

窄带 CE-Chirp ASSR 在听障儿童听阈评估中的应用*

周佳蕾¹ 陈芳¹ 李晓艳¹

[摘要] 目的:探讨窄带 CE-Chirp 声听觉稳态反应(NB CE-Chirp ASSR)测试在听障儿童听阈评估中的应用价值。方法:回顾性研究 2023 年 1 月至 2023 年 12 月在上海市儿童医院确诊的感音神经性听力损失患儿 44 例(88 耳)的听力检测结果,其中听力损失轻度组 19 耳,中度组 26 耳,重度组 20 耳,极重度组 23 耳。分析不同听力损失组听性脑干反应(ABR)阈值、纯音测听(PTA)阈值与 NB CE-Chirp ASSR 反应阈之间的相关性。结果:不同程度的听力损失组其 ABR 与 NB CE-Chirp ASSR(2 000~4 000 Hz)反应阈差值为 0.50~4.08 dB;每组 NB CE-Chirp ASSR 与 ABR 反应阈之间均有显著相关性($P<0.001$),且轻度、重度及极重度组的相关系数均 >0.8 ,呈极强相关。各组 PTA 与 NB CE-Chirp ASSR 平均阈值差值为 1.88~3.91 dB;相关系数均 >0.8 ,呈极强相关。每组在 500、1 000、2 000、4 000 Hz 处 PTA 与 NB CE-Chirp ASSR 反应阈差值为 0.25~3.84 dB;随频率升高,PTA 与 NB CE-Chirp ASSR 反应阈二者间的相关系数呈上升趋势,系数最高的频率为 4 000 Hz, r 均 >0.9 ,其次为 2 000 Hz,500 Hz 处相对较低;在极重度组中各频率系数均大于 0.7,呈极强相关。结论:NB CE-Chirp ASSR 具备良好的频率特异性,能可靠地评估听障儿童的听觉阈值。

[关键词] 窄带 CE-Chirp 声;听觉稳态反应;听性脑干反应;纯音听阈;儿童;听力障碍

DOI:10.13201/j.issn.2096-7993.2024.11.004

[中图分类号] R764.5 [文献标志码] A

Application of narrow-band CE-Chirp NB ASSR in hearing threshold assessment of hearing-impaired children

ZHOU Jialei CHEN Fang LI Xiaoyan

(Shanghai Children's Hospital, Ear, Nose, Throat, Head and Neck Surgery Department of Shanghai Jiao Tong University School of Medicine Affiliated Children's Hospital, Shanghai, 200062, China)

Corresponding author: LI Xiaoyan, E-mail:lixxy@shchildren.com.cn

Abstract Objective: To investigate the application value of NB CE-Chirp ASSR in the assessment of hearing threshold in children with hearing impairment. **Methods:** The hearing test results of 44 children with sensorineural hearing loss(88 ears) diagnosed in Shanghai Children's Hospital from January 2023 to December 2023 were retrospectively studied, including 19 ears in mild hearing loss group, 26 ears in moderate group, 20 ears in severe group and 23 ears in extremely severe group. Correlations between auditory brainstem response(ABR) thresholds, pure tone audiometry(PTA) thresholds and NB CE-Chirp ASSR response thresholds in different hearing loss groups were analyzed. **Results:** The threshold difference between ABR and NB CE-Chirp ASSR(2 000-4 000 Hz) was between 0.50-4.08 dB in different degrees of hearing loss group. There was a significant correlation between NB CE-Chirp ASSR and ABR response threshold in each group($P<0.001$), and the correlation coefficients of mild, severe and extremely severe groups were all greater than 0.8, showing a strong correlation. The average threshold difference between PTA and NB CE-Chirp ASSR in each group was between 1.88-3.91 dB. The correlation coefficients were all greater than 0.8, showing a strong correlation. The difference between PTA and NB CE-Chirp ASSR response threshold at 500, 1 000, 2 000 and 4 000 Hz in each group was between 0.25-3.84 dB. With the increase of frequency, the correlation coefficient between PTA and NB CE-Chirp ASSR response threshold showed an upward trend. The frequency with the highest coefficient was 4 000 Hz, and the r values were all greater than 0.9, followed by 2 000 Hz, and the correlation coefficient was relatively low at 500 Hz. In the extremely severe group, each frequency coefficient was greater than 0.7, showing a strong correlation. **Conclusion:** NB CE-Chirp ASSR has good frequency specificity and can reliably assess hearing thresholds in hearing-impaired children.

