

• 论著—研究报告 •

单侧梅尼埃病患者宽频声导抗测试的参数分析*

潘慧¹ 谢敏¹ 刘波¹ 肖红俊¹

[摘要] 目的:分析单侧梅尼埃病(Ménière's disease, MD)患者宽频声导抗(wideband acoustic immittance, WAI)测试参数特征,探讨其临床应用价值。方法:纳入 30 例眩晕发作间歇期的单侧 MD 患者(症状耳及非症状耳各 30 耳)及 26 例健康者(52 耳)行 WAI 测试,分析与声能吸收率(energy absorbance, EA)相关的多个参数,包括吸收率鼓室图双峰起始频率、共振频率、峰压下 EA 峰值及 EA 相对面积、峰压下全频域 EA。结果:①单侧 MD 症状耳组、非症状耳组中存在双峰 EA 鼓室图的均为 27 耳(84.4%),对照组 38 耳(70.4%),且三组间双峰起始频率差异均无统计学意义($P>0.05$);②MD 症状耳组共振频率显著低于 MD 非症状耳组($t=-3.544, P=0.001$)及对照组($t=2.084, P=0.041$),差异有统计学意义;共振频率于 MD 非症状耳组和对照组间差异无统计学意义($P>0.05$);③MD 症状耳组及非症状耳组峰压下 EA 峰值均显著低于对照组($t=4.240, P<0.001$ 及 $t=4.202, P<0.001$);④MD 症状耳组及非症状耳组峰压下 EA 相对面积显著低于对照组($t=3.295, P=0.001$ 及 $t=3.193, P=0.003$);⑤3 组峰压下 EA 曲线比较:MD 症状耳组在 1 059~2 911 Hz 的峰压下 EA 均低于对照组($P<0.05$);MD 症状耳组在 1 000 Hz 以内和 1 834~2 119 Hz 内的 EA 均低于 MD 非症状耳组($P<0.05$);MD 非症状耳组 515~2 748 Hz 内的 EA 均低于对照组($P<0.05$)。结论:单侧 MD 患者患耳的多个 EA 相关参数与正常人和(或)健耳比较存在差异,提示其可能与内淋巴积水导致的中耳机械功能改变有关,但 WAI 各参数在该疾病中的临床意义尚需深入探讨。

[关键词] 梅尼埃病;内淋巴积水;宽频声导抗;中耳功能

DOI:10.13201/j.issn.2096-7993.2023.10.009

[中图分类号] R764 **[文献标志码]** A

Analysis of wideband acoustic immittance measurements in patients with unilateral Ménière's disease

PAN Hui XIE Min LIU Bo XIAO Hongjun

(Department of Otorhinolaryngology-Head Neck Surgery, Union Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, 430022, China)

Corresponding author: LIU Bo, E-mail: liuboent@hust.edu.cn

Abstract Objective: To investigate the characteristics of wideband acoustic immittance(WAI) measurements in patients with unilateral Ménière's disease(MD) and evaluate the clinical value of WAI in diagnosis of MD. **Methods:** WAI was performed in 30 patients with unilateral MD(30 ears for symptomatic and 30 ears for asymptomatic) and in 26 healthy individuals(52 ears)(control group). The WAI measurements, including the frequency first appearing two peaks in energy absorbance(EA) tympanogram, resonance frequency(RF), the peak value of absorbance(PVA), the integral area of absorbance(IAA), EA curve at peak pressure, were analyzed. **Results:** ①The occurrence of two peaks in EA tympanogram in both the MD symptomatic and asymptomatic ear was observed in 27 ears(84.4%), and 38 ears(70.4%) in the control group, with no significant difference in the frequency of first appearing in two peaks onset between the groups(all $P>0.05$). ②The RF of the MD symptomatic ears was significantly lower than that of the asymptomatic ears($t=-3.544, P=0.001$) and that of the control subjects($t=2.084, P=0.041$); there was no difference of RF between the MD asymptomatic ears and the control group($P>0.05$). ③The PVA were significantly lower in both MD symptomatic($t=4.240, P<0.01$) and asymptomatic ears($t=4.202, P=0.001$) than in controls. ④The IAA in MD symptomatic($t=3.295, P=0.001$) and asymptomatic ears($t=3.193, P=0.003$) was significantly lower than in the control group. ⑤Comparison of the EA curve at peak pressure of the three groups: the EAs of MD symptomatic ears were lower than those of the control group at the range of 1 059-2 911 Hz(all $P<0.05$); the EAs of MD symptomatic ears were lower than those of MD asymptomatic ears within 1 000 Hz and 1 834-2 119 Hz(all $P<0.05$); the EAs of MD asymptomatic ears

