,干扰儿童的正常通气和睡眠结构而引起的一系列病理生理变化^[1]。OSA儿童睡眠过程中由于频繁发生呼吸暂停

及低通气,导致低氧血症、高碳酸血症和睡眠片段化,最终造成神经系统、心血管系统、内分泌系统等损害,出现一系列并发症^[2]。由于耳蜗与听觉神经对血氧有较高的依赖性,OSA导致的机体缺氧可能导致听力下降^[3]。然

作者单位:1 首都医科大学生物医学工程学院 北京 100069

2 首都医科大学附属首都儿童医学中心 北京 100020

作者简介:邹怡 硕士在读 主管技师;研究方向:小儿听力学

通讯作者:张旭, E-mail: zhangxu@ccmu.edu.cn

而目前对OSA患者听力损失特征的研究结论不尽一致,特别是对儿童造成听力影响的研究少见。临床需要采用更先进的方法对其风险进行预测,早发现并对儿童进行听力干预。机器学习融合了计算机科学、统计学、人工智能等多个学科^[4]。近年来,基于机器学习方法建立预测模型已广泛应用于临床多个领域^[5-7],但国内目前尚未有基于机器学习构建OSA儿童听力损失的风险预测模型。为探究儿童OSA与听力损失之间的潜在联系,本研究对OSA儿童进行听力学评估,并基于机器学习方法构建预测模型,旨在为临床医师提供有价值的参考,以期优化对OSA儿童听力状况的管理与干预策略。

1 资料与方法

1.1 临床资料

本研究对象为2024年5月~2024年12月因睡眠打鼾、张口呼吸在我科入院进行腺样体和/或扁桃体切除手术的儿童。纳入标准:①近6个月在本院经多导睡眠监测(polysomnography, PSG)诊断为阻塞性睡眠呼吸暂停儿童。诊断标准^[8]:依据阻塞性呼吸暂停低通气指数(obstructive apnea hypopnea index, OAHl)将OSA儿童分为轻度组($1<OAHl\leq 5$)、中重度组($OAHl>5$)两组。②双侧鼓室图为A型,声反射正常引出。③年龄3~12周岁。排除标准:①主观无法配合完成检查。②有听力下降史、噪音暴露史、耳及颌面部畸形、神经系统疾病史及慢性疾病史。正常对照组儿童选取同期体检并由家长证实无睡眠打鼾,无耳科相关症状的同年龄段儿童。双侧鼓室图为A型,声反射正常引出。

本研究获得首都儿科研究所伦理委员会批准(SHERLL2024041)。所有8岁以下研究对象家属签署知情同意书;8岁以上研究对象本人及家属均签署知情同意书。

1.2 听功能评估方法

所有听功能评估均在背景噪声 <30 dB(A)的隔声室测试,具体为:(1)纯音测听/小儿行为测听应用美国GSI公司Audiostar pro诊断型听力计,佩戴TDH-50P标准耳机及Sennheiser HDA300高频耳机。所有受试者骨气导差均应小于10 dB HL。记录0.25、0.5、1、2、4、6、8、9、10、11.2、12.5 kHz的气导阈值^[9]。(2)耳声发射测试应用丹麦Madsen公司Capella耳声发射仪。记录0.75、1、1.5、2、3、4、6、8 kHz的畸变产物耳声发射(DPOAE)幅值。(3)听性脑干诱发电位(auditory brainstem response, ABR)测试应用丹麦Otometrics公司Chartr EP听觉诱发电位仪。采用插入式耳机给声,刺激声为短声,强度为80 dB nHL,记录ABR的I、III、V波潜伏期及I~III、III~V、I~V波间期。

1.3 机器学习方法

依据2021年WHO听力损失分级及相关文献^[10,11],听力损失定义为言语频率(0.5、1、2、4 kHz)听阈平均值 ≥ 20 dB HL;高频(4、6、8 kHz)听阈平均值 ≥ 20 dB HL,满足任意一项即可。建立OSA儿童听力损失数据集,按照是否存在听力损失为样本赋值,阴性为“0”,阳性为“1”。