Key words narrow-band CE-Chirp; auditory steady-state response; auditory brainstem response; pure tone audiometry; children; hearing impairment

*基金项目:上海交通大学“交大之星”计划重点项目(No:YG2023ZD23)

¹上海市儿童医院 上海交通大学医学院附属儿童医院耳鼻咽喉头颈外科(上海,200062)

通信作者:李晓艳,E-mail:lixxy@shchildren.com.cn

引用本文:周佳蕾,陈芳,李晓艳.窄带 CE-Chirp ASSR 在听障儿童听阈评估中的应用[J].临床耳鼻咽喉头颈外科杂志,2024,38(11):1012-1016. DOI:10.13201/j.issn.2096-7993.2024.11.004.

儿童听力损失的精准评估是干预和康复治疗的前提。主观行为测听是定量评估听力阈值的标准^[1],然而测试结果易受儿童配合程度、理解能力及专注力的影响。因此,诱发电位测试被认为是评估低龄儿童听力阈值的首选方法。目前短声诱发的听性脑干反应(click-evoked auditory brain-stem response, click-ABR)是临床上最常用的方法。但 ABR 记录受到最大声输出水平的限制,无法充分测量所有听力损失,尤其是极重度的听力损失^[2];此外,click 声刺激缺乏频率特性,主要与 2 000~4 000 Hz 的高频听力阈值相关,并不能准确反映低频听力损失^[3-4]。

听觉稳态反应(auditory steady-state response, ASSR)具有频率特异性、双耳同时检测、测试结果自动转换等特点,已被广泛应用于临床听力评估。CE-Chirp 刺激声是一种新型线性调频脉冲音,可以有效补偿耳蜗基底膜上行波刺激的时间差,诱发出不同的神经活动,克服耳蜗行波延迟引起基底膜振动的不一致,提高了神经纤维放电的同步性^[5]。同时他还增添了窄带(narrow-band, NB) CE-Chirp 的优势,使其反应幅度、神经反应同步性更好以及阈值更接近纯音听阈^[6]。本研究拟通过分析听力障碍儿童的 click-ABR、NB CE-Chirp ASSR 反应阈及纯音听阈的相关性,探讨 NB CE-Chirp ASSR 用于评估听力障碍儿童听阈的可靠性和准确性,为临床应用提供参考。

1 资料与方法

1.1 研究对象

2023 年 1 月至 2023 年 12 月在上海市儿童医院确诊的感音神经性耳聋患儿。纳入标准:①患儿能够理解和配合完成纯音测听、ABR、NB CE-Chirp ASSR 等主客观听力学测试;②耳镜检查外耳道及鼓膜正常,中耳鼓室图“A”型;③纯音听阈各频率气骨导差 ≤ 10 dB HL,且至少有 1 耳平均阈值 > 25 dB HL。排除标准:①慢性中耳疾病史;②外耳道畸形;③耳外伤未愈;④听神经病等蜗后病变。根据纳入排除标准,共计纳入患者 44 例(88 耳),其中男 24 例,女 20 例;年龄 4~13 岁,平均 (7.06 ± 2.19) 岁。以纯音测听 500、1 000、2 000 和 4 000 Hz 的气导平均阈值,按照 1997 年 WHO 预防聋和听力损失项目报告中儿童(15 岁以下)标准^[7]进行分级,其中轻度损失组 19 耳(26~40 dB HL)、中度损失组 26 耳(41~60 dB HL)、重度损失组 20 耳(61~80 dB HL)、极重度损失组 23 耳(≥ 81 dB HL)。