*基金项目:国家自然科学基金项目(No:81670930);湖北省自然科学基金(No:2021CFB547)

¹华中科技大学同济医学院附属协和医院耳鼻咽喉头颈外科(武汉,430022)

通信作者:刘波, E-mail:liuboent@hust.edu.cn

were lower than those of the control group at the range of 515-2 748 Hz(all $P < 0.05$). **Conclusion:** Symptomatic ears in unilateral MD patients show alterations in some WAI measurements compared to asymptomatic ears and/or controls, suggesting that middle ear mechanical function of the affected side may be modified due to the endolymphatic hydrops. The clinical significance of WAI needs to be further explored in the context of evaluating MD.

Key words Ménière's disease; endolymphatic hydrops; wideband acoustic immittance; middle ear function

梅尼埃病(Ménière disease, MD)是以特发性内淋巴积水(endolymphatic hydrops, ELH)为主要病理特征,以发作性眩晕、波动性感音神经性听力下降、耳鸣和(或)耳胀满感为主要临床症状的常见耳源性眩晕疾病^[1],其病因及病理生理机制尚未完全阐明。目前该病的诊断与评价主要依赖病史、纯音听阈检查及神经耳科学检查方法(甘油试验、耳蜗电图及多种前庭功能测试)等,其综合应用有助于探究 MD 病理生理学机制,并辅助诊断。

传统声导抗采用低频探测音(226 Hz)评价中耳功能,但非 MD 的特异性诊断评价测试。因高频音可提高诊断听骨链疾病诊断敏感性,既往有研究曾探讨多频声导抗(multifrequency tympanometry, MFT)在 MD 中的应用,结果显示:MD 患耳在眩晕间歇期的共振频率(resonance frequency, RF)降低;2 000 Hz 声导纳鼓室图(admittance width, Y-width)、声导鼓室图(conductance width, G-width)的双峰间宽度均大于正常人,提示中耳分析技术对于 MD 有潜在的应用价值^[2-3]。宽频声导抗(wideband acoustic immittance, WAI)是一种相对较新的听力学技术,以短声为探测音,同时采集 226~8 000 Hz、以 1/24 倍频程为步距的 107 个频率点的声能吸收率(energy absorbance, EA),相较传统单一频率声导抗和多频声导抗可获得更多的中耳信息。目前,已较多的研究报道了 WAI 在中耳疾病中的临床价值,如分泌性中耳炎等^[4-5]。近来 WAI 亦开始应用在内耳疾病研究^[6-10],其中在 MD 中应用报道逐渐增多^[6,8-10]。目前国内报道中,分析的参数包括:共振频率、EA 鼓室图双峰起始频率值、EA 峰值、EA 相对面积及 EA 宽度等。迄今为止,虽然国内有学者选取 16 个频率点的 EA 进行了初步研究^[9],但尚无研究对 MD 患者全频域(107 个频率点)的 EA 进行分析。本报道拟纳入单侧 MD 患者进行研究,分析其 WAI 测试中多种参数的特征,比较 MD 症状耳、非症状耳及健康对照者的结果,探讨 WAI 在 MD 诊断和评价中的临床应用价值。

1 对象与方法

1.1 研究对象

收集 2021 年 9 月—2022 年 2 月于我科就诊的单侧 MD 患者 30 例(包括症状耳及非症状耳各 30 耳),其中男 12 例,女 18 例,年龄 21~67 岁,平均(46.77±14.18)岁,病程 0.1~10.0 年,平均(1.66±2.06)年;症状耳为左侧耳 19 例,右侧耳 11 例,

症状耳平均听阈(44.80±21.60)dB HL,非症状耳(15.83±6.71)dB HL。纳入标准为:①单侧 MD;②符合梅尼埃病诊断和治疗指南(2017)临床诊断标准^[11];③既往无中耳炎病史,226 Hz 声导抗鼓室图为 A 型,非症状耳平均听阈小于 20 dB HL;④排除其他听-前庭疾病,如疑似诊断的 MD 病例、突发性聋、良性阵发性位置性眩晕、前庭神经炎、前庭性偏头痛及其他中枢性眩晕疾病;⑤完成必要的神经耳科学检查。所有 MD 患者均在眩晕发作间歇期完成测试。另招募听力正常、既往无耳科疾病的成人健康者 26 例(52 耳)作为对照组,其中男 12 例,女 14 例,年龄 18~59 岁,平均(31.35±9.97)岁。

