

前庭导水管综合征儿童声能传递特点及机器学习模型构建*

木怡^{1,2} 蒋雯^{1,2,3,4} 林欢^{1,2} 岳昱宏⁴ 乔月华^{1,2,3,4} 刘稳^{1,2,3,4}

[摘要] 目的:探讨大前庭导水管综合征(large vestibular aqueduct syndrome, LVAS)儿童的声能传递特点,以及基于宽频声导抗(wideband acoustic immittance, WAI)和机器学习(machine learning, ML)技术的 LVAS 诊断模型构建。方法:回顾性分析 38 例(76 耳)LVAS 儿童和 44 例(88 耳)听力正常儿童的病史、听力检查、颞骨 CT 扫描和 WAI 测试结果。对 WAI 可解释变量进行统计分析,并构建多变量诊断模型。结果:2 组在耳别、性别、年龄等因素上差异均无统计学意义($P>0.05$)。LVAS 组在 1 000~2 519 Hz 的吸收率显著低于对照组,而在 4 000~6 349 Hz 的吸收率显著高于对照组($P<0.05$)。WBA 在 5 039 Hz 的环境压力下具有一定的诊断价值(AUC=0.767)。多变量诊断模型具有较高的诊断价值(AUC>0.8),其中 K-Nearest Neighbor(KNN)模型表现最佳(AUC=0.961)。结论:LVAS 儿童的声能传递特点与正常儿童有显著差异,基于 WAI 和 ML 技术的诊断模型具有较高的准确性和可靠性,为 WAI 测试的智能化诊断提供了新思路和方法。

[关键词] 大前庭导水管综合征;宽频声导抗;机器学习

DOI:10.13201/j.issn.2096-7993.2024.03.005

[中图分类号] R322.9 [文献标志码] A

Wideband acoustic immittance characteristics and machine learning-based diagnostic model for children with large vestibular aqueduct syndrome

MU Yi^{1,2} JIANG Wen^{1,2,3,4} LIN Huan^{1,2} YUE Yuhong⁴
QIAO Yuehua^{1,2,3,4} LIU Wen^{1,2,3,4}

(¹The Otolaryngology Department of the Affiliated Hospital of Xuzhou Medical University, Xuzhou, 221000, China; ²The Medical Technology College of Xuzhou Medical University; ³Jiangsu Artificial Hearing Engineering Laboratory; ⁴The Second Clinical Medical College of Xuzhou Medical University)

Corresponding author: JIANG Wen, E-mail: wen.jiang@xzhmu.edu.cn

Abstract Objective: This study was to investigate the wideband acoustic immittance(WAI) characteristics of children with large vestibular aqueduct syndrome(LVAS) and to construct a diagnostic model for LVAS based on WAI and machine learning(ML) techniques. **Methods:** We performed a retrospective analysis of the data from 38 children(76 ears) with LVAS and 44 children(88 ears) with normal hearing. The data included conventional audiological examination, temporal bone CT scan and WAI test. We performed statistical analysis and developed multivariate diagnostic models based on different ML techniques. **Results:** The two groups were balanced in terms of ear, gender, and age($P>0.05$). The wideband absorbance(WBA) of the LVAS group was significantly lower than that of the control group at 1 000-2 519 Hz, while the WBA of the LVAS group was significantly higher than that of the control group at 4 000-6 349 Hz($P<0.05$). WBA at 5 039 Hz under ambient pressure had a certain diagnostic value(AUC=0.767). The multivariate diagnostic model had a high diagnostic value(AUC>0.8), among which the KNN model performed the best(AUC=0.961). **Conclusion:** The WAI characteristics of children with LVAS are significantly different from those of normal children. The diagnostic model based on WAI and ML techniques has high accuracy and reliability, and provides new ideas and methods for intelligent diagnosis of LVAS.

