

logistic 回归联合 ROC 曲线评价 IT-MAIS 得分 在预测 0~36 月龄婴幼儿听力损失 程度中的诊断价值*

顾海玲¹ 孔维丽¹ 尹晓玲¹ 尹慧琳¹ 姜皓腾² 郑芸¹

[摘要] 目的:比较正常听力和不同程度听力损失婴幼儿的早期语前听能发展轨迹,并探讨婴幼儿有意义听觉整合量表(IT-MAIS)得分在 0~36 月龄婴幼儿听力损失程度中的诊断价值。方法:收集 2009 年 3 月-2021 年 3 月 231 名听力正常和 611 名不同程度听力损失患儿的临床资料。对不同程度听力损失患儿 IT-MAIS 得分随年龄的变化进行非线性回归拟合。分别构建 IT-MAIS 总得分、察觉得分与辨识得分与评估年龄联合的三种 logistic 回归模型,绘制 ROC 曲线,评价诊断效能。结果:轻、中、重、极重度患儿 IT-MAIS 得分随年龄的变化规律和正常听力婴幼儿的发育规律相似,均随年龄的增长而增长,且听力损失程度越严重,增长速率越缓慢,能达到的峰值越低。联合 IT-MAIS 总得分和评估年龄构建的 logistic 模型区分轻度及以上、中度及以上、重度及以上和极重度的 AUC 最佳,分别为 0.827,0.889,0.948,0.946。对于极重度听力损失患儿的诊断效能最优,敏感度为 89.6%,特异度为 88.4%。听力损失程度越重,IT-MAIS 的区分准确性越高,诊断效能越佳。结论:基于 IT-MAIS 量表构建的 logistic 模型联合 ROC 曲线法在鉴别 0~36 月龄婴幼儿听力损失程度诊断中有良好的诊断效能。当婴幼儿无法配合小儿行为测听、小儿测听结果不可靠、没有电生理条件时,IT-MAIS 量表有望用于辅助预估婴幼儿听力损失程度,更加全面地了解患儿的听功能状态,为后续制定康复干预策略提供依据,具有一定的临床应用价值。

[关键词] 婴幼儿;听力损失;量表;ROC 曲线

DOI:10.13201/j.issn.2096-7993.2022.02.007

[中图分类号] R764.43 **[文献标志码]** A

Diagnostic value of IT-MAIS scores by logistic regression and ROC curve in predicting the degree of hearing loss in infants and toddlers aged 0—36 months

GU Hailing¹ KONG Weili¹ YIN Xiaoling¹ YIN Huilin¹
JIANG Haoteng² ZHENG Yun¹

(¹Hearing Center/Hearing and Speech Science Laboratory, Department of Otolaryngology Head and Neck Surgery, West China Hospital of Sichuan University, Chengdu, 610041, China; ²West China Hospital Rehabilitation Center, Sichuan University)

Corresponding author: ZHENG Yun, E-mail: 1141679315@qq.com

Abstract Objective: This study is in order to compare the early prelingual auditory development trajectory of infants and toddlers with normal hearing and different degrees of hearing loss, and to explore the value of the Infant-Toddler Meaningful Auditory Integration Scale (IT-MAIS) scores in the diagnosis of hearing loss severity in infants and toddlers aged 0—36 months. **Methods:** Eight hundred and forty-two cases of infant-toddler from March 2009 to March 2021 were selected as participants, including 231 cases with normal hearing and 611 cases with hearing loss. The IT-MAIS scores of participants with different degrees of hearing loss were fitted with non-linear regression with age. By respectively constructing three logistic regression models of IT-MAIS total scores,

*基金项目:四川省科技计划项目(No:2020YFS0112)

¹四川大学华西医院耳鼻咽喉头颈外科听力中心/听觉言语科学实验室(成都,610041)

²四川大学华西医院康复治疗中心

通信作者:郑芸,E-mail:1141679315@qq.com

[18] 李孟,郑宏良,陈世彩,等. 一侧膈神经上根联合舌下神经甲舌肌支选择性喉返神经修复术治疗双侧声带麻痹的临床分析[J]. 中华耳鼻咽喉头颈外科杂志, 2020,55(11):1016-1021.