本研究排除标准:①双侧 MD 患者;②接受过鼓室给药或相关手术治疗的 MD 患者;③合并中耳炎、中耳或内耳畸形、声损伤等患者;④经内听道-桥小脑角 MRI 证实的蜗后病变或内耳畸形患者。

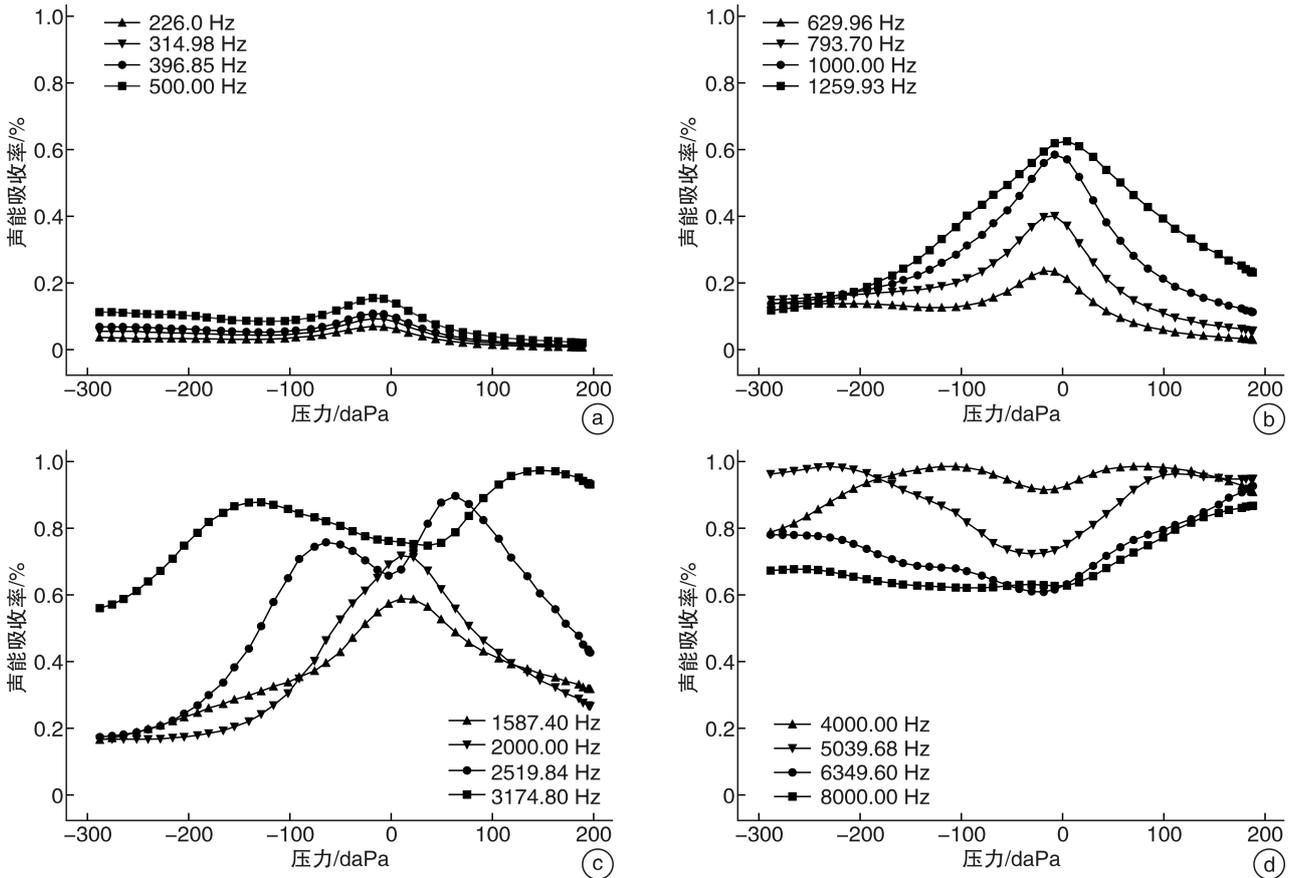
1.2 听力学评估

本研究 MD 患者均在间歇期进行,即距离末次眩晕发作至少 2 周以上。听力学评估:①纯音测听:采用 Conera Otosuite 纯音听力计,配套 TDH-39P 耳罩式耳机依据 GB/T 16296.1—2018 在标准隔声室内进行纯音测听;②226 Hz 声导抗测试:采用 GSI33 型中耳分析仪进行传统 226 Hz 声导抗测试;③宽频声导抗测试:采用丹麦国际听力 Titan IMP 440 宽频声导抗仪进行测试,从数据库中获得 226~8 000 Hz 内 107 个频率的 EA 鼓室图,以对照组中某 29 岁女性受试者 16 个频率点为例(从低频到高频),见图 1;和峰值压力(peak pressure)下的全频域 EA,记录双峰起始频率(即 EA 鼓室图首次呈双峰的频率),并计算峰压下 EA 峰值(即峰压下 EA 的最大值,以百分比表示)、EA 相对面积(即峰压下各频率的 EA 均值,以百分比表示),计算公式为:

$$\text{吸收率相对面积} = \frac{\sum_{k=1}^n (EA_k * step)}{n * step} = \frac{\sum_{k=1}^n EA_k}{n}$$

1.3 统计学方法

应用 MATLAB R2013b 软件对数据进行统计分析。所有数据资料均经过正态性检验,对服从正态分布的数据资料进行配对 t 检验和独立样本 t 检验,否则进行 Wilcoxon 符号秩和检验和 Mann-Whitney U 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。



a:吸收率鼓室图先表现为单峰(倒“V”型);b:峰尖逐渐变钝;c:至 2 000 Hz 处逐渐变为双峰(“M”型);d:随后两峰间宽度逐渐增宽,在 5 626~8 000 Hz 范围内变为“V”型。

