

宽频声导抗测试在耳科疾病诊断中的临床研究进展

肖中奂, 姚红兵*

重庆医科大学附属儿童医院耳鼻咽喉头颈外科, 国家儿童健康与疾病临床医学研究中心, 儿童发育疾病研究教育部重点实验室, 儿童医疗大数据智能应用重庆市高校工程研究中心, 重庆

收稿日期: 2025年3月3日; 录用日期: 2025年3月26日; 发布日期: 2025年4月7日

摘要

宽频声导抗(wideband absorbance tympanometry, WBT)利用226~8000 Hz的宽频探测音评估中耳和内耳功能, 关键指标包括能量吸收率(wideband absorbance, WBA)、吸收声能(absorbed acoustic energy, AE)、反射声能(reflected acoustic energy, RE)、平均鼓室图(average tympanogram, AT)和中耳共振频率(middle ear resonance frequency, RF)等, 为耳科疾病诊断提供了更全面的信息。本文综述了WBT的基本原理、影响声能吸收率的因素(如年龄、性别、种族等), 以及其在耳科疾病诊断中的临床应用和未来发展。

关键词

宽频声导抗, 中耳功能, 疾病诊断

Clinical Research Progress of Wideband Absorbance Tympanometry in the Diagnosis of Otological Disorders

Zhonghuan Xiao, Hongbing Yao*

Department of Otolaryngology Head and Neck Surgery, Children's Hospital of Chongqing Medical University, National Clinical Research Center for Child Health and Disorders, Ministry of Education Key Laboratory of Child Development and Disorders, Intelligent Application of Big Data in Pediatrics Engineering Research Center of Chongqing Education Commission of China, Chongqing

Received: Mar. 3rd, 2025; accepted: Mar. 26th, 2025; published: Apr. 7th, 2025

*通讯作者。

文章引用: 肖中奂, 姚红兵. 宽频声导抗测试在耳科疾病诊断中的临床研究进展[J]. 临床医学进展, 2025, 15(4): 806-813. DOI: 10.12677/acm.2025.154998

Abstract

Wideband absorbance tympanometry (WBT) utilizes a broadband probe tone ranging from 226 to 8000 Hz to assess middle and inner ear function. Key metrics include wideband absorbance (WBA), absorbed acoustic energy (AE), reflected acoustic energy (RE), average tympanogram (AT), and middle ear resonance frequency (RF), among others, providing comprehensive information for the diagnosis of otologic diseases. This article reviews the fundamental principles of WBT, factors influencing energy absorbance (such as age, sex, and ethnicity), as well as its clinical applications in otologic diagnosis and future directions for development.

Keywords

Wideband Absorbance Tympanometry, Middle Ear Function, Disease Diagnosis

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 宽频声导抗原理

宽频声导抗(wideband absorbance tympanometry, WBT)是由 Keefe 等[1]于 20 世纪 90 年代开始研究的一种新型中耳检测方式。声能吸收率(EA)和反射率(ER)分别定义为吸收声能与总声能的比值和反射声能与总声能的比值[2][3]。这些参数基于声导抗的基本原理,高反射率对应较大阻抗和较低吸收率,高吸收率对应较低阻抗和较高导纳[4]。WBT 可测得患者宽频声导抗峰压(tympanometric peak pressure, TPP)和 0 daPa (即环境压力)下两条宽频声能吸收率曲线,并可通过与正常参考范围曲线比较,评估患者外中耳对各个频率的声能吸收率[5]。平均鼓室图(AT)根据鼓室压力和声顺值的变化可分为不同类型,每种类型对应不同的中耳功能和鼓膜形态。中耳共振频率(RF)是指中耳的质量和劲度刚好相抵消时的频率[6],在检测中耳的微小病变具有更高的敏感度[7]。