1.2 仪器和方法

所有患儿均在清醒状态下进行纯音听阈测听,在自然睡眠或口服 10%水合氯醛辅助睡眠中完成 ABR、NB CE-Chirp ASSR 测试。

纯音听阈测听在隔声室(室内噪声 ≤ 30 dB)中进行,采用丹麦 GN OTOMETRICS ITERA 听力计进行测试。测试声为纯音,按照降 10 升 5 法进行 250~8 000 Hz 频率处气骨导听阈测试。

ABR 测试在屏蔽隔声室进行(室内噪声 ≤ 30 dB)。受试患儿处于睡眠状态。采用 Interacoustics Ecplise EP25 听觉诱发电位系统进行 ABR 检测。使用 ER-3A 插入式耳机,刺激信号为 click 声。参数设置:交替波极性,脉宽 0.1 ms,刺激速率 21.1 次/s,叠加次数 1 200 次,带通滤波器设置在 100~1 500 Hz。将一次性电极分别置于双侧乳突、眉间、前额作为参考电极、记录电极和接地电极,极间阻抗 ≤ 5 k Ω 。其最大刺激强度为 105 dB nHL,刺激声从 70 dB nHL 开始,采用降 10 升 5 法,以能引出 V 波的最小刺激声强度为最终 ABR 阈值。

NB CE-Chirp ASSR 测试在屏蔽隔声室进行(室内噪声 ≤ 30 dB)。受试患儿处于睡眠状态。采用 Interacoustics Ecplise EP25 听觉诱发电位系统进行检测。使用 ER-3A 插入式耳机,刺激声为 NB CE-Chirp。参数设置:刺激重复率为 90 次/s,伪迹剔除水平为 ± 40 μ V。电极放置同 ABR 测试,极间阻抗 ≤ 5 k Ω 。起始刺激强度设定为其 ABR 阈值,根据仪器要求,刺激声强度 ≤ 80 dB nHL 时,4 个频率(500、1 000、2 000、4 000 Hz)双耳同时给声,当刺激声强度 > 80 dB nHL 时,单个频率双耳给声。使用降 10 升 5 法,每个强度测试时间不超过 6 min,以仪器自动检测到的最低反应阈为电生理听觉反应阈。

1.3 统计学处理

使用统计软件 SPSS 27.0 对数据进行分析,数据资料比较采用配对 t 检验,选用 Pearson 进行双变量相关性分析,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 NB CE-Chirp ASSR 与 ABR 的相关性

不同程度的听力损失患儿其 ABR 与 NB CE-Chirp ASSR(2 000~4 000 Hz)反应阈值、差值及两者之间的相关系数比较见表 1。各组均数差值绝对值为 0.50~4.08 dB,其中重度听力损失组差值最小。经相关性分析,NB CE-Chirp ASSR 与 ABR 反应阈之间有显著相关性,且轻度、重度及极重度组的相关系数均 > 0.8 ,呈极强相关,其中相关系数最高的为轻度组($r = 0.836$),中度组虽在组间系数最低($r = 0.673$),但依然呈强相关性。

2.2 NB CE-Chirp ASSR 与 PTA 的平均阈值相关性

不同程度的听力损失患儿在 500~4 000 Hz 处其 PTA 与 NB CE-Chirp ASSR 平均阈值、差值及两者之间的相关系数比较见表 2。各组均数差

值绝对值为 1.88~3.91 dB,其中重度听力损失组差值最小。经相关性分析,各组相关系数均 >0.8 ,呈极强相关,其中相关系数最高的为轻度组($r=0.954$),最低为极重度组($r=0.806$)。

