

宽频声导抗在婴幼儿听力筛查中的应用研究

宋婷霞

杭州市儿童医院 浙江杭州 310000

摘要: **目的:** 总结宽频声导抗在婴幼儿听力筛查中的最新应用进展, 探讨其在提高筛查准确性和中耳功能评估中的作用。**方法:** 检索中国知网、万方数据库和PubMed等数据库中的相关文献, 筛选高质量的临床研究和系统综述。**结果:** 与传统的226 Hz和1000 Hz声导抗相比, 宽频声导抗在检测婴幼儿中耳异常方面具有更高的敏感性和特异性。将宽频声导抗与OAE和AABR联合使用, 可显著降低婴幼儿听力筛查的假阳性率。宽频声导抗的结果受年龄、种族、外耳道压力等因素影响, 但通过标准化测试方法和建立统一的参考标准, 可提高结果的可靠性。**结论:** 宽频声导抗在婴幼儿听力筛查中具有重要的临床价值, 能够提高中耳疾病的检出率和诊断准确性。应加强大规模、多中心的研究, 完善参考标准和测试规范, 促进宽频声导抗在婴幼儿听力筛查中的广泛应用。**关键词:** 宽频声导抗; 听力筛查; 中耳功能评估

前言

听力损失是全球最常见的感觉障碍之一, 对儿童的语言、认知和社会交往能力的发展有深远影响。据世界卫生组织(WHO)2019年的报告, 全球有超过4.66亿人患有残疾性听力损失, 其中约有3400万是15岁以下的儿童^[1]。在中国, 每1000名出生的新生儿中, 约有1名~3名听力障碍^[2]。听力损失的早期发现和干预对于促进儿童的全面发展至关重要。

声导抗测试是评估中耳功能的常用听力检测方法。传统的声导抗测试主要通过单一频率的探测音评估中耳的传导功能。由于新生儿和婴幼儿中耳解剖和生理特性的特殊性, 传统声导抗在这类人群中的应用效果有限, 易出现假阴性或假阳性结果^[3]。

宽频声导抗(Wideband Tympanometry, WBT)作为一种新型的中耳功能评估技术, 在评估婴幼儿中耳功能、检测中耳病变和提高听力筛查准确性方面具有显著优势, 正逐渐受到关注^[4]。

一、宽频声导抗的原理及特点

不同于传统的单频声导抗测试, 宽频声导抗使用频率范围更广(通常为0.226-8 kHz)的探测音, 能够测量在不同频率和压力下的声能吸收率或反射率, 绘制声

能吸收曲线, 全面反映中耳在不同频率下的传导特性^[5]。声能吸收率是指被中耳吸收的声能与入射声能的比值, 数值范围在0到1之间^[6]。

宽频声导抗覆盖从低频到高频的频率范围, 提供了丰富的声学信息, 能够更准确地检测中耳异常, 提高中耳疾病的检出率^[7], 而且测试过程简单、快速, 无需受试者主动配合, 适用于不同年龄段的受试者, 包括新生儿、婴幼儿和成人^[8]。

二、影响宽频声导抗结果的因素

宽频声导抗会受多种因素影响, 导致测量结果的变异性, 进而影响中耳功能评估的准确性。

(一) 年龄因素

年龄是影响宽频声导抗结果的关键因素之一。婴幼儿的中耳解剖结构和声学特性与成人相比存在显著差异。新生儿和婴幼儿的外耳道较短而软, 中耳含有羊水或黏液的可能性较高, 导致其声能吸收率在高频段较成人高^[9]。Sreedevi等人^[10]发现新生儿的声能吸收率随着外耳道压力的变化而变化, 随着年龄的增长, 6月龄以上婴幼儿这种变化逐渐减少。中国汉族婴幼儿7~48个月组吸收率曲线与国内外成人研究结果相接近^[11]。但是3~6个月组1000 Hz以下及6350 Hz以上的吸收率增高, 可能是因为宽频声导抗受到外耳、中耳发育的影响。