2. 影响声能吸收率的因素

2.1. 性别及耳别

目前,多数研究表明,性别对能量吸收率无显著影响,但左右耳之间可能存在微小差异。如邢宇轩[8]和王伟星[9]的研究显示正常成人性别间 WAI 能量吸收率无显著性差异。亓贝尔[10]通过分析 90 例新生儿数据,发现声能吸收率特征与性别无显著相关性。但 Werner 等[11]发现左耳的 ER 值稍低于右耳,可能与双耳容积及中耳功能力学特性的微小差异有关[8]。而赵哲励炜[12]的研究发现,性别间在特定频率下存在差异:在 1000 Hz 以下和 7000 Hz 以上,男性高于女性;在 4000~6000 Hz,女性高于男性,推测与外耳道容积有关。

2.2. 种族

种族对能量吸收率(WBA)的影响较为确切,不同种族的 WBA 结果差异显著。对中国[13]、巴西[14]和高加索[15]儿童的比较研究表明,所有群体的吸收率都随频率的增加而增加,在 2000~4000 Hz 之间达到峰值,然后下降。值得注意的是,中国儿童的峰值在 4000 Hz 左右,巴西儿童的峰值略高于 2000 Hz,

高加索儿童的峰值在 2000~4000 Hz 之间。尽管将 WBA 的变化与种族差异直接关联的证据有限, 但研究表明, 儿童颅面和咽喉形态的种族差异可能影响中耳的声能传输[16]。

但 Downing 等[17]在一项横断面研究中, 发现性别、耳别和种族特异性在 0 daPa 和 WBTPP 无显著差异。因此, 性别、耳别、种族对声能吸收率的影响仍有争议。

2.3. 年龄

年龄是影响声能吸收率的关键因素, 新生儿、婴幼儿、儿童及成人间的吸收率具有显著差异。Keefe 等[18]发现婴儿中耳顺应性低于成人, 中耳阻力较高。高墨梅等[19]的研究进一步揭示了不同年龄段儿童在特定频率下吸收率的差异, 包括 (3.5 ± 0.7) 月和 (4.0 ± 0.6) 岁正常组, 表明小龄组和大龄组在 226~1155 Hz 和 4757~8000 Hz 频率范围内的声能吸收率差异具有统计学意义。

Shahnaz [20]等发现成人和儿童之间的 WBA 曲线模式不同, 成人通常表现为双峰曲线, 儿童表现为单峰曲线。这可能主要受中耳腔的体积影响较大。有研究表明, 出生时中耳腔体积为 0.7~1.1 mL, 1~6 岁体积呈线性增长, 此后生长速度饱和, 达到成人平均大小 6.5~8.0 mL [21]。Feeney 等[22]报道, 在低频范围内, 年长组的声能吸收率高于年轻组, 而在高频范围内则低于年轻组。

3. 正常人群现状研究

研究表明, 新生儿内耳的结构与功能已达到成熟状态, 与成年人相比无显著差异[23] [24]。因此, WBT 的吸收效率主要受外耳道及中耳发育状况的制约。新生儿的外耳道主要由软骨结构组成, 从第四个月开始向骨化转变[25]。与此同时, 听小骨链的骨密度及其相互连接性逐渐增加, 导致中耳的声学特性发生显著改变[25]。

3.1. 新生儿

新生儿是目前 WBT 研究应用最多的群体。Peng [26]等人研究了 1 至 5 个月婴儿的 WBA 模式, 发现 4000 Hz 的声能吸收率随年龄增长先升后降, 而其他频率(除 2670 Hz 和 3364 Hz 外)均呈下降趋势。Wali 等[27]的研究指出在 0.25~0.31 kHz 及 2~5 kHz 范围内, 3~6 月龄婴儿的 WBA 值与 0~2 月龄婴儿相比有显著差异。这些研究揭示了不同年龄组的 WBA 频率谱变化, 反映了听觉系统的发育。孙靖等人[28]的研究进一步表明, 中耳正常组的婴幼儿按年龄分为 0~6 月龄、7~12 月龄和 13~24 月龄三组时, 其宽频声导抗测试(WBT)的吸收率在各频率上均存在显著差异, 但三组的宽频吸收率(WBA)曲线均呈现不对称的“M”形特征。林丁丁等人[5]对 41 例足月婴儿的宽频声导抗测试也显示, 即在低频及 4000 Hz 附近较低、在 1296 Hz 附近及高频较高, 且在 8000 Hz 处有一最低点, 且声能吸收率随频率增大呈“两峰两谷”形态, 与孙靖等[27]观察到的正常新生儿宽频声能吸收率随频率增大呈“两峰两谷”形态的结果类似。这些研究共同证实了 WBT 在评估婴幼儿中耳功能中的有效性和准确性。