使用FeAture Explorer(FAE)软件进行数据集预处理及预测模型建立和评价。将数据集中的所有样本按照7:3的比例随机分为训练集和测试集。为了消除训练数据集的不平衡,使用合成少数类过采样技术使正负样本平衡。使用五折交叉验证法评估模型在训练集上的性能,寻找最优超参数。选择测试集受试者工作特征曲线下面积(area under the curve, AUC)作为评价模型的最终指标。

1.4 统计学方法

采用SPSS 27.0统计软件,计量资料以 $\bar{x}\pm s$ 表示。3组受试者性别比例结果采用卡方检验;其他一般情况及听力评估结果采用单因素方差分析,事后多重比较使用最小显著差异(least significant difference, LSD)法。机器学习特征变量的筛选采用两个独立样本 t 检验。单因素方差分析及 t 检验各组均满足方差齐性。检验水平 $\alpha=0.05$, $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般情况

最终纳入轻度OSA组32例(64耳)、中重度OSA组48例(96耳)、正常对照组47例(94耳)。3组受试者性别比例卡方检验结果为 $\chi^2=0.299$, $P=0.861$,性别差异无统计学意义($P>0.05$)。年龄、身体质量指数(body mass index, BMI)经单因素方差分析,差异均无统计学意义($P>0.05$),见表1。

表1 3组一般资料情况($\bar{x}\pm s$)

	轻度OSA 组($n=32$)	中重度OSA 组($n=48$)	正常对照 组($n=47$)	F	P
男	21	30	28		
女	11	18	19		
年龄(岁)	7.28 $\pm$ 2.38	7.69 $\pm$ 2.63	6.98 $\pm$ 3.04	1.606	0.203
BMI	17.54 $\pm$ 4.20	18.55 $\pm$ 3.18	17.23 $\pm$ 4.21	2.976	0.053

2.2 听力学评估

2.2.1 纯音测听/小儿行为测听 经单因素方差分析,轻度OSA组、中重度OSA组、正常对照组,在0.25~2 kHz听阈差异无统计学意义($P>0.05$);在4 kHz及以上高频和扩展高频,3组听阈差异有统计学意义($P<0.05$)。事后多

重比较,在4 kHz频率,中重度OSA组听阈高于轻度OSA组及正常对照组,差异具有统计学意义($P<0.05$),轻度OSA组和正常对照组听阈差异无统计学意义($P>0.05$);在6 kHz及以上频率,听阈中重度OSA组高于轻度OSA组,轻度OSA组高于正常对照组,差异均具有统计学意义($P<0.05$),见表2。

3组各频率听阈平均值及标准差如图1所示,正常对照组听阈随着频率升高呈现提升趋势;而轻度OSA组及中重度OSA组听阈在低、中频率保持一定好转后,分别在6 kHz和4 kHz出现听力下降情况。

2.2.2 畸变产物耳声发射 经单因素方差分析,在0.75~3 kHz,DPOAE幅值差异无统计学意义($P>0.05$);在4、6、8 kHz,DPOAE幅值差异具有统计学意义($P<0.05$)。事后多重比较,在4、6 kHz,中重度OSA组DPOAE幅值低于轻度OSA组及正常对照组,差异具有统计学意义($P<0.05$),轻度OSA组和正常对照组DPOAE幅值差异无统计学意义($P>0.05$);在8 kHz频率,DPOAE幅值中重度OSA组低于轻度OSA组、轻度OSA组低于正常对照组,差异均具有统计学意义($P<0.05$),见表3。

2.2.3 听性脑干诱发电位 经单因素方差分析,ABR I波、III波潜伏期及I~III波间期差异无统计学意义($P>0.05$);V波潜伏期及III~V、I~V波间期3组差异具有统

计学意义($P<0.05$)。事后多重比较,中重度OSA组V波潜伏期及III~V、I~V波间期大于轻度OSA组及正常对照组,差异具有统计学意义($P<0.05$),轻度OSA组和正常对照组V波潜伏期及III~V、I~V波间期差异无统计学意义($P>0.05$),见表4。

2.3 机器学习法构建预测模型

本研究共纳入160耳,其中存在听力损失58耳,不存在听力损失102耳。经两个独立样本 t 检验显示,两组在年龄、BMI方面差异无统计学意义($P>0.05$);在腺样体肥大程度、平均血氧饱和度、最低血氧饱和度、睡眠效率、呼吸紊乱指数、氧降指数、打鼾时间7方面,差异具有统计学意义($P<0.05$),见表5。将以上因素作为特征变量,用于构建OSA儿童听力损失预测模型。研究的结局事件为听力损失发生/不发生。