2.3 NB CE-Chirp ASSR 与 PTA 在不同频率处的相关性

44 例听力损失患儿 PTA 与 NB CE-Chirp ASSR 各频率反应阈值、差值及两者间的相关系数比较见表 3,在总数据中,各频率在 PTA 与 NB CE-Chirp ASSR 二者间的相关系数均 >0.8 ,呈极

强相关,并且相关系数随频率升高而升高。不同听力损失组各频率 PTA 与 NB CE-Chirp ASSR 阈值、差值及两者间的相关系数见表 4~7。各组阈值差值为 0.25~3.84 dB,呈现较小差异。各组随频率升高,PTA 与 NB CE-Chirp ASSR 二者间的相关系数呈上升趋势,相关系数最高的频率在 4 000 Hz, r 均 >0.9 ,呈极强相关性,其次为 2 000 Hz。在各组中 500 Hz 的相关系数相对较低,为 0.48~0.77。在极重度组中各频率系数均 >0.70 ,呈现强相关性。

表 1 不同听力损失组 ABR 与 NB CE-Chirp ASSR(2 000~4 000 Hz)相关系数比较

$\bar{X} \pm S$

听力损失程度	耳数	ABR	NB CE-Chirp ASSR	差值	r	P
轻度	19	34.21±10.04	30.13±13.50	4.08±7.51	0.836	<0.001
中度	26	50.38±8.93	51.15±14.23	-0.77±10.55	0.673	<0.001
重度	20	66.50±17.09	66.00±14.94	0.50±9.68	0.826	<0.001
极重度	23	93.48±9.35	92.39±7.99	1.08±5.48	0.811	<0.001

表 2 不同听力损失组 PTA 与 NB CE-Chirp ASSR(500~4 000Hz)相关系数比较

$\bar{X} \pm S$

听力损失程度	耳数	PTA	NB CE-Chirp ASSR	差值	r	P
轻度	19	32.63±14.94	30.13±13.50	2.50±4.56	0.954	<0.001
中度	26	54.61±13.03	51.15±14.23	3.46±8.15	0.825	<0.001
重度	20	67.87±10.20	66.00±14.94	1.88±8.11	0.858	<0.001
极重度	23	96.30±8.18	92.39±7.99	3.91±5.05	0.806	<0.001

表 3 44 例(88 耳)听力损失患儿 PTA 与 NB CE-Chirp ASSR 各频率相关性比较

$\bar{X} \pm S$

频率	PTA	NB CE-Chirp ASSR	差值	r	P
500	58.63±26.84	60.22±26.19	-1.59±13.19	0.877	<0.001
1 000	60.45±27.50	62.72±26.36	-2.27±13.28	0.879	<0.001
2 000	63.69±25.84	61.64±26.35	2.04±9.63	0.932	<0.001
4 000	63.63±25.97	61.25±27.32	2.38±8.70	0.948	<0.001

表 4 轻度听力损失组(19 耳)患儿 PTA 与 NB CE-Chirp ASSR 各频率相关性比较

$\bar{X} \pm S$

频率	PTA	NB CE-Chirp ASSR	差值	r	P
500	27.63±8.39	31.57±9.43	-3.94±9.06	0.480	0.034
1 000	26.84±9.16	30.26±9.04	-3.42±4.73	0.865	<0.001
2 000	30.78±12.83	28.95±11.00	1.84±6.71	0.882	<0.001
4 000	34.47±18.33	31.31±17.86	3.15±6.50	0.936	<0.001

表 5 中度听力损失组(26 耳)患儿 PTA 与 NB CE-Chirp ASSR 各频率相关性比较

$\bar{X} \pm S$

频率	PTA	NB CE-Chirp ASSR	差值	r	P
500	44.23±15.27	46.73±18.22	-2.50±14.91	0.616	0.001
1 000	45.76±12.62	47.69±12.58	-1.90±12.25	0.528	0.006
2 000	54.04±10.77	50.96±13.63	3.07±10.00	0.687	<0.001
4 000	55.19±17.17	51.35±17.35	3.84±7.39	0.908	<0.001