图 1 WAI 测试 226~8 000 Hz 范围 EA 鼓室图

2 结果

2.1 EA 鼓室图双峰起始频率、共振频率、峰值压力下 EA 峰值及 EA 相对面积

单侧 MD 患者与对照组的双峰起始频率、共振频率、峰压下 EA 峰值及相对面积数据见表 1、2。

表 1 单侧 MD 患者与对照组 EA 鼓室图双峰起始频率

组别	耳数	双峰起始频率/Hz
MD 症状耳组	27	1 868.52±106.48
MD 非症状耳组	27	2 016.67±83.66
对照组	38	2 282.20±134.70

表 2 单侧 MD 患者与对照组共振频率、峰值压力下 EA 峰值及相对面积

组别	耳数	共振频率/Hz	EA 峰值/%	EA 相对面积/%
MD 症状耳组	30	848.40±164.39	77.48±11.26	46.35±6.68
MD 非症状耳组	30	952.20±186.39	76.82±12.36	45.70±7.75
对照组	52	936.23±213.26	87.49±8.39	50.81±5.41

2.1.1 双峰起始频率 纳入单侧 MD 症状耳组、非症状耳组 EA 鼓室图中存在双峰的各 27 耳(均占 84.4%),对照组中 EA 鼓室图存在双峰的 38 耳(占 70.4%)进行分析,MD 症状耳组双峰起始频率(1 868.52±106.48) Hz 低于 MD 非症状耳组(2 016.67±83.66) Hz、低于对照组(2 282.20±134.70) Hz,但差异均无统计学意义(P>0.05),见表 1、图 2a。

2.1.2 共振频率 MD 症状耳组共振频率

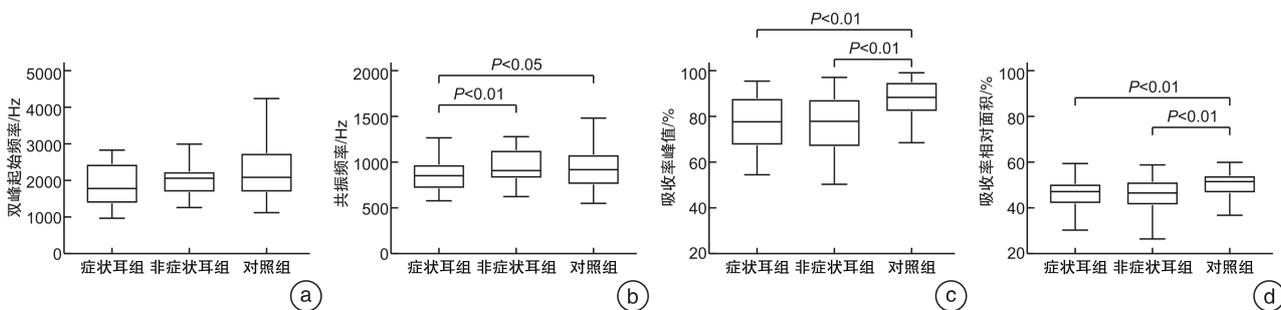
(848.40±164.39) Hz 显著低于 MD 非症状耳组(952.20±186.39) Hz, $t = -3.544, P = 0.001$ 、低于对照组(936.23±213.26) Hz, $t = 2.084, P = 0.041$,差异有统计学意义;共振频率于 MD 非症状耳组和对照组间差异无统计学意义(P>0.05),见表 2、图 2b。