基于支持向量机(support vector machine, SVM)、逻辑回归(logistic regression, LR)、朴素贝叶斯(native bayes, NB)方法建立3个模型。3种模型的训练集和测试集ROC曲线见图2(A)。3种模型的测试集评价指标见表6,以测试集AUC值作为模型的最终评价指标,AUC值越大,模型的预测性能越好。本研究发现NB模型在测试集上获得的AUC值最高,为0.803,其特征重要性排名见图2(B)。

表2 3组各频率气导听阈比较($\bar{x}\pm s$, dB HL)

频率(kHz)	轻度OSA组(n=64)	中重度OSA组(n=96)	正常对照组(n=94)	F	P
0.25	16.25±3.45 ^a	16.30±4.18 ^a	16.22±3.64 ^a	0.010	0.990
0.5	14.84±3.08 ^a	15.52±3.80 ^a	15.16±3.23 ^a	0.771	0.464
1	12.81±3.20 ^a	12.86±3.61 ^a	12.18±4.05 ^a	0.962	0.384
2	12.42±4.36 ^a	12.55±4.29 ^a	12.02±3.69 ^a	0.423	0.655
4	11.72±3.59 ^b	14.90±5.80 ^a	10.21±4.69 ^b	22.321	<0.001**
6	16.09±6.14 ^b	17.92±5.70 ^a	10.85±5.27 ^c	39.108	<0.001**
8	15.94±5.97 ^b	20.57±5.93 ^a	8.78±5.17 ^c	103.833	<0.001**
9	16.09±5.08 ^b	20.00±5.43 ^a	8.35±4.60 ^c	129.763	<0.001**
10	16.88±5.31 ^b	20.47±4.76 ^a	8.46±4.46 ^c	154.507	<0.001**
11.2	17.58±5.91 ^b	20.16±5.50 ^a	8.62±4.60 ^c	121.060	<0.001**
12.5	18.67±5.51 ^b	21.41±4.51 ^a	6.86±4.58 ^c	238.164	<0.001**

注:a、b、c为事后多重比较的字母标记法;相同字母的组别间无显著性差异($P>0.05$);不同字母的组别间有显著性差异($P<0.05$),下同;* $P<0.05$,** $P<0.01$,下同

表3 3组各频率DPOAE幅值比较($\bar{x}\pm s$, dB SPL)

频率(kHz)	轻度OSA组(n=64)	中重度OSA组(n=96)	正常对照组(n=94)	F	P
0.75	5.31±4.34 ^a	4.53±4.28 ^a	5.34±5.16 ^a	0.899	0.408
1	9.59±4.28 ^a	7.78±5.44 ^a	8.82±6.41 ^a	2.132	0.121
1.5	12.78±6.04 ^a	12.14±4.85 ^a	13.30±5.25 ^a	1.134	0.323
2	12.83±4.51 ^a	11.46±4.35 ^a	12.73±4.86 ^a	2.423	0.091
3	14.55±5.40 ^a	13.23±3.97 ^a	14.61±4.82 ^a	2.514	0.083
4	19.36±5.50 ^a	11.12±5.64 ^b	19.53±5.16 ^a	70.389	<0.001**
6	19.29±6.02 ^a	10.53±5.68 ^b	19.79±5.10 ^a	79.199	<0.001**
8	17.76±5.86 ^b	8.92±4.66 ^c	19.70±5.67 ^a	106.156	<0.001**

表4 3组ABR各波潜伏期及波间期比较($\bar{x} \pm s$, ms)

	轻度OSA 组(n=64)	中重度OSA 组(n=96)	正常对照 组(n=94)	F	P
I波潜伏期	1.57±0.11 ^a	1.57±0.11 ^a	1.57±0.12 ^a	0.095	0.909
III波潜伏期	3.77±0.15 ^a	3.79±0.17 ^a	3.78±0.13 ^a	0.140	0.869
V波潜伏期	5.52±0.19 ^b	5.74±0.15 ^a	5.49±0.16 ^b	63.955	<0.001**
I-III波间期	2.21±0.14 ^a	2.21±0.17 ^a	2.21±0.14 ^a	0.030	0.970
III-V波间期	1.74±0.15 ^b	1.96±0.16 ^a	1.71±0.16 ^b	68.908	<0.001**
I-V波间期	3.95±0.17 ^b	4.17±0.18 ^a	3.92±0.16 ^b	58.548	<0.001**