[19] Yilmaz T, Altuntaş OM, Süslü N, et al. Total and Partial Laser Arytenoidectomy for Bilateral Vocal Fold Paralysis[J]. Biomed Res Int, 2016, 2016:3601612.

[20] Yilmaz T, Süslü N, Atay G, et al. Comparison of voice and swallowing parameters after endoscopic total and partial arytenoidectomy for bilateral abductor vocal fold paralysis: a randomized trial[J]. JAMA Otolaryngol Head Neck Surg, 2013, 139(7):712-718.

(收稿日期:2021-10-26)

perception scores, discrimination scores and evaluation age, the ROC curve was drawn to evaluate the diagnostic efficacy. **Results:** The IT-MAIS scores of children with mild, moderate, severe, and profound hearing loss participants changes with age are similar to the development of infants with normal hearing, and they all increase with age. And the more severe the hearing loss, the slower the growth rate, and the lower the peak value that can be reached. The logistic model constructed by combining IT-MAIS total score and evaluation age is the best to distinguish mild and above, moderate and above, severe and above, and profound hearing loss, whose AUC are 0.827, 0.889, 0.948, 0.946. The diagnostic efficiency is the best for infant-toddlers with profound hearing loss, with a sensitivity of 89.6% and a specificity of 88.4%. The more severe the hearing loss, the higher the discrimination accuracy of IT-MAIS and the better the diagnostic efficiency. **Conclusion:** The logistic model based on the IT-MAIS scale and the ROC curve method have a good efficiency in the diagnosis of hearing loss severity in infants and toddlers aged 0–36 months. When the child cannot cooperate with behavioral audiometry, the results of behavioral audiometry are unreliable, and there is no electrophysiological condition, the IT-MAIS scale is expected to evaluate the degree of infants' hearing loss as an auxiliary tool. It can understand the children's auditory function state more and provides a basis for the subsequent formulation of rehabilitation intervention strategies with certain clinical application value.

Key words infant-toddler; hearing loss; scale; ROC curve

新生儿听力损失是新生儿常见缺陷之一,发病率为 0.1%~0.3%^[1],位居五大致残原因之首。我国普遍新生儿听力筛查工作起步于 20 世纪 80 年代末,其根本目的在于实现先天性听力损失患儿的“早发现、早诊断、早干预”,并最大限度地使儿童、家庭和社会受益^[2]。新生儿听力筛查只是儿童早期听力检测与干预工作的开始,而早诊断和早干预更是其中重要环节。目前我国新生儿听力筛查工作仍面临重“筛”疏“查(诊断、干预)”的问题^[3],相当数量的基层医院没有相应的设备、技术和听力学专业技术人员支持婴幼儿听力评估。

主观行为测听是婴幼儿听力学评估的金标准,客观电生理测试也是一项不可替代的重要测听方法,两者相关性较高^[4],应组合使用,交叉印证^[5-6]。但当婴幼儿小儿行为测听或电生理测试无法配合、小儿测听结果不稳定或无电生理测试设备时,寻找一种简便快捷、准确有效的评估工具,用于评估婴幼儿听力损失程度的需求显得极为迫切。

婴幼儿有意义听觉整合量表(infant-toddler meaningful auditory integration scale, IT-MAIS)是一个简单易行、有效直观的听觉量表,最初用于评估听障婴幼儿佩戴助听装置前后的早期语前听能(early prelingual auditory development, EPLAD),通过对家长进行结构式访谈,建立良好的沟通互动,不仅可以了解孩子的听觉能力,还可以引起家长对此的关注和重视,培训家长在日常生活中如何观察自己孩子的听声习惯,帮助其参与到孩子的康复过程中^[7]。IT-MAIS 量表设计的初衷是针对任何文化背景及差异的家长均能完成此量表,问题本体与文化程度无关^[8],仅需家长对婴幼儿进行最基础的观察。