(二) 种族和人种因素

种族和人种差异也会影响宽频声导抗结果。不同种族和人种间的中耳结构、外耳道形态和声学特性可能存在差异。Beers等人^[6]通过比较白种人和黄种人的学

作者简介: 宋婷霞(1999.03), 女, 汉族, 浙江省杭州市, 未定级, 学士, 杭州市儿童医院, 听力与言语康复方向。

龄前儿童声能吸收率, 结果表明, 黄种人学龄前儿童在2000~6 000 Hz频段声能吸收率值比白种人高。Shahnaz和Bork^[12]的研究比较了亚洲和高加索听力正常成年人的宽频声导抗结果, 发现亚洲人在某些频率段的声能吸收率显著高于高加索人。

(三) 外耳道压力

外耳道压力变化对宽频声导抗测量有重要影响。新生儿和婴幼儿的外耳道壁比较柔软, 压力变化可能导致外耳道形变, 影响测试结果^[10]。为了减小压力对结果的影响, Hunter等人^[13]建议在婴幼儿中采用零压力或低压力下的宽频声导抗测量模式。

(四) 性别因素

性别对宽频声导抗结果的影响尚不明确。Feeney等人^[14]的实验表明, 女性在794 Hz和1 000 Hz处声能吸收率值比男性高10%, 但是在5040 Hz处声能吸收率值相较于男性降低18%, 即在性别上并无明显差异。也可能是由于研究对象的身高、体质量无法准确控制, 故在这些方面对宽频声导抗的测试结果可能存在一定的影响。在临床应用中, 通常不需要根据性别调整参考标准。

(五) 测试设备和测量方法

不同型号和厂商的宽频声导抗设备可能存在测量结果的差异。设备的探头设计、校准方式和数据处理算法等都会影响测试结果。Sanford和Feeney等人^[15]强调设备间校准和标准化的重要性, 建议在临床和研究中尽量使用同一型号或经过校准的设备。

(六) 受试者的配合程度

受试者的动作、表情和配合程度也会影响宽频声导抗测试结果。测试过程中, 受试者的吞咽、咳嗽、哭闹等行为会导致数据不稳定, 尤其在婴幼儿中更为突出^[12]。为了获得准确的测量结果, 测试者应尽量安抚受试者, 减少不必要的运动干扰。

(七) 环境因素

测试环境的噪声水平和温度等也会影响宽频声导抗结果。高环境噪声可能会干扰测试信号, 导致测量误差^[16]。因此, 测试应在安静、舒适的环境中进行, 确保测试结果的可靠性。

三、宽频声导抗在婴幼儿听力筛查中的应用

(一) 新生儿听力筛查

新生儿听力筛查是早期发现和干预听力损失的关键环节。Sreedevi等人^[17]在2022年的研究中描述了健康新生儿中的宽频声导抗结果, 并为其建立参考标准。研究表明, 宽频声导抗在评估中耳功能和区分传导性与

感音神经性听力损失方面具有较高的临床应用价值。Hammam等人^[18]2023年的研究进一步探讨了宽频声导抗在新生儿和婴幼儿中的应用, 强调其在听力筛查和诊断中的重要性。研究指出, 相较于传统的单频声导抗, 宽频声导抗在评估中耳功能时表现出更高的敏感性。此外, 该研究还证实了宽频声导抗在减少筛查假阳性结果中的有效性, 有助于区分中耳和内耳的听力损失。因此, 将宽频声导抗测试纳入新生儿听力联合筛查, 可以更准确地评估中耳功能, 降低筛查的假阳性率, 减少不必要的随访。