3.2. 正常成年人

邢宇轩等[8]选取了 60 名正常人的样本, 对其声能吸收率进行了深入研究。结果发现, 在正常青年人中, 宽频声导抗测试在低频区域的能量吸收率相对较低, 随后呈现出快速增长的趋势; 而当频率进入中高频区域时, 能量吸收率则维持在较高水平。进一步分析显示, 仅在 2000 Hz 频率段, 左右耳之间的能量吸收率差异具有统计学意义。王伟星[9]等测试 78 例听力正常成年人, 在 1095~2290 Hz 范围内声能吸收率维持在较高水平。Hougaard 等[29]最近的一项研究分析了正常中耳条件下 99 只耳朵的宽频能量吸收鼓室图。结果显示, 无论耳压如何, 低频中 EA 都会随频率增加。在+50~+150 daPa 之间的正压下, 声能

吸收率(EA)在 4000~5000 Hz 左右达到峰值, 随后在较高频率下急剧下降。这项研究为听力和中耳功能正常的成年人提供了重要的鼓室 3D 能量吸收信息。

4. WBT 的临床应用

近年来, WBT 在中耳疾病及部分内耳疾病诊断中的应用得到广泛研究。与无中耳病变的儿童对照组相比, WBT 在鉴别传导性听力损失(CHL)病因方面表现出显著优势, 尤其是对中耳炎[30]、耳硬化[31]和听骨链发育异常[32]等病变。

4.1. 分泌性中耳炎

分泌性中耳炎(otitis media with effusion, OME)是 WBT 研究的重点领域。有研究表明, 能量吸收率曲线(WBA)与中耳积液量密切相关, 为 OME 的诊断和病情评估提供了重要依据。然而, WBA 在鉴别 OME 类型及深入研究方面的价值仍需进一步探索

Liang 等[33]的研究指出, 患有 OME 的 3~7 岁儿童在 470~1030 Hz 频率范围内的声能吸收率显著下降。王璐[34]的研究发现, 在 0 daPa 和 TPP 条件下, OME 患者的声能吸收率曲线均呈山峰型, 且在 3~4 kHz 频率范围内达到最大值。孙靖等[28]将 0~24 月龄正常婴幼儿与该年龄段婴幼儿分泌性中耳炎 WBA 对比, 研究显示对照组 WBA 在 891~2245 Hz 频率范围内下降最为显著。Sahin 等[35]研究发现, OME 组的 TPP 和 RF 值显著低于对照组, 差异具有高度统计学意义($P < 0.001$)。同时, 在所有测试频率下, OME 组耳朵的能量吸收率均低于对照组, 尤其在 250 Hz、500 Hz 和 1000 Hz 这三个频率点上, 差异更为突出, 与 Liang 等[33]研究相符合。

Merchant 等[36]研究了中耳积液量对手术证实的积液性中耳炎患儿宽频声导抗的系统性影响。研究结果显示, 随着中耳积液量的增加, 能量吸收率系统性降低, 尤其在 1000~5000 Hz 频率范围内最为显著。Sentürk 等[37]将分泌性中耳炎患者的耳朵分为浆液型、黏液型、鼓膜不张型和空耳型四类, 并对比分析了这些类型的共振频率、226 Hz 及 1000 Hz 顺应性、TPP 和能量吸收率。研究显示, 中耳功能正常者的相关指标呈阴性的概率是中耳异常者的 9 倍。尽管这些指标能在一定程度上区分浆液型与空耳型, 但对鉴别分泌性中耳炎类型的作用有限。张旭等[38]研究发现, OME 患儿的中耳共振频率和能量吸收率分别与中耳积液黏稠度、气骨导差水平相关($P < 0.05$), 表明宽频声导抗的共振频率和能量吸收率可以作为 OME 诊断的潜在指标。