表5 OSA儿童听力损失影响因素t检验结果

	听力损失组 (N=58)	听力未损失 组(N=102)	t	P
年龄(岁)	7.86±2.59	7.33±2.49	-1.272	0.205
BMI	18.17±2.92	18.13±4.01	-0.072	0.943
腺样体肥大程度	0.75±0.07	0.67±0.10	-6.308	<0.001**
平均血氧饱和度(%)	95.72±1.88	96.78±1.10	3.925	<0.001**
最低血氧饱和度(%)	80.07±10.06	89.20±3.75	6.652	<0.001**
睡眠效率(%)	81.99±12.86	88.99±8.41	3.715	<0.001**
呼吸紊乱指数	33.00±28.87	9.25±9.39	-6.084	<0.001**
氧降指数	34.51±30.93	8.22±9.00	-6.324	<0.001**
打鼾时间(年)	2.90±2.19	1.86±1.26	-3.292	0.001**

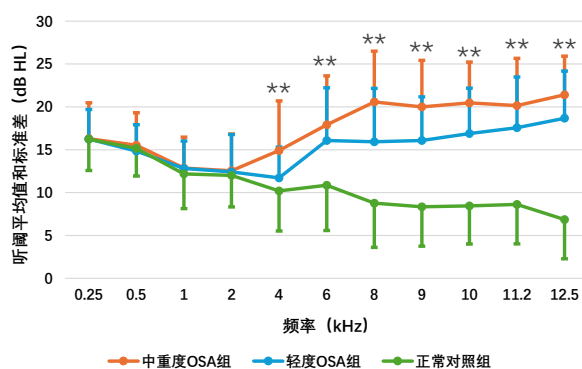


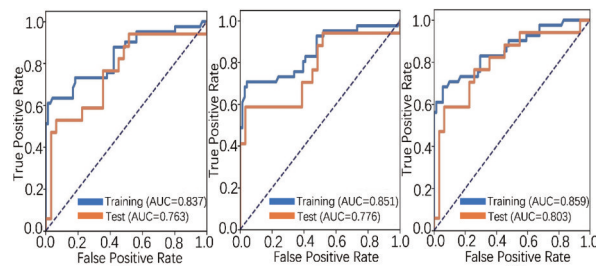
图1 3组各频率听阈平均值及标准差

**表示 $P < 0.01$

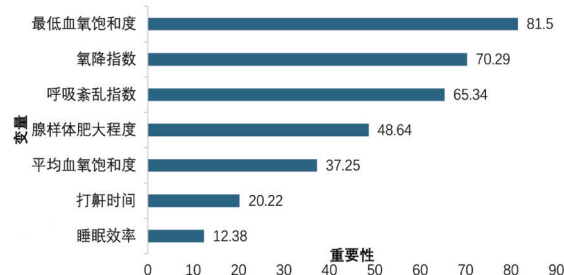
3 讨论

大量研究肯定了OSA与听力损失之间存在相关性^[12~15],但OSA患者出现听力下降的频率不一致。这种不一致是由于OSA的严重程度导致^[16]。同时上述研究缺乏对OSA儿童扩展高频的测试。本研究纯音测听结果发现,不同程度OSA对儿童听力产生不同影响。中重度OSA儿童在4~12.5 kHz扩展高频存在显著听力下降,轻度OSA儿童在6~12.5 kHz扩展高频存在显著听力下降,更明确的反映出OSA儿童听觉系统的早期损伤。

耳声发射可以反映耳蜗外毛细胞的功能状态。与正常对照组儿童比较,中重度OSA儿童DPOAE幅值在4、6、8 kHz均显著降低。轻度组OSA儿童在8 kHz幅值显著降低。原因可能是OSA儿童的耳蜗慢性缺氧会损害耳