(二) 中耳功能异常评估

婴幼儿中耳功能异常, 如中耳积液、鼓膜穿孔和听骨链异常, 可能导致传导性听力损失, 进而影响语言和认知发育。宽频声导抗在评估这些中耳病变方面具有独特的优势, 但不同研究对其诊断效能的评价存在一定差异。Venkatesh等人^[19]在2020年的研究中, 比较了正常儿童与患有中耳积液儿童的宽频声导抗结果, 发现患儿在低频段(0.25 - 2 kHz)的声能吸收率显著降低。Callahan等人^[20]在同年的研究, 探讨了宽频声导抗在区分不同类型的中耳积液(如浆液性、黏液性和脓性)中的作用, 结果显示宽频声导抗能够在不同类型的中耳积液之间提供显著的吸收率差异。此外, 宽频声导抗在中耳积液的检测中表现出较高的特异性, 进一步证明了其在中耳功能异常评估中的应用价值。

四、宽频声导抗与传统方法比较

宽频声导抗在评估婴幼儿中耳功能方面, 较传统的226 Hz和1000 Hz声导抗具有明显优势。与OAE和AABR相比, 宽频声导抗能够直接提供中耳状态的信息, 弥补传统听力筛查方法的不足。宽频声导抗的应用有助于提高听力筛查的敏感性和特异性, 减少假阳性和假阴性结果, 对早期发现和干预婴幼儿听力损失具有重要意义。

(一) 与226Hz声导抗比较

在新生儿和婴幼儿中, 226 Hz单频声导抗的敏感性和特异性较低, 容易出现假阴性结果。宽频声导抗在宽频率范围内(0.25 - 8 kHz)测量声能吸收率, 能够全面评估中耳在不同频率下的机械传导特性, 优于226 Hz单频声导抗在检测婴幼儿中耳异常方面的敏感性和特异性。Park^[21]在2017年的研究中, 对比了传统的226 Hz单频声导抗与宽频声导抗的差异, 结果显示226 Hz声导抗在婴幼儿中耳积液诊断中的敏感性较低(约60%), 宽频声导抗提供的声能吸收率测量更为全面, 具有更高的敏感性和特异性(敏感性为90%, 特异性为85%)。

（二）与1000Hz声导抗比较

为解决226 Hz单频声导抗在婴幼儿中的局限性，临床上引入了1000 Hz高频声导抗。1000 Hz声导抗在一定程度上能够提高婴幼儿中耳异常的检测能力。然而，与宽频声导抗相比，1000 Hz声导抗仍存在频率单一、信息量有限的问题。

潘骏良与杨军^[22]在2018年的研究发现，宽频声导抗比1000 Hz声导抗具有更高的灵敏度和特异性，特别是在500 - 2000 Hz之间，宽频声导抗的吸收率图能够更好地区分中耳的不同状态。同样，Yang与Liu^[23]在2020年的研究也表明，宽频声导抗在检测中耳积液时的敏感性和特异性明显高于1000 Hz声导抗，并且宽频声导抗可以识别不同类型的中耳病变，而1000 Hz声导抗的诊断能力较为有限。

（三）与OAE和AABR比较

耳声发射（OAE）和自动听性脑干反应（AABR）是新生儿听力筛查的主要方法，主要评估毛细胞和听神经功能。但是，这些方法无法直接评估中耳功能，且二者结果易受中耳状态影响。

宽频声导抗可以直接评估中耳功能，帮助区分传导性和感音神经性听力损失。Nandel等人^[24]在2017年的研究指出，宽频声导抗在新生儿的听力筛查中被验证为有效评估中耳功能的方法。与OAE和AABR结合使用，宽频声导抗有助于减少受中耳状况影响的假阳性结果，尤其是外耳道和中耳异常可能会影响声能传导路径。

五、存在问题与展望

（一）参考标准的建立

宽频声导抗在不同年龄、种族和地域的人群中尚未建立统一的参考标准^[25]。由于中耳结构和声学特性的个体差异，不同研究中的参考值可能存在显著差异，导致结果解读的不一致^[26]。另外，目前关于宽频声导抗的研究多为小样本、单中心的研究，缺乏大规模、多中心的临床试验^[27]，限制了宽频声导抗在不同人群和临床情境下性能的全面评估，影响其证据水平和临床推荐力度。未来应开展大规模、多中心的研究，收集不同年龄、种族和地域人群的宽频声导抗数据，建立规范的参考标准。