Key words large vestibular aqueduct syndrome; wideband acoustic immittance; machine learning

*基金项目:江苏省研究生科研与实践创新计划项目(No:KYCX23_2940)

¹徐州医科大学附属医院耳鼻咽喉科(江苏徐州,221000)

²徐州医科大学医学技术学院

³江苏省人工听觉工程实验室

⁴徐州医科大学第二临床医学院

通信作者:蒋雯,E-mail:wen.jiang@xzhmu.edu.cn

大前庭导水管综合征 (large vestibular aqueduct syndrome, LVAS) 是一种常见的先天性内耳畸形,其特征是前庭导水管 (vestibular aqueduct, VA) 的扩大和内淋巴囊 (endolymphatic sac, ES) 的增大^[1]。LVAS 是导致儿童感音神经性聋的重要原因之一,其发病率为 0.1%~1.2%。LVAS 患者的听力损失通常为进行性、波动性或突发性,且常伴有眩晕、耳鸣等前庭症状^[2]。但目前 LVAS 的病因尚不明确,可能与遗传、感染、创伤、免疫等因素有关。在临床中, LVAS 的诊断主要依赖于颞骨薄层 CT 扫描,根据 VA 在中耳段的最大横截面直径是否超过 1.5 mm 来判断^[1]。然而,这种诊断方法存在一些局限性,首先,CT 扫描对儿童有辐射危害,对于有诱发因素的儿童,研究发现患中枢神经系统肿瘤、白血病和淋巴瘤的风险会大大增加^[3]。其次,CT 扫描不能反映 LVAS 患者的声能传递特点和听力功能变化、CT 扫描不能区分 LVAS 患者和正常人的 ES 大小,以及 CT 扫描对 VA 直径的测量存在主观性和误差等^[4]。因此,寻找一种无创、快速、准确、可重复的测试方法为临床诊断 LVAS 提供参考,具有重要的临床意义。

宽频声导抗 (wideband acoustic immittance, WAI) 是一种新型的中耳功能检查方法,它可以测量中耳在宽频范围内 (226~8 000 Hz) 对声能的反射和吸收情况,反映中耳系统在不同频率下的阻抗特性^[5]。WAI 可以提供更多和更细致的中耳声能传递信息,比传统的 226 Hz 声导抗检查更能敏感地检测中耳病变和听力损失。近年来,WAI 已被用于评估各种中耳疾病,如中耳炎、鼓室积液、鼓膜穿孔、鼓室成形术后等^[6-7]。然而,关于 WAI 在 LVAS 诊断中的应用和价值,目前还缺乏系统的研究^[8]。

机器学习 (machine learning, ML) 是一种利用计算机程序从数据中学习规律和模式的技术,它可以处理复杂、高维、非线性的数据,提高数据分析的效率和精度。机器学习在医学领域有广泛的应用,如图像识别、生物标志物筛选、疾病诊断和预后等^[9]。机器学习可以从 WAI 数据中提取有效的特征和信息,构建可靠的诊断模型,实现 WAI 测试的智能化诊断。

本研究基于 WAI 和 ML 技术,旨在探讨 LVAS 儿童的声能传递特点,并建立可靠的 LVAS 诊断模型,尝试为 WAI 测试的临床应用和 LVAS 的无创筛查与辅助诊断提供新思路和方法。

1 资料与方法

1.1 研究对象

本研究为回顾性分析,收集 2019 年 1 月至 2022 年 12 月在我科就诊的 LVAS 儿童和同期招募听力正常儿童志愿者的相关资料。本次研究获得徐州医科大学附属医院伦理委员会讨论并且批准 (No: XYFY2021-KL133-01)。所有儿童的监护人同意参与本研究并签署知情同意书。

LVAS 组:38 例 (76 耳),年龄 3~14 岁,听力损失程度为轻度至极重度。耳镜显示外耳道洁净,鼓膜完整,标志清楚;脑干诱发电位 (auditory brainstem response, ABR) 或多频稳态诱发电位 (steady state auditory evoked potential, ASSR) 显示听力损失;声导抗鼓室图:226 Hz 为 A 型曲线,且外耳道体积正常;CT 确诊为前庭导水管扩张,前庭导水管出口直径 ≥ 1.5 mm;无其他内耳畸形或中耳病变或影响听力的全身性疾病或用药史。对照组:44 例 (88 耳),年龄 3~14 岁,听力正常。耳镜显示外耳道洁净,鼓膜完整,标志清楚;听力正常,如纯音测听 [条件性游戏测听 (conditioned play audiometry, CPA)] 气导阈值 < 20 dB HL,耳声发射 (全频率 SNR ≥ 6 且 DP 值 ≥ -10) 通过;声导抗鼓室图:226 Hz 为 A 型曲线 (峰压为 $-100 \sim +100$ daPa),且外耳道体积正常;无其他可能影响中耳状态的疾病史。