学者们日益重视宽频声导抗测试在分泌性中耳炎伴中耳功能性先天缺陷(特别是唇腭裂)中的应用[39]。研究表明, 宽频声导抗测试是传统单频声导抗检测的有效拓展。

4.2. 应用于其他中耳疾病

耳硬化症是一种累及中耳的慢性疾病, 其特征是镫骨及其周边骨质异常骨化, 可能导致镫骨固定, 干扰声音传导, 最终引发传导性听力损失[40]。陈露静等[41]研究了耳硬化症组 45 耳和正常组 76 耳, 比较了峰压下的声能吸收率。结果显示, 耳硬化症组的声能吸收率在 917/972~1029/1091~1297/1456/1731/2059~3462/4000~5339 Hz 频率范围内显著低于正常组($P < 0.05$)。耳硬化症患者在 1000 Hz 以下与正常组相比无异常切迹。汪晓锋等[42]研究发现, 耳硬化症患者在 1000 Hz 以下与正常组相比无异常切迹。报道之间的差异可能源于样本规模、患者性别构成、年龄分布及疾病阶段的差异。Nourizadeh 等[32]指出, 能量吸收率不应单独作为诊断耳硬化症的依据, 而应结合其他诊断手段进行综合评估。

基于人耳有限元模型, 张瑞宁等[43]研究了三种中耳听骨链病变的宽频声导抗(WBA)变化特征。实验显示, 砧镫关节缺失会导致 1000 Hz 频率附近的 WBA 值显著上升, 而砧骨与锤骨固定则使低频范围内

的 WBA 值显著下降, 这两种病变在宽频声导抗测试中均表现出特征性变化。研究还发现, 镫骨固定虽可导致低频段能量吸收率降低和中频段能量吸收率升高, 但变化程度较小, 在宽频声导抗测试中缺乏显著特征。这一研究成果为中耳畸形的临床宽频声导抗诊断提供了重要的理论依据。

Karuppannan 等[44]比较了鼓膜穿孔患者与听力正常人的 WBA, 发现鼓膜穿孔组在中低频(<2500 Hz)的 WBA 均降低。

4.3. 应用于内耳疾病

目前, 不少学者应用 WBT 评估部分内耳病变。Soares 等[45]基于鼓室压力测量结果, 对比分析了唐氏综合征(Down Syndrome, DS)儿童与正常发育且听力正常儿童的宽频声导抗(WBT)测量值。研究表明, WBT 有望成为临床诊断工具, 用于评估 DS 群体中的中耳疾病影响。Kaya 等[46]检测了不同种类内耳畸形的 WBA。

研究显示, 内耳结构缺失会不利影响中耳能量吸收及其他传递函数。此外, WBT 可能为内耳畸形患者的诊断提供额外信息。Sao 等[47]研究了 5 名单侧人工耳蜗植入者术前术后双侧 WBT 声能吸收率的变化, 并对比了植入耳与未植入耳的测量结果。结果显示, 人工耳蜗植入会导致 WBT 测量的低频吸音降低。Li 等[48]研究揭示了大前庭导水管综合征(Large Vestibular Aqueduct Syndrome, LVAS)在宽频声导抗(WAI)检测中的特征: 与正常组相比, LVAS 患者在中低频段(343~1124 Hz 及 1943~2448 Hz) WBA 值较高, 而高频段(3886~6727 Hz)则较低。该结果与丁璐等[49]和张丽芳等[50]的研究一致, 后者分别发现 LVAS 患者在 226~1000 Hz 频段 WBA 增高, 以及在 1000 Hz、1189 Hz、1296 Hz、2000 Hz 和 4000 Hz 等特定频率下 WBA 较低。