（二）测试规范的完善

不同厂商的宽频声导抗设备在探头设计、校准方法和数据处理算法等方面存在差异，导致测量结果的不一致^[28]。测试参数的选择（如压力范围、频率分辨率等）缺乏统一规范。这种设备和方法上的多样性增加了结果的可变性，影响临床评估的准确性。应制定宽频声导抗测试规范，统一设备校准方法、测试参数和数据处理算

法^[29]。同时，行业协会和专业组织应推动厂商间的合作，促进设备的一致性和互操作性。

（三）未来研究方向

宽频声导抗提供不同频率和压力下的声学数据，结果解读相对复杂。与传统声导抗相比，临床医师需要掌握更多的知识和技能，才能准确分析和应用这些数据^[30]。这可能增加临床医师的工作负担，影响临床效率。应利用人工智能和机器学习技术，尽快开发宽频声导抗数据的自动分析和解读工具，简化结果解释过程，降低临床工作负担，提高临床应用的效率和准确性。

参考文献

- [1]Neumann K ,Chadha S ,Tavartkiladze G , et al.Newborn and Infant Hearing Screening Facing Globally Growing Numbers of People Suffering from Disabling Hearing Loss[J].International Journal of Neonatal Screening,2019,5(1):7.
- [2]沈晓明.我国开展新生儿听力筛查的意义[J].临床儿科杂志, 2001, 19 (02): 67-67.
- [3]邹彬, 罗仁忠.婴幼儿分泌性中耳炎误诊分析[J].临床耳鼻咽喉头颈外科杂志, 2010, 24 (02): 87-88.
- [4]韩德民, 许时昂.听力学基础与临床[M].北京: 科学技术文献出版社, 2004: 288-304.
- [5]Nakajima H H, Pisano D V, Roosli C, et al. Comparison of ear-canal reflectance and umbo velocity in patients with conductive hearing loss: a preliminary study[J]. Ear and hearing, 2012, 33(1): 35-43.
- [6]Beers A N, Shahnaz N, Westerberg B D, et al. Wideband reflectance in normal Caucasian and Chinese school-aged children and in children with otitis media with effusion[J]. Ear and hearing, 2010, 31(2): 221-233.
- [7]Sreedevi A ,Joseph K ,Venkatesh A , et al.Normative Study of Wideband Acoustic Immittance Measures in Newborn Infants.[J].Journal of speech, language, and hearing research : JSLHR,2017,60(5):1417-1426.
- [8]Joshua M ,Joseph K ,Sreedevi A , et al.Development of a Diagnostic Prediction Model for Conductive Conditions in Neonates Using Wideband Acoustic Immittance.[J].Ear and hearing,2018,39(6):1116-1135.
- [9]Won J, Monroy G L, Huang P C, et al. Assessing the effect of middle ear effusions on wideband acoustic immittance using optical coherence tomography[J]. Ear and hearing, 2020, 41(4): 811-824.