2.1.3 峰值压力下 EA 峰值 MD 症状耳组(77.48%±11.26%)、MD 非症状耳组峰压下 EA 峰值(76.82%±12.36%)显著低于对照组

(87.49% ± 8.39%) ($t = 4.240, P < 0.01$ 及 $t = 4.202, P < 0.01$); 峰压下 EA 峰值于 MD 症状耳组、非症状耳组间差异无统计学意义 ($P > 0.05$), 见表 2、图 2c。

2.1.4 峰值压力下 EA 相对面积 MD 症状耳组 (46.35% ± 6.68%)、MD 非症状耳组峰压下 EA

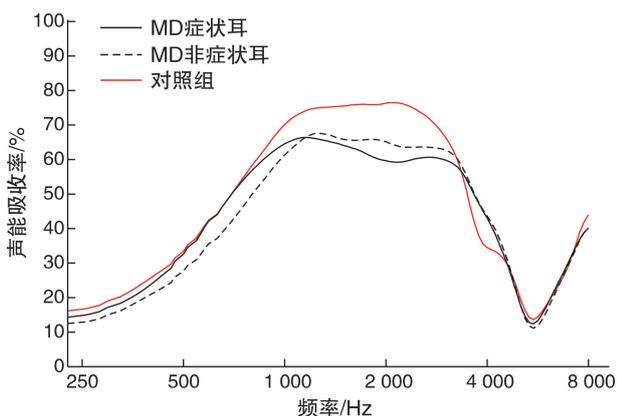
相对面积 (45.70% ± 7.75%) 显著低于对照组 (50.81% ± 5.41%) ($t = 3.295, P = 0.001$ 及 $t = 3.193, P = 0.003$); 峰压下 EA 相对面积于 MD 症状耳组、非症状耳组间差异无统计学意义 ($P > 0.05$), 见表 2、图 2d。



a: 双峰起始频率; b: 共振频率; c: 峰值压力下 EA 峰值; d: EA 相对面积。
图 2 单侧 MD 患者症状耳组、非症状耳组与对照组的 WAI 参数比较

2.2 峰值压力下全频域 EA

以频率为 x 轴, EA 为 y 轴, 将各组峰压下 107 个频率的 EA 均值绘制成 3 条 EA 曲线 (图 3)。比较各组 EA 数据: ① MD 症状耳组在 1 059 ~ 2 911 Hz 的峰压下 EA 低于对照组, 差异均有统计学意义 ($P < 0.05$); ② MD 症状耳组在 1 000 Hz 以内和 1 834 ~ 2 119 Hz 内的 EA 低于 MD 非症状耳组, 差异均有统计学意义 ($P < 0.05$); ③ MD 非症状耳组 515 ~ 2 748 Hz 内的 EA 均低于对照组, 差异均有统计学意义 ($P < 0.05$)。



x 轴为频率, y 轴为 EA。黑色实线、黑色虚线、红色实线分别为 MD 症状耳组、MD 非症状耳组、对照组在峰压下各频率的 EA 均值。

图 3 单侧 MD 患者症状耳组、非症状耳组与对照组峰压下的 EA 曲线

3 讨论

EA 和共振频率是 WAI 的重要参数, EA 即声信号通过外耳道传入中耳的能量与进入外耳道的

总声能的比值; 共振频率即在该频率下中耳系统劲度声纳和质量声纳相等; 两者皆受中耳系统机械特性的影响, 由中耳系统劲度和质量特性共同决定。MD 是以 ELH 为主要病理特征的常见内耳疾病。研究表明, ELH 会引起内耳压力变化, 改变环状镮骨韧带和圆窗的张力, 降低镮骨底板活动度, 从而限制了听骨链的运动, 降低中耳的顺应性; 此外, ELH 还增加了中内耳系统的质量^[12-13]; 这些因素影响了中耳机械特性, 可能导致 MD 患者 WAI 参数相应地发生变化。

