

引用格式:张 旭. 血浆外泌体 miR-96 和 miR-183 在噪声性听力损失中的表达及诊断价值研究[J]. 巴楚医学, 2026, 9(3): 83-89. DOI: 10. 3969/j. issn. 2096-6113. 2026. 03. 013

Cite as: Zhang Xu. Study on the Expression and Diagnostic Value of Plasma Exosomal miR-96 and miR-183 in Noise-Induced Hearing Loss[J]. Bachu Medical Journal, 2026, 9(3): 83-89. DOI: 10. 3969/j. issn. 2096-6113. 2026. 03. 013

血浆外泌体 miR-96 和 miR-183 在噪声性听力损失中的表达及诊断价值研究

张 旭

(河西学院附属张掖人民医院 耳鼻喉头颈外科, 甘肃 张掖 734000)

摘要: **目的:** 本研究旨在评估噪声性听力损失(NIHL)患者血浆中两种外泌体微小 RNA(ex-miR-96、ex-miR-183)的表达变化,并确定其作为潜在诊断生物标志物的价值。**方法:** 选取 2023 年 6 月—2024 年 6 月在河西学院附属张掖人民医院进行常规体检的长期接触噪音的 259 例工人,根据纯音测听结果,分为 NIHL 组($n=129$)和听力正常的对照组($n=130$)。行血浆外泌体提取与鉴定,采用实时荧光定量聚合酶链反应测定两种 ex-miRNA 的相对表达量,采用 Spearman 相关性分析评估其与高频听阈(HPTS)的关系,采用多因素 Logistic 回归模型分析发生 NIHL 的影响因素。**结果:** 与对照组相比,NIHL 组血浆 ex-miR-96 [(0.45 ± 0.11) vs (1.01 ± 0.23)]和 ex-miR-183 [(0.38 ± 0.10) vs (1.02 ± 0.25)]的表达均显著下调(均 $P < 0.001$)。相关性分析进一步表明,这两种 miRNA 的表达水平均与 HPTS 呈显著负相关(均 $P < 0.001$)。多因素 Logistic 回归分析显示,年龄增大($OR = 1.121$, 95% $CI: 1.042, 1.205$)、总噪音暴露年限延长($OR = 1.153$, 95% $CI: 1.076, 1.234$)是 NIHL 的独立危险因素,而高水平的 ex-miR-96($OR = 0.183$, 95% $CI: 0.102, 0.330$)和 ex-miR-183($OR = 0.125$, 95% $CI: 0.067, 0.234$)是 NIHL 的独立保护因素。**结论:** NIHL 患者血浆中 ex-miR-96 与 ex-miR-183 的表达水平明显降低,且与听力损伤的严重程度呈显著负相关。年龄增大和总噪音暴露年限延长是 NIHL 的独立危险因素,高水平的 ex-miR-96 和 ex-miR-183 是 NIHL 的独立保护因素。

关键词: 噪声性听力损失; 外泌体; 微小 RNA-96; 微小 RNA-183

中图分类号: R764.43+3

文献标志码: A

文章编号: 2096-6113(2026)03-0083-07

Study on the Expression and Diagnostic Value of Plasma Exosomal miR-96 and miR-183 in Noise-Induced Hearing Loss

Zhang Xu

(Department of Otolaryngology-Head and Neck Surgery, Zhangye People's Hospital Affiliated to Hexi University, Zhangye 734000, China)

Abstract Objective: To evaluate the expression changes of two exosomal microRNAs ex-miR-96 and ex-miR-183 in the plasma of patients with noise-induced hearing loss (NIHL) and determine their value as potential diagnostic biomarkers. **Methods:** A total of 259 workers with long-term noise exposure who underwent routine physical examinations at Zhangye People's Hospital Affiliated to Hexi University from June 2023 to June 2024 were selected. According to the results of pure tone audiometry, they were divided into the NIHL

基金项目: 甘肃教育科技创新项目(2022A-126)