1.2 研究方法

LVAS 儿童均进行了病史采集、听力学检查和颞骨薄层 CT 扫描,其中听力学检查包括:ABR, ASSR、畸变产物耳声发射 (distortion product otoacoustic emission, DPOAE) (Neuro-Audio), 226 Hz 声导抗 (OTOflex) 和宽频声导抗 WAI (Titan IMP440)。正常儿童进行耳镜检查、226 Hz 声导抗检查、耳声发射测试、纯音测听 (6~14 岁) 及宽频声导抗。3~5 岁儿童,由 CPA 替代纯音测听。

WAI 测试:使用 Interacoustics Titan 型仪器,对所有符合要求的研究对象进行 WAI 测试。测试时将探头置于外耳道口处确保密封后,以 226 Hz 为基准频率,给声强度 85 dB SPL,在 $-600 \sim +200$ daPa 的压力范围内,采用 226~8 000 Hz 的混合短声作为刺激声 (107 个频率点) 数据采集以声能吸收率的形式表达,并通过吸收率-频率-压力曲线变化来反映中耳功能。测试过程中,要求研究对象保持安静和不动,以避免噪声和运动干扰。其中 WAI 测量了所有受试者环境压力下和峰值压力下的声能吸收率、导纳幅值和导纳相位,为了获得可靠的结果,至少进行 3 次 WAI 测量,每次测量重新安装探头。

1.3 统计学方法

使用 SPSS 23.0 软件对一般资料进行分析,对研究对象的基本情况和检查结果进行描述性分析,使用 $\bar{X} \pm S$ 、频数、% 等统计量表示。组间比较采用 t 或 Mann-Whitney U 检验,比较 2 组在各项指标上的差异,采用 χ^2 检验或 Fisher 精确检验比较 2 组在性别、耳别等分类变量上的差异,双侧检验。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

多变量诊断模型:基于 IBM SPSS modeler 18.0 软件进行构建。将数据以 8 : 2 随机划分为训练集与测试集。训练集用于模型的训练的样本

集,测试集则是对于已训练好的分类器进行性能评估的样本集。将经数据筛选后的变量作为输入变量,是否患 LVAS 作为结局变量(否=0,是=1),使用随机森林(Random forest,RF)、C5.0 决策树(C5.0 decision tree,C5.0)、K 最近邻(k nearest neighbor,KNN)、BP(back propagation)神经网络等机器学习算法,基于从 WAI 数据库中提取的指标(如吸收率、导纳幅值和相位等),构建 LVAS 的多变量诊断模型。使用 10 折交叉验证法评估模型在训练集上的性能,使用准确率(accuracy)、灵敏度(sensitivity)、特异度(specificity)、受试者工作特征曲线下面积(area under the receiver operating characteristic curve,AUC)等指标表示。选择 AUC 最高的模型作为最优模型,并在测试集上验证其性能。受试者工作特征曲线(receiver operating characteristic curve,ROC),纵坐标表示真阳性率(灵敏度),横坐标为假阳性率(1-特异度),AUC 值则表示 ROC 曲线所覆盖的面积,可用于评价模型优劣,AUC<0.5,无诊断价值,0.5≤AUC<0.7,有较低的诊断价值;0.7≤AUC<0.9,有一定的诊断价值,AUC≥0.9 为具有较高的诊断价值。

2 结果

2.1 一般情况

经过筛选,本研究最终纳入 LVAS 组 76 耳、对

照组 88 耳,2 组在耳别、性别、年龄等因素比较,差异无统计学意义($P>0.05$),见表 1。

表 1 LVAS 组与对照组基线资料比较

项目	正常组	LVAS 组	<i>P</i>
年龄/岁	5.56±3.48	4.47±2.94	0.135
性别/例(%)			0.443
男	24(54.55)	23(60.53)	
女	20(45.45)	15(39.47)	
耳别/例(%)			0.665
左	42(47.78)	38(50.00)	
右	46(52.22)	38(50.00)	