3.1 单侧 MD 患者 EA 鼓室图双峰起始频率、共振频率、EA 峰值及相对面积分析

本研究表明, 单侧 MD 患者症状耳组 EA 鼓室图双峰起始频率 (1 868.52 ± 106.48) Hz 低于 MD 非症状耳组 (2 016.67 ± 83.66) Hz 及对照组 (2 282.20 ± 134.70) Hz, 但差异无统计学意义。Colletti^[14] 研究 200 ~ 2 000 Hz 的声导纳鼓室图发现, 低频到高频的鼓室图呈现由单峰变为双峰, 再变为单峰的变化规律, 当中耳发生不同病变时, 其机械特性可相应改变, 双峰起始频率会相应地发生变化, 该变化可能有助于中耳疾病的诊断。EA 与声导抗类似, 受中耳机械特性影响, 反映中耳的传声特性。Sun^[15] 对无中耳病变的听力正常成人 WAI 的 EA 鼓室图进行研究, 发现 EA 鼓室图与声导抗鼓室图具有类似的变化规律: 低频区域内 EA 鼓室图呈单峰 (倒“V”型), 频率升高峰尖逐渐变钝, 至 2 000 Hz 处开始出现为双峰 (“M”型), 随后两峰间宽度逐渐增宽, 在 5 626 ~ 8 000 Hz 范围内变为 “V”型。图 1 举例说明了 EA 鼓室图的这种变化趋势。Darrouzet 等^[13] 通过动物实验发现, 内耳压力的变化亦可影响鼓室图形状; 当豚鼠内耳压力

增加后,2 000 Hz 声导抗鼓室图由单峰变为双峰,且随着内耳压力的增大,双峰变得明显而尖锐。近来,兰兰等^[8]研究发现,单侧 MD 患者 EA 鼓室图的双峰起始频率低于正常对照组,作者认为,由于镫骨底板处的机械阻抗与内耳液体量成反比,ELH 降低了镫骨底板处的阻抗,同时增加了中内耳系统的质量,可能是两者的共同作用导致了双峰起始频率降低。本研究中 MD 症状耳组双峰起始频率值低于 MD 非症状耳组和对照组,但无显著性差异,下一步需要扩大样本量进行临床研究。

本研究发现,单侧 MD 患者症状耳组共振频率(848.40 ± 164.39) Hz 低于非症状耳组(952.20 ± 186.39) Hz 及对照组(936.23 ± 213.26) Hz。既往动物研究表明,豚鼠内耳压力增大可降低中耳共振频率^[13];临床研究亦发现,MD 患耳的共振频率明显低于正常人^[3,8],且症状耳共振频率亦低于非症状耳^[8]。本研究结果与这些报道一致。共振频率受中耳机械特性影响,MD 症状耳共振频率降低,可能是 ELH 造成内耳压力增大引起镫骨底板处的机械阻抗发生变化的结果。既往有研究表明,健康人群的共振频率介于 650~1 400 Hz 之间,均值约 950 Hz^[16],本研究对照组均值与之接近。兰兰等^[8]取 MD 症状耳共振频率 95% 置信区间下限(1 072.55 Hz)作为标准,显著低于该标准判为 MD 阳性,发现该标准的敏感性为 80.95%,特异性为 66.00%。值得注意的是,该参数于健康人群中的变异尚较大,暂不能作为 MD 诊断的明确依据^[17]。

本研究发现,MD 症状耳组及非症状耳组峰压下 EA 峰值均低于对照组,且 MD 症状耳组及非症状耳组的 EA 相对面积亦小于对照组。EA 反映了中耳系统对声能的传递效率,当内耳膜迷路存在 ELH 时,镫骨底板的活动性降低,对中耳系统声能的传递作用产生阻碍,导致 EA 降低。兰兰等^[8]研究发现,MD 症状耳组、非症状耳组与对照组的 EA 峰值及相对面积等参数比较差异无统计学意义。而李姝娜等^[10]研究表明,单侧 MD 患者耳间 EA 峰值差异无统计学意义,但症状耳的 EA 相对面积大于非症状耳,解释为 ELH 的存在使得 MD 症状耳膜迷路中的液体多于非症状耳,而声能在通过液体时更容易被吸收^[10]。本研究结果与上述报道不一致,峰压下 EA 峰值及相对面积在 MD 中的临床意义尚需进一步探讨。