5. 总结与展望

宽频声导抗测试(WBT)在诊断分泌性中耳炎、耳硬化症及听骨链异常等疾病中优于传统方法, 尤其在婴幼儿中耳功能评估中成为重要工具。此外, WBT 在内耳疾病如大前庭导水管综合征的诊断中也展现价值。

然而, WBT 在临床推广应用仍面临诸多挑战。首先, 基础数据的标准化建设亟待完善。目前, 关于种族、年龄和性别等因素对声能吸收率的影响机制尚未完全明确, 迫切需要开展大规模多中心研究, 以建立精准的参考标准体系。其次, 在疾病特异性诊断方面, WBT 对不同类型分泌性中耳炎的鉴别诊断价值仍需更多研究证据支持。此外, 设备的标准化和临床普及也是制约 WBT 广泛应用的关键因素, 这需要产学研各界的协同努力。

展望未来, WBT 技术的发展将沿着以下方向深入推进: 一是建立标准化参考值体系。通过多中心、大样本的临床研究, 构建涵盖新生儿、儿童、成人等不同人群的 WBT 参考值数据库, 为临床诊断提供科学依据。二是构建智能化诊断平台。整合人工智能与大数据分析技术, 开发以 WBT 特征为核心的中耳疾病智能识别系统, 从而实现对疾病的精准分类与鉴别。三是构建多模态诊断体系。将 WBT 与传统听力检测技术(如纯音测听、声反射测试)有机结合, 形成优势互补的综合诊断方案。四是推进设备优化与普及。通过技术创新降低设备成本, 开发便携式检测设备, 推动 WBT 在基层医疗机构的广泛应用。

作为耳科学领域的一项重要技术创新, 宽频声导抗测试正在重塑中耳疾病的诊断模式。随着技术的不断革新和临床应用的深入, WBT 有望成为中耳疾病诊断和监测的核心工具, 为耳科疾病的精准诊疗提供强有力的技术支撑。

参考文献

- [1] Margolis, R.H., Saly, G.L. and Keefe, D.H. (1999) Wideband Reflectance Tympanometry in Normal Adults. *The Journal*