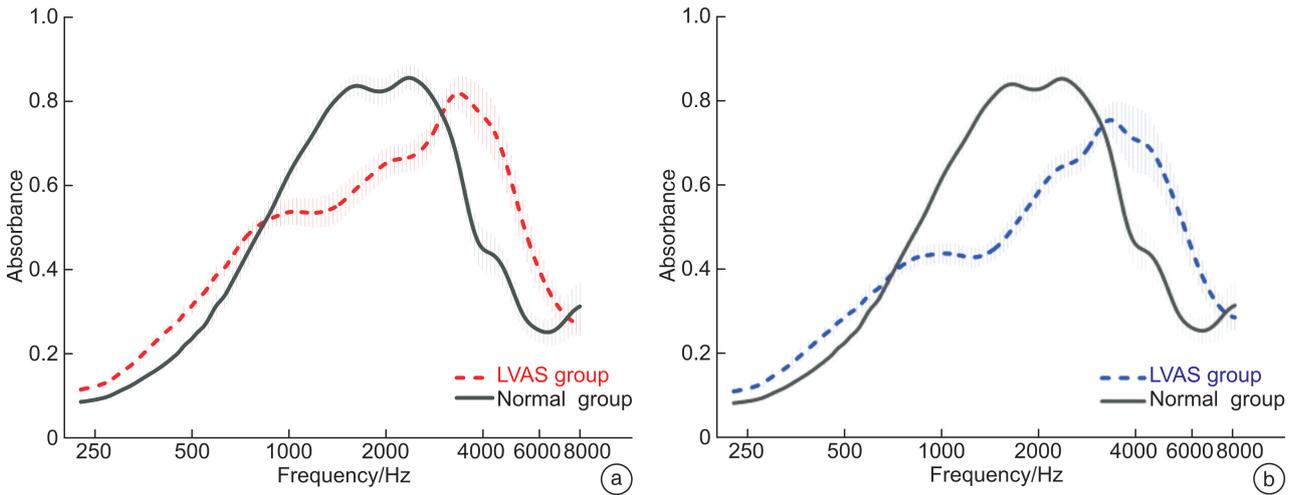
2.2 WAI 测试结果的组间比较

在峰值压力和环境压力下,LVAS 组在 1 000~2 519 Hz 的吸收率显著低于对照组,而在 4 000~6 349 Hz 的吸收率显著高于对照组($P<0.05$)。峰值压力下,LVAS 组在 226 Hz 的导纳幅值高于正常组;环境压力下,LVAS 组在 226 Hz 处的导纳幅值也高于正常组但 1 000 Hz 处导纳幅值低于正常组($P<0.05$)。而对于峰值压力与环境压力下 226~1 000 Hz 处的导纳相位信息,LVAS 耳与正常耳间差异无统计学意义($P>0.05$),见表 2、图 1。

表 2 LVAS 组与对照组的 WBA、YM 和 YP 比较

频率/Hz	峰值压力			环境压力			$\bar{X} \pm S$
	对照组	LVAS 组	<i>P</i>	对照组	LVAS 组	<i>P</i>	
WBA							
226	0.10±0.46	0.12±0.06	0.191	0.10±0.05	0.11±0.06	0.218	
324	0.15±0.07	0.17±0.09	0.135	0.14±0.06	0.16±0.09	0.126	
385	0.20±0.08	0.22±0.10	0.081	0.18±0.08	0.20±0.10	0.124	
500	0.28±0.11	0.30±0.12	0.198	0.25±0.10	0.27±0.12	0.389	
629	0.37±0.13	0.40±0.15	0.138	0.34±0.12	0.35±0.14	0.545	
793	0.50±0.15	0.52±0.16	0.533	0.47±0.14	0.45±0.16	0.480	
1 000	0.64±0.15	0.59±0.17	0.046	0.60±0.15	0.51±0.18	<0.001	
1 259	0.73±0.13	0.60±0.17	<0.001	0.71±0.14	0.53±0.18	<0.001	
1 587	0.78±0.13	0.61±0.18	<0.001	0.79±0.13	0.56±0.19	<0.001	
2 000	0.80±0.16	0.64±0.18	<0.001	0.80±0.16	0.62±0.20	<0.001	
2 519	0.77±0.20	0.67±0.19	0.001	0.76±0.20	0.67±0.20	0.002	
3 174	0.66±0.23	0.70±0.19	0.180	0.65±0.23	0.69±0.20	0.254	
4 000	0.43±0.24	0.63±0.29	<0.001	0.43±0.24	0.62±0.29	<0.001	
5 039	0.33±0.19	0.52±0.26	<0.001	0.33±0.19	0.52±0.26	<0.001	
6 349	0.22±0.13	0.37±0.21	<0.001	0.22±0.13	0.38±0.21	<0.001	
8 000	0.26±0.19	0.31±0.19	0.063	0.26±0.19	0.32±0.19	0.053	
YM							
226	1.29±0.43	1.50±0.62	0.011	1.24±0.37	1.40±0.61	0.032	
678	3.54±1.11	3.90±2.04	0.155	3.40±1.04	3.52±2.00	0.606	
800	4.20±1.27	4.53±3.04	0.362	4.07±1.22	4.15±3.26	0.814	
1 000	5.21±1.71	4.77±2.33	0.146	5.14±1.72	4.47±2.65	0.044	
YP							
226	1.34±0.07	1.35±0.09	0.313	1.35±0.09	1.34±0.11	0.799	
678	1.05±0.20	1.01±0.22	0.248	1.08±0.21	1.05±0.22	0.324	
800	0.94±0.25	0.89±0.29	0.237	2.45±9.56	0.96±0.28	0.145	
1 000	2.22±9.58	4.47±15.03	0.237	2.29±9.54	3.07±11.74	0.625	