随着 IT-MAIS 相关研究的深入及广泛使用于临床,有研究者开始思考 IT-MAIS 是否可用于评估听觉干预后婴幼儿 EPLAD 发育情况以外的临

床用途^[9]。Liang 等^[10]报道 IT-MIAS 得分可以预估 3~5 岁儿童不同程度的听力损失:采用得分(%)为 50 用于区分极重度和非极重度的准确度为 88.5%,65 区分重度和轻中度的准确度为 82.8%。但对于 IT-MAIS 得分能否用于区分 0~36 月龄婴幼儿听力损失程度及其敏感度、特异度和准确度由于样本量的限制尚未得到验证。故本研究拟通过分析 0~36 月龄婴幼儿 IT-MAIS 得分规律,对正常听力和不同程度听力损失婴幼儿的 EPLAD 发展轨迹进行比较,并探讨 IT-MAIS 得分在 0~36 月龄婴幼儿听力损失程度中的诊断价值。

1 资料与方法

1.1 临床资料

收集 2009 年 3 月—2021 年 3 月期间在四川大学华西医院耳鼻咽喉头颈外科听力中心就诊的婴幼儿的相关资料。本研究共纳入听力正常和不同程度听力损失的患儿共 841 例,其中男 497 例(59.1%),女 344 例(40.9%);按照听力损失程度分为正常听力组、轻度听力损失组、中度听力损失组、重度听力损失组和极重度听力损失组。纳入标准:生理年龄 0~36 月龄;完成听力学诊断测试,能明确听力是否有损失,及听力损失的程度。排除标准:在听觉干预(如助听器、人工耳蜗等)后完成的 IT-MAIS 评估;听力诊断测试或 IT-MAIS 评估资料不完整。

听力损失程度按照 2018 年《婴幼儿听力损失诊断与干预指南》的诊断标准,将研究对象短声听性脑干反应(click auditory brainstem response)测试 V 波反应阈 ≤ 35 dB nHL 定义为听力正常,短纯音 ABR (tone-burst ABR) 500、1000、2000 和 4000 Hz 的平均听阈 36~50 dB nHL 为轻度,51~70 dB nHL 为中度,71~90 dB nHL 为重度,91 dB nHL 为极重度听力损失^[11]。听力诊断测试通常在 IT-MAIS 评估后 1 周内完成。

1.2 研究方法

应用汉化后的中文版 IT-MAIS 量表对研究对象进行听功能的评估。IT-MAIS 是一个结构式问卷,通过访谈熟悉婴幼儿情况的家长或看护人,判断婴幼儿在相应方面的能力^[12]。量表共包括 10 个条目,每个条目满分为 4 分,其中第 1、2 个条目用于婴幼儿自主发声能力的评估,第 3~6 个条目用于婴幼儿对声音察觉能力的评估,第 7~10 个条目用于婴幼儿对声音辨别能力的评估。当发生家长或看护人无法回答的条目超过 2 项时,则判定测试无效。IT-MAIS 总得分=(实际回答条目的总分/回答相同条目的满分)×100%,结果记作百分比值。IT-MAIS 得分越高,婴幼儿的听功能越好。由于所有研究对象尚未进行任何的听觉干预,故条目 1[“当孩子带上助听设备(助听器或人工耳蜗),他/她的发生表现有变化吗?”]不适用于这些研究对象的评估,故本研究只纳入条目 2~10 的得分进行分析。IT-MAIS 评估均由经过统一培训且临床经验丰富的专业人员在未知听力学诊断结果的情况下独立完成。在临床过程中,针对不同文化程度家长,由熟悉该量表的评估者调整问卷问题询问的方式,以更通俗易懂的形式去表达,可予以