- of the Acoustical Society of America, **106**, 265-280. <https://doi.org/10.1121/1.427055>
- [2] 刁明芳, 孙建军. 电声学/电生理学听力检测在儿童分泌性中耳炎诊断中的应用[J]. 听力学及言语疾病杂志, 2022, 30(2): 143-145.
 - [3] 宋红芳, 王伟星. 宽频声导抗在听力正常成年人中的应用[J]. 中国医疗器械信息, 2021, 27(1): 46-49.
 - [4] Jiang, W., Mu, Y., Zhao, F. and Wang, P. (2024) Advancements in Pediatric Audiological Assessments Using Wideband Acoustic Immittance: A Review. *Audiology Research*, **14**, 684-700. <https://doi.org/10.3390/audiolres14040058>
 - [5] 林丁丁, 林少莲, 林有辉, 等. 正常婴儿宽频声导抗声能吸收率特点及相关影响因素分析[J]. 听力学及言语疾病杂志, 2022, 30(5): 523-527.
 - [6] Rye, M.S., Blackwell, J.M. and Jamieson, S.E. (2012) Genetic Susceptibility to Otitis Media in Childhood. *The Laryngoscope*, **122**, 665-675. <https://doi.org/10.1002/lary.22506>
 - [7] Rosenfeld, R.M., Shin, J.J., Schwartz, S.R., Coggins, R., Gagnon, L., Hackell, J.M., et al. (2016) Clinical Practice Guideline: Otitis Media with Effusion (Update). *Otolaryngology—Head and Neck Surgery*, **154**, S1-S41. <https://doi.org/10.1177/0194599815623467>
 - [8] 邢宇轩, 蒋雯, 仝悦, 等. 听力正常青年人宽频声导抗能量吸收率的初步研究[J]. 山东大学耳鼻喉眼学报, 2020, 34(1): 38-41.
 - [9] 王伟星, 宋红芳. 宽频声导抗在听力正常成年人中的应用[J]. 中国医疗器械信息, 2021, 27(1): 46-49.
 - [10] 亓贝尔, 刘佳星, 文钺, 等. 听力正常新生儿宽频声导抗特征值初探[J]. 临床耳鼻咽喉头颈外科杂志, 2018, 32(4): 244-249.
 - [11] Werner, L.A., Levi, E.C. and Keefe, D.H. (2010) Ear-Canal Wideband Acoustic Transfer Functions of Adults and Two-to Nine-Month-Old Infants. *Ear & Hearing*, **31**, 587-598. <https://doi.org/10.1097/aud.0b013e3181e0381d>
 - [12] 赵哲励伟, 林颖, 任寸寸, 等. 分泌性中耳炎患儿的宽频声导抗特征研究[J]. 听力学及言语疾病杂志, 2021, 29(6): 635-638.
 - [13] Guo, Q., Yao, H., Sun, X., et al. (2021) Study of the Wideband Absorbance in Chinese Pre-School Children with Normal Hearing. *Audiology, Speech & Language Pathology*, **29**, 373-377.
 - [14] Durante, A.S., Santos, M., Roque, N.M.C.D.F., Gameiro, M.S., Almeida, K.D. and Sousa Neto, O.M.D. (2019) Wideband Acoustic Absorbance in Children with down Syndrome. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, **85**, 193-198. <https://doi.org/10.1016/j.bjorl.2017.12.006>
 - [15] Aithal, S., Aithal, V., Kei, J. and Manuel, A. (2019) Effect of Negative Middle Ear Pressure and Compensated Pressure on Wideband Absorbance and Otoacoustic Emissions in Children. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, **62**, 3516-3530. https://doi.org/10.1044/2019_jslhr-h-18-0426
 - [16] Kollara, L., Perry, J.L. and Hudson, S. (2016) Racial Variations in Velopharyngeal and Craniometric Morphology in Children: An Imaging Study. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, **59**, 27-38. https://doi.org/10.1044/2015_jslhr-s-14-0236
 - [17] Downing, C., Kei, J., Driscoll, C., Choi, R. and Scott, D. (2021) Wideband Tympanometry Findings in School-Aged Children: Effects of Age, Gender, Ear Laterality, and Ethnicity. *Ear & Hearing*, **43**, 1245-1255. <https://doi.org/10.1097/aud.0000000000001197>
 - [18] Keefe, D.H., Bulen, J.C., Archart, K.H. and Burns, E.M. (1993) Ear-Canal Impedance and Reflection Coefficient in Human Infants and Adults. *The Journal of the Acoustical Society of America*, **94**, 2617-2638. <https://doi.org/10.1121/1.407347>
 - [19] 高墨梅, 尹德佩, 樊明月, 等. 宽频声导抗在不同年龄段儿童分泌性中耳炎的特征值分析[J]. 临床耳鼻咽喉头颈外科杂志, 2022, 36(3): 180-184.
 - [20] Shahnaz, N., Aithal, S. and Barga, G.A. (2023) Wideband Acoustic Immittance in Children. *Seminars in Hearing*, **44**, 46-64. <https://doi.org/10.1055/s-0043-1763294>
 - [21] Cinamon, U. (2009) The Growth Rate and Size of the Mastoid Air Cell System and Mastoid Bone: A Review and Reference. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, **266**, 781-786. <https://doi.org/10.1007/s00405-009-0941-8>
 - [22] Feeney, M.P. (2014) Wideband Acoustic Immittance Measurements of Middle Ear Function. *Journal of the American Academy of Audiology*, **25**, 424-424. <https://doi.org/10.3766/jaaa.25.5.1>
 - [23] Eby, T.L. and Nadol, J.B. (1986) Postnatal Growth of the Human Temporal Bone. *Annals of Otology, Rhinology & Laryngology*, **95**, 356-364. <https://doi.org/10.1177/000348948609500407>
 - [24] Lavigne-Rebillard, M. and Pujol, R. (1990) Auditory Hair Cells in Human Fetuses: Synaptogenesis and Ciliogenesis. *Journal of Electron Microscopy Technique*, **15**, 115-122. <https://doi.org/10.1002/jemt.1060150204>
 - [25] Mozaffari, M., Nash, R. and Tucker, A.S. (2021) Anatomy and Development of the Mammalian External Auditory Canal:

- Implications for Understanding Canal Disease and Deformity. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, **8**, Article 317354. <https://doi.org/10.3389/fcell.2020.617354>
- [26] Peng, S., Li, G., Yin, H., *et al.* (2023) A Preliminary Study on Wideband Acoustic Immittance of Infants with Normal Bilateral Middle Ear Function at the Age of 1-5 Months. *Journal of Clinical Otorhinolaryngology, Head, and Neck Surgery*, **37**, 231-234.
- [27] Wali, H.A., Mazlan, R. and Kei, J. (2019) A Longitudinal Analysis of Pressurized Wideband Absorbance Measures in Healthy Young Infants. *Ear and Hearing*, **40**, 1233-1241. <https://doi.org/10.1097/aud.0000000000000707>
- [28] 孙靖, 付勇, 徐彬, 等. 宽频声导抗应用于评估 0-24 月龄婴幼儿中耳功能检查的临床研究[J]. 中华耳科学杂志, 2021, 19(2): 258-264.
- [29] Hougaard, D.D., Lyhne, N.M., Skals, R.K. and Kristensen, M. (2020) Study on Wideband Tympanometry and Absorbance within a Danish Cohort of Normal Hearing Adults. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, **277**, 1899-1905. <https://doi.org/10.1007/s00405-020-05909-9>
- [30] Aithal, V., Aithal, S., Kei, J., Anderson, S. and Wright, D. (2020) Predictive Accuracy of Wideband Absorbance at Ambient and Tympanometric Peak Pressure Conditions in Identifying Children with Surgically Confirmed Otitis Media with Effusion. *Journal of the American Academy of Audiology*, **277**, 1899-1905. <https://doi.org/10.3766/jaaa19012>
- [31] Karuppannan, A. and Barman, A. (2021) Wideband Absorbance Tympanometry: A Novel Method in Identifying Otosclerosis. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, **278**, 4305-4314. <https://doi.org/10.1007/s00405-020-06571-x>
- [32] Nourizadeh, N., Ghezi, A., Afzalzadeh, M., Khaniki, S.H., Behzad, H., Kafashan, S., *et al.* (2024) Evaluation of Diagnostic Accuracy of Wideband Tympanometry Absorbance for Otosclerosis. *Indian Journal of Otolaryngology and Head & Neck Surgery*, **76**, 5119-5125. <https://doi.org/10.1007/s12070-024-04876-5>
- [33] Liang, J., Xiao, L., Sun, X.Y. and Zou, B. (2021) Characteristics of the Wideband Absorbance of Acoustic Energy in Children (3-7 Years Old) with Otitis Media with Effusion. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, **140**, Article 110496. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2020.110496>
- [34] 王璐, 汪玮, 施乐娟, 等. 分泌性中耳炎儿童宽频声导抗测试声能吸收率特征研究[J]. 听力学及言语疾病杂志, 2021, 29(4): 365-369.
- [35] Şahin, M.I., Özyürek, D.D., Vural, A., Zararsız, G., Ketenci, I. and Ünlü, Y. (2022) Can Wideband Tympanometry Predict the Prognosis of Otitis Media with Effusion? *Journal of Audiology and Otology*, **26**, 12-18. <https://doi.org/10.7874/jao.2021.00633>