WBA:宽频吸收率;YM:导纳幅值;YP:导纳相位。



a:峰值压力;b:环境压力。

图 1 LVAS 组与对照组 WBA 比较

WAI 可解释特征的诊断价值分析:使用 ROC 曲线分析 WAI 测试结果在诊断 LVAS 方面的价值,见表 3,发现峰值、环境压力下的 WBA 在 4 000~6 349 Hz 处的 AUC 均 >0.7,表明此频率范围内的 WBA 具有一定的诊断价值,其中 WBA 在 5 039 Hz 的环境压力下具有最高的诊断价值(AUC = 0.767)见图 2。

表 3 WAI 可解释特征的诊断价值分析

考核指标	AUC	Cut-off 值	灵敏度	特异度
WBA_{TPP}/Hz				
1 000	0.415	-1.000	1.000	<0.001
1 259	0.252	-1.000	1.000	<0.001
1 587	0.198	-1.000	1.000	<0.001
2 000	0.208	0.985	0.013	0.989
2 519	0.318	0.475	0.921	0.126
4 000	0.754	0.556	0.724	0.736
5 039	0.767	0.495	0.658	0.828
6 349	0.734	0.305	0.632	0.828
YM_{TPP}/Hz				
226	0.343	1.830	1.000	0.011
WBA₀/Hz				
1 000	0.340	-1.000	1.000	<0.001
1 259	0.171	-1.000	1.000	<0.001
1 587	0.126	-1.000	1.000	<0.001
2 000	0.190	-1.000	1.000	<0.001
2 519	0.333	0.515	0.855	0.161
4 000	0.736	0.670	0.592	0.851
5 039	0.765	0.469	0.671	0.793
6 349	0.743	0.271	0.737	0.736
YM₀/Hz				
226	0.366	7.090	0.026	1.000
1 000	0.279	1.635	1.000	0.023
共振频率	0.652	930.500	0.472	0.841