适当提示。

1.3 统计学方法

符合正态分布的连续变量以 $\bar{X} \pm S$ 描述,使用 t 检验进行比较。采用单项指数关联模型对不同程度听力损失患儿 IT-MAIS 得分随年龄的变化进行非线性回归拟合。以听力损失程度为因变量,分别构建 IT-MAIS 总得分、察觉得分和辨识得分与评估年龄联合的 3 种 logistic 回归模型,从而得到对应的概率预测值,以此概率预测值为检验变量,听力损失程度为状态变量绘制受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC) 曲线、准确性、灵敏度、特异度和约登指数,评价其诊断效能。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义,使用统计软件 R (版本 4.0.5) 和 SPSS 进行分析,GraphPad Prism 8.3.0 软件作图。

2 结果

2.1 一般资料

正常听力组、轻度听力损失组、中度听力损失组、重度听力损失组和极重度听力损失组 5 组性别比较差异无统计学意义($P > 0.05$),月龄、双侧听力基本对称、IT-MAIS 总分、察觉得分和辨识得分比较差异均有统计学意义($P < 0.05$),见表 1。

表 1 不同听力损失程度患儿的基线特征

变量	听力损失程度					P 值
	正常	轻度	中度	重度	极重度	
样本量	231	194	135	89	192	
性别/例(%)						0.207
女	103(44.59)	66(34.02)	59(43.70)	39(43.82)	77(40.10)	
男	128(55.41)	128(65.98)	76(56.30)	50(56.18)	115(59.90)	
评估年龄/月	11.26±10.63	7.19±6.08	8.77±6.81	11.08±10.70	13.64±10.13	<0.001
双侧听力基本对称/例(%)						<0.001
否	119(51.52)	37(19.07)	41(30.37)	38(42.70)	3(1.56)	
是	112(48.48)	157(80.93)	94(69.63)	51(57.30)	189(98.44)	
IT-MAIS 总分	50.71±30.77	35.44±22.81	29.32±19.27	17.22±13.36	7.94±10.95	<0.001
察觉得分	65.81±26.25	52.30±23.74	43.52±21.19	25.45±13.32	11.33±13.46	<0.001
辨识得分	40.35±36.18	23.15±25.50	20.15±22.48	10.42±17.69	3.49±10.77	<0.001

2.2 正常听力婴幼儿与不同听力损失程度婴幼儿 IT-MAIS 得分随年龄变化规律曲线的比较

正常听力及轻、中、重、极重度听力损失婴幼儿 IT-MAIS 得分随年龄的变化规律曲线见图 1,其拟合度分别为 0.84、0.74、0.46、0.59、0.10。轻、中、重、极重度婴幼儿 IT-MAIS 得分随年龄的变化规律和正常听力婴幼儿的发育规律相似,均随年龄的增长呈非匀速增长,且听力损失程度越严重,增长速率越缓慢,能达到的峰值越低,明显落后于正常听力婴幼儿。

2.3 logistic 回归联合 ROC 曲线区分不同听力损失程度的诊断价值

根据听力损失程度分组,将轻度、中度、重度和极重度听力损失纳入轻度及以上听力损失组;中度、重度和极重度听力损失纳入中度及以上听力损失组;重度和极重度听力损失纳入重度及以上听力损失组和极重度听力损失分别作为二分类阳性指标,图 2 为不同的听力损失程度时的 ROC 曲线。联合 IT-MAIS 总得分和评估年龄构建的 logistic 模型区分轻度及以上、中度及以上、重度及以上和

极重度的 AUC 最佳,分别为 0.827、0.889、0.948、0.946;联合察觉得分和评估年龄构建的 logistic 模型区分轻度及以上、中度及以上、重度及以上和极重度的 AUC 次之,分别为 0.816、0.877、0.943、0.946;联合辨别得分和评估年龄的 logistic 模型区分轻度及以上、中度及以上、重度及以上和极重度的曲线下面积(AUC)最弱,分别为 0.804、0.845、0.900、0.900(表 2)。