表 6 重度听力损失组(20 耳)患儿 PTA 与 NB CE-Chirp ASSR 各频率相关性比较

$\bar{X} \pm S$

频率	PTA	NB CE-Chirp ASSR	差值	r	P
500	67.50±9.10	68.50±9.88	-1.00±8.97	0.556	0.010
1 000	70.50±7.41	70.75±10.24	-0.25±9.10	0.516	0.020
2 000	68.00±9.78	66.75±11.84	1.25±8.41	0.713	<0.001
4 000	66.50±12.98	65.25±18.95	1.25±9.16	0.902	<0.001

表 7 极重度听力损失组(23 耳)患儿 PTA 与 NB CE-Chirp ASSR 各频率相关性比较

频率	PTA	NB CE-Chirp ASSR	差值	r	P
500	91.52±11.12	89.56±8.90	1.95±7.03	0.770	<0.001
1 000	95.86±8.61	92.82±6.87	3.04±5.38	0.781	<0.001
2 000	97.39±7.66	95.21±10.71	2.17±5.18	0.893	<0.001
4 000	94.78±10.60	92.17±10.95	2.60±3.95	0.933	<0.001

3 讨论

ABR 和 ASSR 都是客观听力检测方法,Click-ABR 是目前广泛应用于评估儿童听力损失的技术,Click 声在 2 000~4 000 Hz 范围内对听觉神经纤维的刺激最高^[8],主要反映高频听力,而低频率下的残余听力不能通过该技术准确评估。虽然进行性听力损失在儿童中并不常见,但对于高频陡降型听力损失的误诊可能导致儿童过早植入耳蜗或采用不合适的助听器验配方案。而对于上升型听力损失的患儿可能导致漏诊,而错过最佳干预期。此外,由于许多进行性听力损失是由基因突变引起的,识别特殊形状的听力图可能有助于基因诊断和咨询^[9]。短纯音 ABR 具有频率特异性可以获 500~4 000 Hz 范围内的 V 波阈值,但其测试时间长,听神经同步化较 Click-ABR 差,尤其在低频时 V 波波分化较差,不易辨认^[10],对操作人员的要求也很高,因此限制了其在婴幼儿听力损失评估中的应用和推广。ASSR 常用调幅调制、混合调制声信号,它能对振幅调制的连续音调进行自动客观评价。由于耳蜗的特殊解剖结构,行波从耳蜗底部向顶端传播过程中会造成一定的时差,使各个频率区域神经兴奋的同步化不足,导致低频 500 Hz 处的 ASSR 反应幅值较 1 000 Hz 和 2 000 Hz 处低,且难以检测^[11]。同时既往研究表明^[10],听力损失程度越重,ASSR 反应阈与行为听阈差值越小,因此传统 ASSR 常用来评估重度及极重度听力损失患儿的听阈。

近年来,CE-Chirp ASSR 作为一项新的客观听力检测技术已成为临床研究的热点。CE-Chirp 刺激声是由 Elberling 等^[12]在传统 Chirp 声基础上研究设计的,其特点是刺激声信号在一个周期内载频率随时间延长而增加,克服了耳蜗特殊解剖结构所引起的行波延迟,提高了神经刺激同步性。窄带 CE Chirp 声是由宽带的 Chirp 分解为 4 个滤波后的窄带线性调频,可用于诱发频率特异性的 ASSR 测试^[13],并证实这种声信号在诱发 ASSR 时反应幅度更大,测试时间更短等特性,提高了 ASSR 检测的效率和准确性,更适合于临床评估^[6,14]。

在本研究中将 NB CE-Chirp ASSR 与 Click-ABR 的听力评估结果进行了比较,各组均数差值绝对值为 0.50~4.08 dB,在不同听力损失组别中均表现出了很高的相关性,其中轻度、重度、极重度