WBA_{TPP}:峰值压力下的吸收率;WBA₀:环境压力下的吸收率;YM_{TPP}:峰值压力下的导纳幅值;YM₀:环境压力下的导纳幅值。

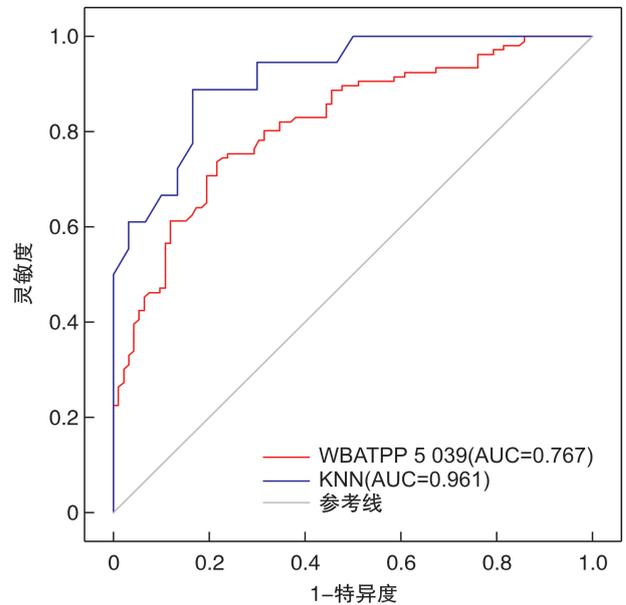


图 2 ROC 曲线分析

2.3 多变量诊断模型的构建和评估

使用 C5.0、RF、KNN、BP 神经网络机器学习算法,基于从 WAI 数据库中提取的指标,构建 LVAS 的多变量诊断模型,见表 4、表 5。使用 10 折交叉验证法评估模型在训练集上的性能,发现训练后的分类模型 C5.0,AUC 达到 0.858,具有一定的诊断价值;RF、KNN 及 BPNN 模型 AUC 均达到 0.900 以上,具有较高的诊断价值。其中 KNN 模型具有最高的 AUC(0.961),见图 2。

表 4 模型准确率汇总表

模型	训练集	测试集	%
C5.0	93.02	80.00	
RF	93.02	85.00	
KNN	83.72	83.50	
BP	91.47	77.50	

表5 模型在测试集上的模型评价

模型	灵敏度/%	特异度/%	AUC
C5.0	95.00	95.00	0.858
RF	80.77	75.00	0.916
KNN	95.24	94.74	0.961
BP	95.50	87.70	0.919

3 讨论

本研究主要探讨了 LVAS 儿童的声能传递特点,并基于 WAI 和 ML 方法建立了 LVAS 的辅助诊断模型。首先,研究发现 LVAS 儿童的声能传递特点与正常儿童存在显著差异,LVAS 儿童在 1 000~2 519 Hz 中频段的 WBA 显著低于正常儿童,而在 4 000~6 349 Hz 高频段的 WBA 显著高于正常儿童。这种差异可能与 LVAS 儿童内淋巴囊大小和内淋巴压力的异常有关,进而影响到中耳系统的声能传递机制。例如,在中低频段,WBA 的降低可能是因为内耳压力变化影响到前庭窗和蜗窗的生理特性,以及听骨链和附着在其上的听骨韧带的劲度^[10]。中耳腔的驻波共振现象也可能导致中高频段 WBA 的升高^[11-12]。这一发现与先前的研究结果一致,进一步证实了 WAI 能有效地反映 LVAS 儿童的声能传递异常^[13]。

其次,在单变量分析中发现峰值和环境压力下 4 000~6 349 Hz 的 WBA 吸收率 AUC 均达到 0.700 以上,特别是在 5 039 Hz 处,AUC 达到了 0.767,显示出较好的诊断区分能力。这一点与多变量模型的发现相一致,表明 WBA 能综合反映中耳系统在不同压力条件下的声能反射和吸收,从而更准确地揭示 LVAS 儿童的声能传递特点^[14]。

此外,基于 WAI 和机器学习技术的诊断模型具有较高的准确性和可靠性,本研究采用的基于特征的机器学习模型 AUC 均达到了 0.8 以上,其中 RF、KNN 与 BP 神经网络模型的 AUC 达到 0.9 以上,表明其具有优异的分类性能。这可能与机器学习技术可以从复杂、高维、非线性的 WAI 数据中提取有效的特征和信息,构建可靠的诊断模型有关^[15],实现 WAI 测试的智能化诊断。这一结果为 WAI 测试的临床应用提供了新思路和方法,为 LVAS 的无创、快速、准确的诊断提供了新工具和新途径。

本研究首次利用 ML 技术结合 WAI 进行 LVAS 儿童声能传递特点分析和诊断模型构建的研究,拓展了 WAI 测试和 ML 技术在耳科领域的应用范围和深度。并使用了多种 ML 算法和神经网络模型,比较了不同模型在诊断 LVAS 方面的性能和优化策略,为选择最优模型提供了依据和参考。将 WAI 多变量参数作为整体进行分析,而不是仅仅使用单个指标或参数,更充分地利用了 WAI 数据中包含的信息,提高了诊断效率和精度。

本研究还存在着一些不足,即本研究为回顾性

分析,样本量相对较小,可能存在选择偏倚和混杂因素的影响,需要在更大的样本量和更多的中心进行前瞻性研究,以验证本研究的结果;仅使用了 WAI 作为诊断指标,未考虑其他可能影响 LVAS 诊断的因素,如听力损失程度、内耳结构异常、遗传因素等,需要在未来的研究中进行综合分析,以提高诊断的全面性和准确性;仅使用了部分基于特征的机器学习模型,未比较其他可能更适合 WAI 数据的神经网络模型与深度学习模型,如 VGG、Inception、DenseNet 等^[16]。