(A) 3种模型训练集和测试集的ROC曲线



(B) NB模型特征重要性排名

图2 机器学习方法构建预测模型结果

表6 3种模型测试集评价指标

指标	SVM	LR	NB
AUC	0.763	0.776	0.803
准确性	0.792	0.833	0.813

蜗外毛细胞,从而影响耳蜗功能。这与很多学者的研究一致^[17,18]。

Li等^[18]在重度OSA患者中检测到高频听力损失,表现为ABR的I、V波潜伏期延长。本研究发现,与轻度OSA组和正常对照组比较,中重度OSA儿童的V波潜伏期及III~V、I~V波间期显著延长。动物研究指出,缺血缺氧后,动物表现出ABR潜伏期延长^[19]。中重度OSA儿童存在较为严重的夜间缺氧,这可能成为其ABR潜伏期及波间期延长的原因。

本研究进一步应用机器学习方法建立了3种模型并进行评价,最终选择AUC值最高(0.803)的NB模型对OSA儿童听力损失进行预测。从NB模型特征重要性排序可以看出,排名前2位的依次是最低血氧饱和度和氧降指数。氧降指数反应睡眠时血氧饱和度下降程度的变化。两者能最大程度反映睡眠过程中低氧血症的严重程度,说明睡眠过程中低氧血症的严重程度是影响OSA儿童听力损失的重要因素。呼吸暂停持续时间是导致听力损失的关键因素^[20]。呼吸暂停持续时间延长是慢性低氧的标志。严重OSA患者耳蜗Corti器的基部存在选择性听路损伤,最低血氧饱和度、氧降指数以及氧饱和度低于90%的睡眠时间被认为是潜在的导致损伤的促成因素^[21]。目前研究人员更多支持慢性间歇性低氧对耳蜗存

在损伤是导致OSA患者听力损失的主要机制。由于内耳、耳蜗、听神经接受终动脉供血,没有侧支循环,所以易受缺氧的影响^[22]。耳蜗Corti器的毛细胞根据其音调排列对声音频率做出反应,高频声音在外围记录,特别是在Corti器的底部。该外围由没有吻合口的末端小动脉供应,因此可能比远离中央回的视网膜区域对氧气波动更敏感^[23]。OSA儿童夜间出现反复发作的呼吸暂停可导致大脑血液循环和耳蜗的缺血性改变,引起高频段听力损失,并随着OSA严重程度的增加,逐渐向较低频率延伸。除此之外,打鼾噪声也可能是引起OSA患者听力损失的机制^[24]。大鼠实验证明,噪音和缺氧的结合会导致高频编码区外毛细胞损失70%~100%,甚至内毛细胞部分流失^[25]。

4 结论与展望

本研究发现OSA儿童在高频及扩展高频出现听力损失。OSA越严重,出现听力损失的频率越低。应用机器学习方法建立的NB模型为预测OSA儿童听力损失的最优模型,其特征重要性排名提示夜间低氧血症的严重程度是导致OSA儿童听力损失的关键因素。为进一步辅助临床预测OSA儿童听力损失的风险,未来应增加模型的外部验证,更好地评估其泛化能力;同时纳入多中心数据以扩大样本量,提升模型的普适性。