组别相关系数为 0.811~0.836,与 Mourtzouchos 等^[3]报道的 160 例听力损失儿童在 2 000 和 4 000 Hz Chirp ASSR 的平均阈值与 ABR 阈值间的高相关性(0.824~0.826)结果相近。值得注意的是在 4 组中,中度听力损失组相关系数较其他组别低,分析原因可能是在组内样本较少的情况下,出现了 4 例特殊病例(3 例陡降型,1 例上升型)。而 click-ABR 未能识别出这些特殊病例,错误评估了听力损失程度,而影响结果的相关性。

在 NB CE-Chirp ASSR 与 PTA 的平均阈值相关性研究中,各组均数差值绝对值为 1.88~3.91 dB,与 Venail 等^[15]报道的 32 例听力损失儿童 Chirp ASSR 反应阈与行为听阈差值为 0.5~4.1 dB 结果相似。差值小于传统 ASSR 反应阈与行为听阈差值;听力正常和轻度损失者差值在 20 dB 以内,中度损失者差值在 10 dB 以内,重度及极重度听力损失者其差值小于 5 dB^[16]。在本研究中,各组相关系数为 0.806~0.954,高于 wadhera 等^[17]报道的传统 ASSR 与行为测听的相关系数为 0.624~0.664。

在进行不同频率相关性研究时,44 例听力损失患儿 PTA 与 NB CE-Chirp ASSR 各频率相关系数为 0.877~0.948,略高于相关报道的 667 例听力损失患者 PTA 与 NB CE-Chirp ASSR 在 500~4 000 Hz 的相关系数(0.83~0.86),均呈极强相关^[18]。但在分组数据中,各组相关系数下降,其原因可能在于分组后 PTA 阈值范围局限,而 NB CE-Chirp ASSR 反应阈值较为离散,对相关性产生较大影响。各组随频率升高,PTA 与 NB CE-Chirp ASSR 二者间的相关系数呈上升趋势,相关系数最高的频率在 4 000 Hz, r 均>0.9,呈极强相关性,其次为 2 000 Hz。在各组中 500 Hz 的相关系数相对较低(0.480~0.770),与陈怡等^[19]不同程度听力损失组各频率的相关系数(0.475~0.846)结果相近。李楚凌等^[20]研究中也发现在高频段 NB CE-Chirp ASSR 反应阈与纯音听阈的相关性高于低频段。分析原因:①刺激声信号受到电生理噪声及环境噪声的干扰,噪声频谱以低频为主;②中高频对低频的抑制作用:中高频声能量在完全衰减前会继续向蜗顶部传播,对低频区基底膜的振动产生影响,导致低频声信号的神经反应同步性差,影响低频阈值^[19]。即使 NB CE-Chirp 刺激声克服了