联合 IT-MAIS 总得分和评估年龄对于各种程度听力损失均有较好的预测价值(表 3),对轻、中、重和极重度患儿的预测准确性分别为 77.9%、82.9%、88.6%、91.0%。对于极重度听力损失患儿的诊断效能最优,约登指数最大为 0.780,其临界值为 0.299,灵敏度为 89.6%,特异度为 88.4%。听力损失程度越重,IT-MAIS 的区分准确性越高,约登指数越高,诊断效能越佳。

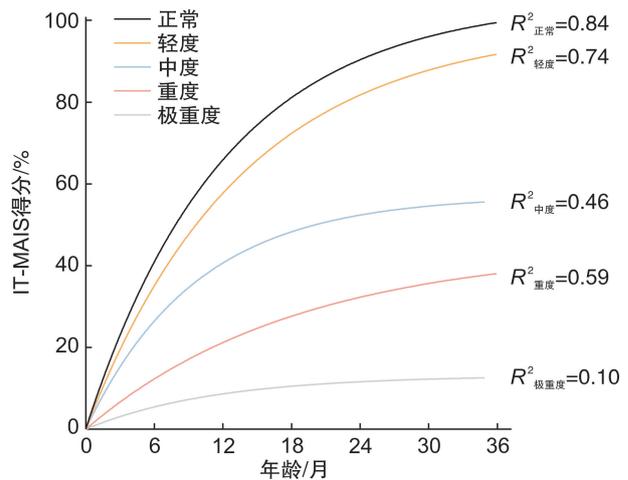
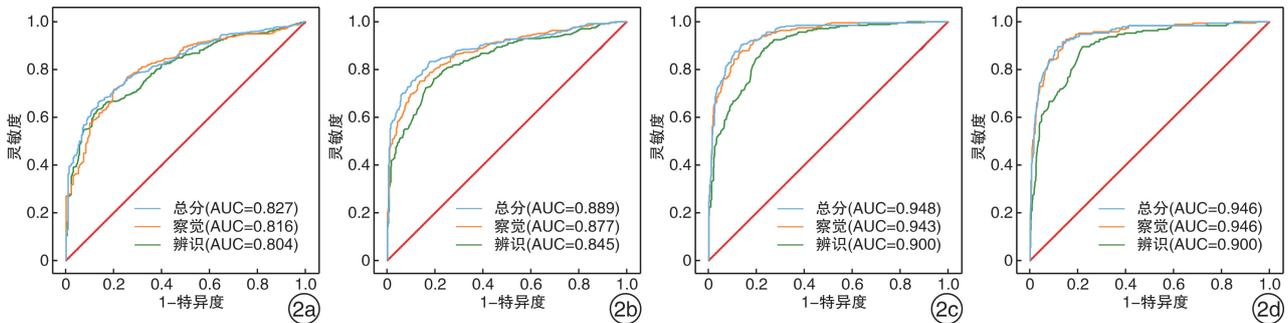


图 1 正常听力和不同听力损失程度婴幼儿 IT-MAIS 得分随年龄的变化规律



2a:三种 logistic 模型在区分轻度及以上听力损失时的 ROC 曲线和 AUC 值;2b:三种 logistic 模型在区分中度及以上听力损失时的 ROC 曲线和 AUC 值;2c:三种 logistic 模型在区分重度及以上听力损失时的 ROC 曲线和 AUC 值;2d:三种 logistic 模型在区分极重度听力损失时的 ROC 曲线和 AUC 值。

图 2 三种 logistic 模型在区分不同听力损失程度时的 ROC 曲线

表 2 三种 logistic 模型区分婴幼儿不同程度听力损失的曲线下面积 AUC

听力损失程度	年龄+总得分			年龄+察觉得分			年龄+辨别得分		
	AUC	SE	95%CI	AUC	SE	95%CI	AUC	SE	95%CI
轻度及以上	0.827	0.015	0.798,0.855	0.816	0.015	0.786,0.846	0.804	0.015	0.774,0.835
中度及以上	0.889	0.012	0.867,0.912	0.877	0.012	0.854,0.901	0.845	0.013	0.819,0.872
重度及以上	0.948	0.008	0.933,0.963	0.943	0.008	0.927,0.958	0.900	0.011	0.880,0.921
极重度	0.946	0.009	0.928,0.965	0.946	0.009	0.928,0.964	0.900	0.012	0.876,0.925