除以上提到的参数外,国内学者还对 2 000 Hz 处 EA 鼓室图双峰间宽度(EA-width)进行了研究^[8],用 EA 类比声导纳,探究是否会出现与国外研究中相似的情况,即 MD 患者 Y-width 和 G-width 大于正常人^[2-3]。结果显示 EA-width 于 MD 症状耳、非症状耳和对照组间比较差异无统计学意义。作者分析 2 000 Hz 的 EA 鼓室图存在双峰的

比率(约 60%)低于国外研究中 2 000 Hz 探测音声导鼓室图存在双峰的比率(约 90%)可能是造成无显著差异的原因。本研究中受试者 2 000 Hz 的 EA 鼓室图存在双峰的比率低于 50%,故未对该参数进行深入分析。

3.2 单侧 MD 患者峰值压力下全频域 EA 分析

本研究进一步分析了峰压下全频域 EA 曲线,结果表明,峰值压力下 1 000 Hz 以下的低频区域,MD 症状耳组与对照组的 EA 比较差异无统计学意义,而 MD 非症状耳组 EA 小于 MD 症状耳组及对照组。既往研究中,ELH 患耳低频处的吸收率结果并不一致。Kobayashi 等^[18]对 16 例 ELH 患者进行回顾性研究,根据内耳钆造影 MRI 结果,将 MD 患者 ELH 分为无、轻度、重度 3 组,发现重度 ELH 组在低频区域(560~600 Hz)的 EA 高于其他 2 组;Tanno 等^[19]在 226~8 000 Hz 间选取了 17 个频率点分析,发现 1 000 Hz 以下频率 MD 症状耳与非症状耳峰压下 EA 差异无统计学意义,MD 症状耳 EA 低于对照组,MD 非症状耳 EA 在 226~324 Hz 内低于对照组。

另一方面,既往研究表明,MD 患者在中高频段的 WAI 的 EA 可能存在特异性。Miehe 等^[6]比较了 52 例 MD 患者与健康者,发现 MD 症状耳在 2 000~4 000 Hz 间峰压下 EA 显著低于正常人。刘洁等^[9]在 226~8 000 Hz 间选取 16 个频率点,对比 52 例单侧 MD 患者与对照组的 EA,发现峰压下在 1 587~4 000 Hz 的 5 个频率点处 MD 症状耳、非症状耳 EA 均显著低于对照组;本研究结果与既往结果类似,在峰压下 1 509~2 911 Hz 的中高频区间,MD 症状耳、非症状耳 EA 均小于对照组;且在 2 000 Hz 附近(1 834~2 199 Hz),MD 症状耳 EA 显著低于非症状耳。该结果提示,中高频段(2 000 Hz 附近)的峰压下 EA 的变化可能是鉴别 MD 患耳和健耳的潜在依据。

此外,有学者对环境压力下 EA 也进行了研究^[6,9]。Sun^[15]对 84 例听力正常成人研究发现,在低频区域,峰压下和环境压力下的 EA 标准差均很小,而在高于 3 000 Hz 的区域,峰压下 EA 标准差更小。由于在峰压下测量时,抵消了受试者非零的中耳压力,因此在听力正常成人中的个体差异性更小。故本研究选取了变异较小且更稳定的峰压下 EA 为参数进行研究,暂未分析环境压力下的 EA。

传统上,WAI 检测的是中耳功能,近年来,其在内耳疾病中的临床价值逐渐受到关注。已知 WAI 结果受多种测试条件的影响^[20],如性别、年龄、中耳状态等。不同于传统声导抗,WAI 具有参数多且变异较大的特点。为减少偏倚,本研究纳入健康者作为对照,同时分析了 MD 的患耳与健耳。本研究是回顾性研究,MD 组年龄大于对照组。因