4 结论

本研究发现 LVAS 儿童的声能传递特点与正常儿童有显著差异,WAI 测试结果在诊断 LVAS 方面具有较高的价值,基于 WAI 和 ML 技术的诊断模型具有较高的准确性和可靠性,为 WAI 测试的临床应用和 LVAS 的无创诊断提供了新思路和方法,但仍需相关领域的学者在未来的研究中进行探索和优化,以提高模型的性能和稳定性。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 黄丽辉.大前庭导水管综合征精准诊断研究进展[J].中华耳鼻咽喉头颈外科杂志,2022,57(9):1135-1139.
- [2] 曹波,刘广平.大前庭水管综合征听力学研究进展[J].国际耳鼻咽喉头颈外科杂志,2022,46(3):162-167.
- [3] Buchberger B,Scholl K,Krabbe L,et al. Radiation exposure by medical X-ray applications[J]. Ger Med Sci,2022,20:Doc06.
- [4] Connor SEJ,Dudau C,Pai I,et al. Is CT or MRI the optimal imaging investigation for the diagnosis of large vestibular aqueduct syndrome and large endolymphatic sac anomaly? [J]. Eur Arch Otorhinolaryngol,2019,276(3):693-702.
- [5] 刘洁,蒋雯,林欢,等.梅尼埃病患者宽频声导抗测试特点初步研究[J].临床耳鼻咽喉头颈外科杂志,2021,35(12):1068-1072.
- [6] 徐继峰,蒋雯,刘洁,等.宽频声导抗在中耳胆脂瘤与慢性化脓性中耳炎鉴别诊断中的价值[J].临床耳鼻咽喉头颈外科杂志,2022,36(5):376-381.
- [7] Hunter LL,Keefe DH,Feeney MP,et al. Wideband acoustic immittance in children with Down syndrome: prediction of middle-ear dysfunction,conductive hearing loss and patent PE tubes. Int J Audiol. 2017 Sep; 56(9):622-634.
- [8] 丁璐,王晨露,史文迪.大前庭水管综合征患者鼓膜吸收率特征初探[J].中华耳科学杂志,2021,19(1):16-20.
- [9] 吴妍,何白慧,沈敏,等.神经网络分析梅尼埃病患者的宽频声导抗特点[J].临床耳鼻咽喉头颈外科杂志,2022,36(9):685-690.
- [10] Shahnaz N,Aithal S,Bargen GA. Wideband Acoustic Immittance in Children[J]. Semin Hear,2023,44(1):46-64.

在眩晕患者中的应用效果良好,能够改善患者肢体运动与平衡能力,减轻患者心理焦虑,提高患者康复治疗效果与依从性,操作简单安全,具有临床推广价值。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

[1] 白文婷,王雯,庄建华.改良 Epley 法与传统 Epley 法治疗后半规管良性阵发性位置性眩晕的疗效比较[J].现代中西医结合杂志,2020,29(3):301-304.

[2] Yu J, Huang YB, Wang J. [The efficacy and strategy of individualized vestibular rehabilitation in patients with intractable vertigo][J]. Zhonghua Yi Xue Za Zhi, 2021, 101(26):2044-2049.

[3] 刘安定,李祖德.健脾化痰安神治疗眩晕患者的疗效及对血清炎症因子,血栓素 B2 及血小板凝集率的影响[J].血栓与止血学,2020,26(6):921-923.

[4] Heydari M, Ahadi M, Jalaei B, et al. The Additional Effect of Vestibular Rehabilitation Therapy on Residual Dizziness After Successful Modified Epley Procedure for Posterior Canal Benign Paroxysmal Positional Vertigo[J]. Am J Audiol, 2021, 30(3):535-543.

[5] 吴佳妮,陈志凌,乔祖康,等.前庭康复训练改善良性阵发性位置性眩晕复位后残余症状的疗效分析[J].中国中西医结合耳鼻咽喉科杂志,2021,29(6):414-417.

[6] 中华医学会神经病学分会,中华神经科杂志编辑委员会.眩晕诊治专家共识[J].中华神经科杂志,2010,43(5):369-374.

[7] Hernández ED, Forero SM, Galeano CP, et al. Intra- and inter-rater reliability of Fugl-Meyer Assessment of Lower Extremity early after stroke[J]. Braz J Phys Ther, 2021, 25(6):709-718.