表 3 IT-MAIS 得分区分婴幼儿不同程度听力损失的诊断效能

听力损失程度	准确性	灵敏度	特异度	截断值	约登指数	回归方程
轻度及以上	0.779	0.667	0.861	>0.790	0.529	$Y=2.13+0.11\times\text{月龄}-0.06\times\text{总分}$
中度及以上	0.829	0.834	0.824	>0.499	0.658	$Y=0.83+0.24\times\text{月龄}-0.10\times\text{总分}$
重度及以上	0.886	0.904	0.864	>0.354	0.768	$Y=0.39+0.29\times\text{月龄}-0.18\times\text{总分}$
极重度	0.910	0.896	0.884	>0.299	0.780	$Y=-0.12+0.20\times\text{月龄}-0.19\times\text{总分}$

3 讨论

本研究不仅探讨了不同程度听力损失婴幼儿的 EPLAD 规律,还首次采用 logistic 回归联合

ROC 曲线的方法评价 IT-MAIS 得分在预测 0~36 月龄婴幼儿听力损失程度中的诊断价值,为婴幼儿听力损失的诊断和康复提供一定信息。

3.1 正常听力与不同程度听力损失婴幼儿 IT-MAIS 得分随年龄的变化规律

从本研究结果来看,正常听力婴幼儿和轻、中、重、极重度婴幼儿 IT-MAIS 得分随年龄的变化规律相似,均随评估年龄的增长而增长,且听力损失程度越严重,增长速率越缓慢,能达到的峰值越低,与众多研究结果^[13-14]相似。Zheng 等^[15]用对数函数拟合了 120 名正常听力儿童的 IT-MAIS 得分,发现在 22 个月大时 IT-MAIS 得分达到峰值。Cavicchiolo 等^[16]则采用 P-Splines 函数拟合了 120 名正常听力的意大利儿童的 EPLAD 轨迹,结果显示年龄较大的儿童 IT-MAIS 得分较高,在 19~24 月龄时,一半的正常听力儿童 IT-MAIS 得分能达到 100%。而本研究中健听婴幼儿逐渐达到峰值的月龄和既往研究有一定差别,可能是由于样本量和拟合函数的选取不同所造成的。

轻度听力损失患儿的 EPLAD 发展规律和正常听力婴幼儿的轨迹最为相似,但即使是轻度听力损失,其增长速率和最终达到峰值的月龄仍落后于健听婴幼儿一定差距^[17]。而对于单侧听力损失的患儿,IT-MAIS 同样非常敏感。Yang 等^[18]比较了双耳听力正常和单耳听力损失婴幼儿的 IT-MAIS 得分,发现单侧听力损失患儿虽有一只耳听力完全正常,但他们的 EPLAD 发展仍然是落后于双耳听力正常婴幼儿,且随着年龄的不断增长,差异也逐渐增大。因此临床上应同样关注单侧听力损失及轻度听力损失患儿^[19],提醒患儿家长引起重视,采取干预措施,以帮助孩子早日获得使用听力以回归正常生活。

本研究中极重度听力损失患儿增长曲线的拟合度($R^2=0.10$)相较于正常($R^2=0.84$)、轻度($R^2=0.74$)、中度($R^2=0.46$)、重度($R^2=0.59$)较小,分析其原因可能是极重度听力损失患儿的听觉能力随年龄的增长变化不明显,自身得分在低值范围内波动较大,如双耳全聋的患儿即使随着年龄的增长,其对声音的察觉和辨别能力也不会有明显变化,因此导致无法用函数去进行一个较稳定的拟合,导致其对应的发展规律曲线方程的决定系数较小。