一部分行波延迟,但仍无法彻底消除中高频刺激声带来的干扰。

综上所述,NB CE-Chirp ASSR 作为新的客观听力评估工具,具备良好的频率特异性,克服了传统调制声信号 ASSR 只有在重度听力损失时才与 PTA 具有相关性的缺点^[13],在不同程度听力损失儿童的听阈评估中与 PTA 阈值具有很好的相关性。同时它能与 click-ABR、相互补充、印证,提高听阈评估的准确性,以获得更加可靠、全面、客观的听力评估结果。随着对 NB CE-Chirp ASSR 的深入研究,以期在客观听力诊断和听力言语康复中发挥其更大的作用。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 王秋菊. 儿童听力损失诊治思考[J]. 临床耳鼻咽喉头颈外科杂志, 2023, 37(3): 161-168.
- [2] Rance G, Dowell RC, Rickards FW, et al. Steady-state evoked potential and behavioral hearing thresholds in a group of children with absent click-evoked auditory brain stem response[J]. *Ear Hear*, 1998, 19(1): 48-61.
- [3] Mourtzouchos K, Riga M, Cebulla M, et al. Comparison of click auditory brainstem response and chirp auditory steady-state response thresholds in children[J]. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 2018, 112: 91-96.
- [4] 李颖, 王雪瑶, 周怡, 等. 0~6 岁听力正常儿童听性脑干反应演化规律及声传导功能异常儿童的特征[J]. 临床耳鼻咽喉头颈外科杂志, 2023, 37(3): 225-230.
- [5] Shore SE, Nuttall AL. High-synchrony cochlear compound action potentials evoked by rising frequency-swept tone bursts[J]. *J Acoust Soc Am*, 1985, 78(4): 1286-1295.
- [6] Stürzebecher E, Cebulla M, Elberling C, et al. New efficient stimuli for evoking frequency-specific auditory steady-state responses[J]. *J Am Acad Audiol*, 2006, 17(6): 448-461.
- [7] World Health Organization. Report of the First Informal Consultation on Future Programme Developments for the Prevention of Deafness and Hearing Impairment[R]. Geneva, 1997, WHO/PDH/1997.
- [8] Brookhouser PE, Gorga MP, Kelly WJ. Auditory brainstem response results as predictors of behavioral auditory thresholds in severe and profound hearing impairment[J]. *Laryngoscope*, 1990, 100(8): 803-810.
- [9] Matsunaga T, Mutai H, Kunishima S, et al. A prevalent founder mutation and genotype-phenotype correlations of OTOF in Japanese patients with auditory neuropathy[J]. *Clin Genet*, 2012, 82(5): 425-432.
- [10] 吴医婕, 吴皓, 李蕴, 等. ASSR、Tb-ABR 和 c-ABR 在正常听力人群客观听阈评估中的相关性分析[J]. 临床耳鼻咽喉头颈外科杂志, 2009, 23(1): 4-7.
- [11] 张建, 李群, 周重昌, 等. 感音神经性聋患者窄带 CE-Chirp ASSR 测试结果初步分析[J]. 中华耳科学杂志, 2019, 17(3): 343-346.
- [12] Elberling C, Don M, Cebulla M, et al. Auditory steady-state responses to chirp stimuli based on cochlear traveling wave delay[J]. *J Acoust Soc Am*, 2007, 122(5): 2772-2785.
- [13] 卢红艳, 王乐, 李玲, 等. 短纯音 ABR 和 NB CE-Chirp ASSR 在陡降型听力损失中的应用[J]. 中华耳科学杂志, 2021, 19(5): 774-780.
- [14] 雷艳, 刘绮明, 黄伟洛. Chirp 声刺激信号发展过程及其应用进展[J]. 中华耳科学杂志, 2021, 19(5): 860-865.
- [15] Venail F, Artaud JP, Blanchet C, et al. Refining the audiological assessment in children using narrow-band CE-Chirp-evoked auditory steady state responses[J]. *Int J Audiol*, 2015, 54(2): 106-113.
- [16] 林少莲, 林有辉, 舒博, 等. 不同程度感音神经性听力损失儿童 ASSR、click-ABR 反应阈与行为听阈的相关性[J]. 听力学及言语疾病杂志, 2022, 30(1): 46-49.
- [17] Wadhera R, Hernot S, Gulati SP, et al. A controlled comparison of auditory steady-state responses and pure-tone audiometry in patients with hearing loss[J]. *Ear Nose Throat J*, 2017, 96(10-11): E47-E52.
- [18] Ehrmann-Müller D, Shehata-Dieler W, Alzoubi A, et al. Using ASSR with narrow-band chirps to evaluate hearing in children and adults[J]. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 2021, 278(1): 49-56.
- [19] 陈怡, 宋江顺, 刘文婷, 等. CE-Chirp 声诱发的听性稳态反应评估听力的价值[J]. 听力学及言语疾病杂志, 2019, 27(3): 247-251.
- [20] 李楚凌, 谭淑娟, 罗香林, 等. 不同程度感音神经性听力损失儿童的 Chirp-ASSR 测试结果分析[J]. 听力学及言语疾病杂志, 2017, 25(6): 591-594.

(收稿日期: 2024-03-31)