[8] Rodríguez-Mayoral O, Peña-Nieves A, Allende-Pérez S, et al. Comparing the Hospital Anxiety and Depression Scale to the Brief Edinburgh Depression Scale for identifying cases of major depressive disorder in advanced cancer palliative patients-CORRIGENDUM [J]. Palliat Support Care, 2021, 19(1):126.

[9] Eagle SR, Feder A, Manderino LM, et al. Concurrent validity of the Vestibular/Ocular Motor Screening

(VOMS) tool with the Dizziness Handicap Inventory (DHI) among adolescents with vestibular symptoms/impairment following concussion [J]. Phys Ther Sport, 2022, 53:34-39.

[10] Phiri P, Malunga SS, Phiri LS. Health-Related Quality of Life of Nurses Caring for Hospitalised Children and Their Families: A National Cross-Sectional Study[J]. J Pediatr Nurs, 2021, 61(3):157-165.

[11] 杨琪,朱文娟.前庭康复训练改善良性阵发性位置性眩晕复位后残余症状的疗效分析[J].中国中西医结合耳鼻咽喉科杂志,2019,27(05):340-343.

[12] Ajmal H, Sharif F, Shakeel H, et al. Berg Balance Scale as a clinical screening tool to check fall risk among healthy geriatric community[J]. Rawal Medical Journal, 2021, 46(1):209-211.

[13] 姜睿璇,吕肖玉,曹振汤,等.神经内科急诊室急性头晕/眩晕临床特征及病因分析[J].中国卒中杂志,2021,16(9):909-914.

[14] 吴海燕,王素菊,高志强,等.中枢性阵发性位置性眩晕的初步分析[J].中华耳鼻咽喉头颈外科杂志,2020,55(8):754-759.

[15] 陈建勇,孙夏雨,沈佳丽,等.原发性良性阵发性位置性眩晕患者 VEMP 异常率的临床观察[J].山东大学耳鼻喉眼学报,2020,34(5):51-55.

[16] 史帆,宋文慧,刘昌文,等.前庭诱发肌源电位评价颈性眩晕与前庭功能的相关性[J].中国骨伤,2022,35(2):148-152.

[17] 谭惠燕.前庭训练联合倍他司汀对良性阵发性位置性眩晕手法复位后残余症状的疗效[J].实用医学杂志,2021,37(17):2262-2265.

[18] 林晨珏,席淑新,王璟.前庭康复训练对前庭外周性眩晕患者眩晕残障症状的改善作用[J].中华医学杂志,2020,100(32):2503-2506.

[19] 葛畅,席淑新.前庭功能障碍患者基于微信平台的个性化前庭康复管理[J].护理学杂志,2020,35(10):86-89.

[20] 程美玲,马学英,袁桂敏,等.基于微信平台的前庭康复训练在中枢性眩晕患者中的应用[J].齐鲁护理杂志,2022,28(3):74-77.

(收稿日期:2023-06-13 修回日期:2023-07-26)

(上接第 211 页)

[11] McCreery RW, Grindle A, Merchant GR, et al. Predicting wideband real-ear-to-coupler differences in children using wideband acoustic immittance[J]. J Acoust Soc Am, 2023, 154(2):991-1002.

[12] Groon KA, Rasetshwane DM, Kopun JG, et al. Air-leak effects on ear-canal acoustic absorbance[J]. Ear Hear, 2015, 36(1):155-163.

[13] Li A, Du H, Gao J, et al. Characteristics of large vestibular aqueduct syndrome in wideband acoustic immittance[J]. Front Neurosci, 2023, 17:1185033.

[14] Zhang L, Wang J, Grais EM, et al. Three-dimensional wideband absorbance immittance findings in young a-

dults with large vestibular aqueduct syndrome[J]. Laryngoscope Investig Otolaryngol, 2022, 8(1):236-244.

[15] Ngiam KY, Khor IW. Big data and machine learning algorithms for health-care delivery[J]. Lancet Oncol, 2019, 20(5):e262-e273.

[16] Duan B, Xu Z, Pan L, et al. Prediction of Hearing Prognosis of Large Vestibular Aqueduct Syndrome Based on the PyTorch Deep Learning Model[J]. J Healthc Eng, 2022, 2022:4814577.

(收稿日期:2023-07-14 修回日期:2023-09-28)