3.2 IT-MAIS 得分在预测婴幼儿听力损失程度中诊断效能良好

根据听力损失分组得到的 ROC 曲线下面积 AUC 值分别为 0.827、0.889、0.948、0.946,可以推测联合 IT-MAIS 得分和评估年龄共同构建的预测模型对于婴幼儿听力损失程度具有良好的预测价值。Liang 等^[10]的研究结果显示,IT-MAIS 可以用于预估 2~5 岁听力损失患儿较好耳的听力损失程度,并报道了其分类标准及较高的灵敏度、特异度和准确性。但由于其研究的样本量有限,没有

得出 2 岁以下患儿用 IT-MAIS 得分预估听力损失程度的分类标准。本研究考虑到 0~36 月龄婴幼儿自身的评估年龄对 IT-MAIS 得分存在一定影响,故将评估年龄和 IT-MAIS 得分同时作为预测因子构建模型。

对于区分轻、中、重、极重度听力损失,患儿对声音的察觉能力和辨别能力得分与评估年龄联合诊断的 AUC 均高于 0.800,且听力损失程度越严重,诊断效能越高。在轻度到极重度听力损失的所有组别中,联合察觉能力和评估年龄模型的诊断效能均优于联合辨别能力和评估年龄的模型。本研究中无论何种程度的听力损失,婴幼儿对声音的察觉能力的发育都优于辨别能力,且先于辨别能力发育,因为察觉能力是辨别能力发育的基础,这一现象无论是在健听儿童^[15,20]中,还是经过助听干预的儿童^[21]都有同样的发展规律。而察觉能力和辨别能力分别所构建模型的 AUC 均不如 IT-MAIS 总分联合评估年龄构建的模型,可见对婴幼儿的听力评估要全面,察觉和辨别二者缺一不可,同时,也再次验证了 IT-MAIS 量表的临床有效性,故推荐 IT-MAIS 总分和评估年龄联合诊断婴幼儿听力损失程度。

4 结论

综上,本研究基于 IT-MAIS 量表构建的 logistic 模型联合 ROC 曲线法在鉴别 0~36 月龄婴幼儿听力损失程度诊断中有良好的诊断效能。联合 IT-MAIS 得分和评估年龄的 logistic 模型的准确度优于察觉和辨别得分对应的模型,鉴别极重度听力损失的准确性最高。0~36 月龄婴幼儿的准确听阈不易获得,当婴幼儿无法配合小儿行为测听、小儿测听结果不可靠、没有电生理条件时,IT-MAIS 量表有望用于辅助预估婴幼儿听力损失程度,更加全面地了解患儿的听功能状态,为后续制定康复干预策略提供依据,具有一定的临床应用价值。

但本研究存在一定的局限性,首先,本研究只关注了较好耳的听力损失程度,因为 IT-MAIS 反映的是患儿日常生活的听觉能力,其中单侧聋患儿可能会影响 EPLAD 发育轨迹曲线的后移;其次,本研究只联合了 IT-MAIS 得分和评估年龄两个指标,未纳入其他重要因素,因此预测水平还有一定提升空间,需后续结合更多维度的指标,得到更精准的预测结果,以期对难以获得准确听阈的婴幼儿的听力损失程度的诊断提供更科学的依据。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 聂文英,吴汉荣,戚以胜. 新生儿及婴幼儿听力损失[J]. 中国妇幼保健,2004,19(22):124-126.
- [2] 韩冰,历建强,兰兰,等. 中国内地新生儿听力筛查情