- [10]Sreedevi A ,Venkatesh A ,Joseph K .Effect of ear canal pressure and age on wideband absorbance in young infants.[J]. International journal of audiology,2017,56(5):346-355.
- [11]黄孟捷, 郑芸, 王恺. 正常成人宽频声导抗能量反射的初步研究[J]. 听力学及言语疾病杂志, 2010, 18 (5) : 433-436.
- [12]Shahnaz N, Bork K. Wideband reflectance norms for Caucasian and Chinese young adults[J]. Ear and hearing, 2006, 27(6): 774-788.
- [13]Hunter L L, Tubaugth L, Jackson A, et al. Wideband middle ear power measurement in infants and children[J]. Journal of the American Academy of Audiology, 2008, 19(04): 309-324.
- [14]Feeney M P, Sanford C A. Age effects in the human middle ear: Wideband acoustical measures[J]. The Journal of the Acoustical Society of America, 2004, 116(6): 3546-3558.
- [15]Sanford CA, Feeney MP.Effects of maturation on tympanometric wideband acoustic transfer functions in human infants[J].J Acoust Soc Am, 2008, 124 (4) :2106-2122.
- [16]Yang W, Moon H J. Effects of recorded water sounds on intrusive traffic noise perception under three indoor temperatures[J]. Applied Acoustics, 2019, 145: 234-244.
- [17]Sreedevi A ,Venkatesh A ,Joseph K , et al.Wideband Tympanometry Findings in Healthy Neonates.[J].Journal of the American Academy of Audiology,2023.
- [18]Hammam A ,Sreedevi A ,Venkatesh A , et al.Use of Wideband Acoustic Immittance in Neonates and Infants.[J]. Seminars in hearing,2023,44(1):29-45.
- [19]Venkatesh A ,Sreedevi A ,Joseph K , et al.Predictive Accuracy of Wideband Absorbance at Ambient and Tympanometric Peak Pressure Conditions in Identifying Children with Surgically Confirmed Otitis Media with Effusion.[J].Journal of the American Academy of Audiology,2020,31(7):471-484.
- [20]Callaham S, Newby M, Saoji A A, et al. Assessment of pediatric middle ear effusions with wideband tympanometry[J]. Otolaryngology - Head and Neck Surgery, 2021, 165(3): 465-469.
- [21]Park M K. Clinical applications of wideband tympanometry[J]. Korean Journal of Otorhinolaryngology-Head and Neck Surgery, 2017, 60(8): 375-380.
- [22]潘骏良, 杨军. 宽频声导抗在分泌性中耳炎诊断中的临床应用价值[J]. 临床耳鼻咽喉头颈外科杂志, 2018, 32 (17) : 1309-1315.
- [23]Yang K ,Liu Z .Comparison of 1000 Hz-, 226 Hz- probe tone tympanometry and magnetic resonance imaging in evaluating the function of middle ear in infants[J].International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology,2020,136(prepublish):110135.
- [24]Nandel G ,Wet D S ,Biagio L J D .Wideband acoustic immittance for assessing middle ear functioning for preterm neonates in the neonatal intensive care unit.[J].The South African journal of communication disorders = Die Suid-Afrikaanse tydskrif vir Kommunikasiefwykings,2017,64 (1):e1-e11.
- [25]Navid S ,Patrick M F ,S K S .Wideband acoustic immittance normative data: ethnicity, gender, aging, and instrumentation.[J].Ear and hearing,2013,34 Suppl 1(7 Suppl 1):27S-35S.
- [26]Patrick M F ,Bert S ,H D K , et al.Sources of variability in wideband energy reflectance measurements in adults.[J].Journal of the American Academy of Audiology,2014,25(5):449-61.
- [27]Dupont D H ,Munk N L ,Kuhr R S , et al.Study on wideband tympanometry and absorbance within a Danish cohort of normal hearing adults.[J].European archives of oto-rhino-laryngology : official journal of the European Federation of Oto-Rhino-Laryngological Societies (EUFOS) : affiliated with the German Society for Oto-Rhino-Laryngology - Head and Neck Surgery,2020,277(7):1899-1905.
- [28]Hermann G. Design of a calibration system for measuring probes[C]//2008 International Conference on Intelligent Engineering Systems. IEEE, 2008: 59-62.
- [29]Rumiantsev A, Sakalas P, Derrier N, et al. Influence of probe tip calibration on measurement accuracy of small-signal parameters of advanced BiCMOS HBTs[M]//On-Wafer Calibration Techniques Enabling Accurate Characterization of High-Performance Silicon Devices at the mm-Wave Range and Beyond. River Publishers, 2022: 200-204.
- [30]Laura S ,Sabine N ,Andrea B , et al.Clinical benefit of wideband-tympanometry: a pediatric audiology clinical study.[J].European archives of oto-rhino-laryngology : official journal of the European Federation of Oto-Rhino-Laryngological Societies (EUFOS) : affiliated with the German Society for Oto-Rhino-Laryngology - Head and Neck Surgery,2019,276(9):2433-2439.