此,今后应进行前瞻性随机对照研究,纳入年龄均衡的受试组以减少偏倚。EA 是 WAI 的重要技术指标,提供了受试者在 226~8 000 Hz 共 107 个频率点的声能吸收率值,包含大量的中内耳信息,而以往部分研究未能对其进行充分利用,本研究在国内首次通过分析峰压下全频域 EA 特征,发现 MD 患者的 EA 在某些频段发生改变。综合研究结果表明,与健康对照者或 MD 健耳比较,MD 患耳中耳机械特性发生了改变,其原因可能与 ELH 有关。但目前这些参数特征在内耳疾病中的应用价值还有待于进一步阐明。临床上,筛选或优化出具有较高特异性和稳定性的实用参数、或对目前参数的深度或二次分析,可能有助于 MD 诊断或疗效预测。因此,WAI 在 MD 或内耳疾病中的临床意义还有待深入研究。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Merchant SN, Adams JC, Nadol JB Jr. Pathophysiology of Meniere's syndrome: are symptoms caused by endolymphatic hydrops? [J]. *Otol Neurotol*, 2005, 26(1):74-81.
- [2] Franco-Vidal V, Legarlantezec C, Blanchet H, et al. Multifrequency admittance in Ménière's Disease: a preliminary study for a new diagnostic test[J]. *Otol Neurotol*, 2005, 26(4):723-727.
- [3] Sugasawa K, Iwasaki S, Fujimoto C, et al. Diagnostic usefulness of multifrequency tympanometry for Ménière's disease[J]. *Audiol Neurootol*, 2013, 18(3):152-160.
- [4] 盛海斌,周嵌,李海峰,等. 低龄儿童分泌性中耳炎宽频声导抗特点及临床意义[J]. *中华耳鼻咽喉头颈外科杂志*, 2021, 56(6):579-585.
- [5] Sliwa L, Kochanek K, Jędrzejczak WW, et al. Measurement of Wideband Absorbance as a Test for Otosclerosis[J]. *J Clin Med*, 2020, 9(6):1908.
- [6] Miehe J, Mogensen S, Lyhne N, et al. Wideband tympanometry as a diagnostic tool for Meniere's disease: a retrospective case-control study[J]. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 2022, 279(4):1831-1841.
- [7] Pieterse H, Biagio-De Jager L, Hofmeyr LM, et al. Wideband acoustic immittance in superior semicircular canal dehiscence[J]. *Auris Nasus Larynx*, 2022, 49(6):921-927.
- [8] 兰兰,黄鑫,谢林怡,等. 梅尼埃病患者的宽频声导抗测试研究[J]. *中国听力语言康复科学杂志*, 2019, 17(6):421-425.
- [9] 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.
- [10] 李姝娜,沈敏,陈向平,等. 梅尼埃病患者宽频声导抗吸收率的特征[J]. *临床耳鼻咽喉头颈外科杂志*, 2019, 33(3):224-227.
- [11] 中华耳鼻咽喉头颈外科杂志编辑委员会,中华医学会耳鼻咽喉头颈外科学分会. 梅尼埃病诊断和治疗指南(2017)[J]. *中华耳鼻咽喉头颈外科杂志*, 2017, 52(3):167-172.
- [12] Muchnik C, Hildesheimer M, Rubinstein M, et al. Low frequency air-bone gap in Meniere's disease without middle ear pathology. A preliminary report[J]. *Am J Otol*, 1989, 10(1):1-4.
- [13] Darrouzet V, Dulon D, Franco-Vidal V. Multifrequency immittance in experimentally induced stapes, round window and cochlear lesions[J]. *Audiol Neurootol*, 2007, 12(2):85-100.
- [14] Colletti V. Multifrequency tympanometry[J]. *Audiology*, 1977, 16(4):278-287.
- [15] Sun XM. Wideband Acoustic Immittance: Normative Study and Test-Retest Reliability of Tympanometric Measurements in Adults [J]. *J Speech Lang Hear Res*, 2016, 59(4):819-834.
- [16] Oz I, Hizal E, Cam OH, et al. Effects of Glycerol Test on Resonance Frequency in Patients with Ménière's Disease[J]. *Audiol Neurootol*, 2019, 24(6):285-292.
- [17] Meng X, Zhu K, Yue J, et al. The Role of Wideband Tympanometry in the Diagnosis of Meniere's Disease [J]. *Front Neurol*, 2022, 13:808921.
- [18] Kobayashi M, Yoshida T, Sugimoto S, et al. Effects of endolymphatic hydrops on acoustic energy absorbance [J]. *Acta Otolaryngol*, 2020, 140(8):626-631.
- [19] Tanno G, Santos M, Sanches M, et al. Analysis of wideband tympanometry in Ménière's disease[J]. *Braz J Otorhinolaryngol*, 2022, 88(2):194-203.
- [20] 傅新星,刘博,林萌,等. 听力正常青年人宽频声导抗研究[J]. *临床耳鼻咽喉头颈外科杂志*, 2017, 31(18):1402-1407.

(收稿日期:2023-06-06)