- 况的回顾性分析[J]. 听力学及言语疾病杂志, 2012, 20(1):6-11.
- [3] 曾镇罡, 张燕梅, 尚美霞, 等. 新生儿听力筛查与诊断质控量表的信度和效度分析[J]. 听力学及言语疾病杂志, 2021, 29(2):158-161.
- [4] Delaroche M, Thiébaud R, Dauman R. Behavioral audiometry: validity of audiometric measurements obtained using the «Delaroche protocol» in babies aged 4–18 months suffering from bilateral sensorineural hearing loss[J]. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 2006, 70(6):993-1002.
- [5] Probst R. [Subjective and objective audiometry][J]. *Ther Umsch Rev Ther*, 2004, 61(1):7-14.
- [6] Singleton A J, Waltzman S B. Audiometric Evaluation of Children with Hearing Loss[J]. *Otolaryngol Clin North Am*, 2015, 48(6):891-901.
- [7] 李刚, 郑芸, 张圆. 探讨 IT-MAIS 在儿童听力评估中的临床价值[J]. *中国听力语言康复科学杂志*, 2016, 14(4):275-277.
- [8] Barker BA, Donovan NJ, Schubert AD, et al. Using Rasch Analysis to Examine the Item-Level Psychometrics of the Infant-Toddler Meaningful Auditory Integration Scales[J]. *Speech Lang Hear Lond Engl*, 2017, 20(3):130-143.
- [9] 郑芸, 孟照莉, 胥科, 等. ITMAIS 在听障婴幼儿早期干预中的临床应用[J]. *中国听力语言康复科学杂志*, 2011, 9(4):26-31.
- [10] Liang S, Soli S D, Zheng Y, et al. Initial classification of pediatric hearing impairment using behavioral measures of early prelingual auditory development[J]. *Int J Audiol*, 2016, 55(4):224-231.
- [11] 陈建勇. 婴幼儿听力损失评估国际共识[J]. *临床耳鼻咽喉头颈外科杂志*, 2018, 32(12):886-890.
- [12] 杨奉玲. 常用的婴幼儿听觉功能评估工具[J]. *临床耳鼻咽喉头颈外科杂志*, 2020, 34(11):1045-1048.
- [13] 李刚, 陶勇, 孟照莉, 等. 同龄接受助听器或人工耳蜗干预的极重度聋患儿早期语前听能发育规律的对比研究[J]. *临床耳鼻咽喉头颈外科杂志*, 2020, 34(1):41-44.
- [14] Lu X, Qin Z. Auditory and language development in Mandarin-speaking children after cochlear implantation[J]. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 2018, 107:183-189.
- [15] Zheng Y, Soli S D, Wang K, et al. A normative study of early prelingual auditory development[J]. *Audiol Neurootol*, 2009, 14(4):214-222.
- [16] Cavicchiolo S, Mozzanica F, Guerzoni L, et al. Early prelingual auditory development in Italian infants and toddlers analysed through the Italian version of the Infant-Toddler Meaningful Auditory Integration Scale (IT-MAIS)[J]. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 2018, 275(2):615-622.
- [17] Kishon-Rabin L, Taitelbaum-Swead R, Ezrati-Vinacour R, et al. Prelexical vocalization in normal hearing and hearing-impaired infants before and after cochlear implantation and its relation to early auditory skills[J]. *Ear Hear*, 2005, 26(4 Suppl):17S-29S.
- [18] Yang F, Zheng Y, Li G. Early Prelingual Auditory Development of Infants and Toddlers With Unilateral Hearing Loss[J]. *Otol Neurotol*, 2020, 41(5):654-650.
- [19] Wiseman K, Sapp C, Walker E, et al. Comprehensive Audiological Management of Hearing Loss in Children, Including Mild and Unilateral Hearing Loss[J]. *Otolaryngol Clin North Am*, 2021, 54(6):1171-1179.
- [20] Xu TQ, Chen XQ, Wang H. A normative study of auditory development in Mandarin-speaking infants[J]. *Chin J Otorhinolaryngol Head Neck Surg*, 2013, 48(11):908-912.
- [21] Zheng Y, Soli SD, Tao Y, et al. Early prelingual auditory development and speech perception at 1-year follow-up in Mandarin-speaking children after cochlear implantation[J]. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 2011, 75(11):1418-1426.

(收稿日期:2021-10-29)