参考文献

- [1] 中华耳鼻咽喉头颈外科杂志编委会,中华医学会耳鼻咽喉科学分会. 儿童阻塞性睡眠呼吸暂停低通气综合征诊疗指南草案(乌鲁木齐)[J]. 中华耳鼻咽喉头颈外科杂志,2007,42(2):83-84.
- [2] 刘静,常丽,曹玲. 儿童阻塞性睡眠呼吸暂停的研究进展[J]. 中国医刊, 2021, 56(7): 717-720.
- [3] Chen CK, Shen SC, Lee LA, et al. Idiopathic Sudden Sensorineural Hearing Loss in Patients with Obstructive Sleep Apnea[J]. Nat Sci Sleep, 2021, 13: 1877-1885.
- [4] 刘康,刘稳,周鹏,等. 基于不同算法预测模型在阻塞性睡眠呼吸暂停低通气综合征中的比较[J]. 中国耳鼻咽喉头颈外科,2023,30(7): 467-470.
- [5] Silva GFS, Fagundes TP, Teixeira BC, et al. Machine Learning for Hypertension Prediction: a Systematic Review[J]. Curr Hypertens Rep, 2022,24(11):523-533.
- [6] Song X, Liu X, Liu F, et al. Comparison of machine learning and logistic regression models in predicting acute kidney injury: A systematic review and meta-analysis[J]. Int J Med Inform,2021,151: 104484.
- [7] Smith LA, Oakden-Rayner L, Bird A, et al. Machine learning and deep learning predictive models for long-term prognosis in patients with chronic obstructive pulmonary disease: a systematic review and meta-analysis[J]. Lancet Digit Health,2023,5(12):e872-e881.
- [8] 倪鑫. 中国儿童阻塞性睡眠呼吸暂停诊断与治疗指南(2020)[J]. 中国循证医学杂志,2020,20(8):883-900.
- [9] GB/T 16296.1-2018,声学 测听方法 第1部分:纯音气导和骨导测听法[S].
- [10] World Health Organization. World report on hearing [R/OL]. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240020481>.2021-03-03.
- [11] Emmett SD, Platt A, Gallo JJ, et al. Prevalence of Childhood Hearing Loss in Rural Alaska[J]. Ear Hear,2023,44(5):1240-1250.
- [12] Chopra A, Jung M, Kaplan RC, et al. Sleep Apnea Is Associated with Hearing Impairment: The Hispanic Community Health Study/Study of Latinos[J]. J Clin Sleep Med,2016,12(5):719-726.
- [13] Kasemsuk N, Chayopasakul V, Banhiran W, et al. Obstructive Sleep Apnea and Sensorineural Hearing Loss: A Systematic Review and Meta-analysis[J]. Otolaryngol Head Neck Surg,2023,169(2):201-209.
- [14] Wang C, Xu F, Chen M, et al. Association of Obstructive Sleep Apnea-Hypopnea Syndrome with hearing loss: A systematic review and meta-analysis[J]. Front Neurol,2022,13:1017982.
- [15] Chauhan P, Guleria TC, Sharma S, et al. Obstructive Sleep Apnea and Hearing Loss: Is There Any Correlation? [J]. Int Arch Otorhinolaryngol, 2022,27(3):e435-e439.
- [16] Kayabasi S, Hizli O, Yildirim G. The association between obstructive sleep apnea and hearing loss: a cross-sectional analysis[J]. Eur Arch Otorhinolaryngol,2019,276(8):2215-2221.
- [17] Matsumura E, Matas CG, Sanches SGG, et al. Severe obstructive sleep apnea is associated with cochlear function impairment[J]. Sleep Breath, 2018,22(1):71-77.
- [18] Li X, Chen WJ, Zhang XY, et al. Inner ear function in patients with obstructive sleep apnea[J]. Sleep Breath,2020,24(1):65-69.
- [19] Daniel SJ, McIntosh M, Akinpelu OV, et al. Hearing outcome of early postnatal exposure to hypoxia in Sprague-Dawley rats [J]. Laryngol Otol,2014,128(4):331-335.
- [20] Jo YS, Lee JM. Assessing the impact of apnea duration on the relationship between obstructive sleep apnea and hearing loss[J]. PLoS One,2024,19(12):e0315580.
- [21] Vorlová T, Dlouhá O, Kemlink D, et al. Decreased perception of high frequency sound in severe obstructive sleep apnea[J]. Physiol Res, 2016,65(6):959-967.
- [22] İriz A, Düzlü M, Köktürk O, et al. The effect of obstructive sleep apnea syndrome on the central auditory system[J]. Turk J Med Sci,2018,48 (1):5-9.
- [23] Ficker JH, Feistel H, Möller C, et al. Changes in regional CNS perfusion in obstructive sleep apnea syndrome: initial SPECT studies with injected nocturnal 99mTc-HMPAO[J]. Pneumologie, 1997, 51(9): 926-930.
- [24] Ekin S, Turan M, Arisoy A, et al. Is There a Relationship Between Obstructive Sleep Apnea (OSA) and Hearing Loss? [J]. Med Sci Monit, 2016,22:3124-3128.
- [25] Chen GD. Effect of hypoxia on noise-induced auditory impairment[J]. Hearing research,2002,172(1-2):186-195.

收稿日期 2025-01-24

责任编辑 蒋 春