- [36] Merchant, G.R., Al-Salim, S., Tempero, R.M., Fitzpatrick, D. and Neely, S.T. (2021) Improving the Differential Diagnosis of Otitis Media with Effusion Using Wideband Acoustic Immittance. *Ear & Hearing*, **42**, 1183-1194. <https://doi.org/10.1097/aud.0000000000001037>
- [37] Senturk, M., Ardic, F.N., Tumkaya, F. and Kara, C.O. (2023) Wideband Tympanometry and Absorbance for Diagnosing Middle Ear Fluids in Otitis Media with Effusion. *The Journal of International Advanced Otology*, **19**, 140-148. <https://doi.org/10.5152/iao.2023.22697>
- [38] 张旭, 田萌, 张磊. 中耳炎患儿宽频声导抗与中耳积液黏稠度、气骨导差的相关性分析[J]. 医学理论与实践, 2023, 36(11): 1932-1934.
- [39] 陈肇臻, 刘华涛, 卓明英, 等. 唇腭裂患儿分泌性中耳炎宽频声导抗分析[J]. 实用临床医学, 2023, 24(2): 58-61+80.
- [40] 肖龙开, 刘爱国, 马华良, 等. 镫骨底板开窗术治疗耳硬化症进展[J]. 中华耳科学杂志, 2023, 21(3): 390-395.
- [41] 陈露静, 兰兰, 黄鑫, 等. 耳硬化症和中耳畸形患者的宽频声导抗研究[J]. 中华耳科学杂志, 2020, 18(1): 57-62.
- [42] 汪晓锋, 苏文玲, 骆献阳. 宽频声导抗对耳硬化症及先天性听骨链畸形的诊断价值[J]. 中国耳鼻咽喉头颈外科, 2023, 30(1): 10-12.
- [43] 张瑞宁, 赵禹, 刘后广, 等. 中耳畸形对能量吸收率影响的数值研究[J]. 生物医学工程学杂志, 2021, 38(1): 89-96.
- [44] Karuppannan, A., Barman, A. and Mamatha, N.M. (2024) Wideband Absorbance Pattern and its Diagnostic Value in Adults with Middle Ear Effusions and Tympanic Membrane Perforation. *The Journal of International Advanced Otology*, **20**, Article 158.
- [45] Soares, J.C., Urosas, J.G., Calarga, K.S., Pichelli, T.S., Limongi, S.C.O., Shahnaz, N., *et al.* (2016) Wideband Reflectance in Down Syndrome. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, **87**, 164-171. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2016.06.022>
- [46] Kaya, Ş., Çiçek Çınar, B., Özbal Batuk, M., Özgen, B., Sennaroğlu, G., Genç, G.A., *et al.* (2020) Wideband Tympanometry Findings in Inner Ear Malformations. *Auris Nasus Larynx*, **47**, 220-226. <https://doi.org/10.1016/j.anl.2019.09.001>

-
- [47] Saoji, A.A., Shapiro, S.B., Finley, C.C., Koka, K. and Cassis, A.M. (2020) Changes in Wide-Band Tympanometry Absorbance Following Cochlear Implantation. *Otology & Neurotology*, **41**, e680-e685. <https://doi.org/10.1097/mao.0000000000002625>
- [48] Li, A., Du, H., Gao, J., Xu, Y., Zhao, N., Gao, S., *et al.* (2023) Characteristics of Large Vestibular Aqueduct Syndrome in Wideband Acoustic Immittance. *Frontiers in Neuroscience*, **17**, Article 1185033. <https://doi.org/10.3389/fnins.2023.1185033>
- [49] 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.
- [50] Zhang, L., Wang, J., Zhao, F. and Li, Y. (2020) Inner Ear Pressure Evaluation Using Wideband Tympanometry in Children with Large Vestibular Aqueduct Syndrome (LVAS): A Pilot Study. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, **128**, Article 109690. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2019.109690>