作者简介: 张 旭, 主治医师, E-mail: 398934760@qq.com

group($n=129$) and the control group with normal hearing($n=130$). Plasma exosomes were extracted and identified, and the relative expression levels of the two ex-miRNAs were determined by real-time fluorescence quantitative polymerase chain reaction. Spearman correlation analysis was used to evaluate the association between the two ex-miRNAs and high-frequency pure tone thresholds (HPTS), and multivariate Logistic regression model was used to analyze the influencing risk factors for NIHL. **Results:** Compared with the control group, the expressions of plasma ex-miR-96 [(0.45 ± 0.11) vs (1.01 ± 0.23)] and ex-miR-183 [(0.38 ± 0.10) vs (1.02 ± 0.25)] in the NIHL group were significantly down-regulated (both $P < 0.001$). Correlation analysis further showed that the expression levels of these two miRNAs were significantly negatively correlated with HPTS (both $P < 0.001$). Multivariate Logistic regression analysis showed that increased age ($OR = 1.121$, 95% $CI: 1.042, 1.205$) and prolonged total noise exposure years ($OR = 1.153$, 95% $CI: 1.076, 1.234$) were independent risk factors for NIHL, while high levels of ex-miR-96 ($OR = 0.183$, 95% $CI: 0.102, 0.330$) and ex-miR-183 ($OR = 0.125$, 95% $CI: 0.067, 0.234$) were independent protective factors for NIHL. **Conclusion:** The expression levels of ex-miR-96 and ex-miR-183 in the plasma of NIHL patients are significantly decreased, and are significantly negatively correlated with the severity of hearing impairment. Increased age and prolonged total noise exposure years are independent risk factors for NIHL, whereas high levels of ex-miR-96 and ex-miR-183 are independent protective factors for NIHL.

Keywords noise-induced hearing loss (NIHL); exosome; miR-96; miR-183

噪声性听力损失(noise-induced hearing loss, NIHL)是全球范围内最常见的职业病之一,也是一种关键的可预防性感音神经性耳聋^[1]。长期暴露于超过 85 dB 的噪声环境中,可导致内耳感音换能结构,特别是毛细胞,遭受由氧化应激和代谢紊乱介导的渐进性且不可逆的损伤,最终临床表现为以高频听力下降为主要特征的听觉障碍^[2-3]。NIHL 不仅损害患者的社交与生活质量,其系统性影响还与高血压、代谢综合征等多种健康问题相关,对社会和个人均构成沉重的负担^[4]。然而,NIHL 的诊断目前仍主要依赖纯音测听,这种方法只能在听力损伤形成后进行评估,因此,开发能够在损伤早期进行客观检测的生物学标志物,对于 NIHL 的有效干预至关重要,这也是职业健康领域的一个核心挑战^[5]。

微小 RNAs(microRNAs, miRNAs)是一类在表现遗传层面调控基因表达的内源性非编码小 RNA,在细胞分化、增殖及凋亡等基础生物学过程中扮演核心角色^[6]。近年来研究发现,miRNAs 能够稳定存在于血液、尿液、唾液等多种体液中,并且其表达谱的变化与多种疾病的病理过程紧密相连,这使其成为极具前景的疾病诊断生物标志物^[7]。值得注意的是,这些循环 miRNAs 大多被包裹在名为外泌体的细胞外囊泡中。这种纳米级囊泡结构不仅能保护 miRNA 免受核酸酶降解,还作为细胞间通讯的关键信使,其装载的分子能够反映来源细胞的生理状态^[8-9]。因此,对外泌体 miRNA(exosomal miRNA, ex-miRNA)的检测,为多种疾病的诊断和机制探索提供了一条新

途径^[10]。

在众多 miRNAs 中,miR-183/96/182 簇在内耳感觉上皮中特异性高表达,对毛细胞的正常发育、功能维持乃至损伤后的再生过程都不可或缺^[11]。此前的动物模型研究已经证实,电针治疗可通过上调 miR-183 来促进 NIHL 大鼠耳蜗毛细胞的修复和功能恢复^[12]。而在斑马鱼模型中,过表达 miR-183 同样能促进顺铂损伤后毛细胞的再生,其机制可能涉及对下游靶基因叉头框蛋白 O1 的负向调控^[13]。这些证据共同指向 miR-96 与 miR-183 的稳态对于维持正常听功能的重要性,其表达失调很可能与噪声诱导的毛细胞损伤过程有关。尽管已有这些发现,但以往的研究大多局限于耳蜗组织,噪声暴露是否会改变外周血循环中 ex-miR-96 和 ex-miR-183 的水平,以及其作为 NIHL 诊断标志物的可行性,至今仍缺乏直接的人群临床研究证据。基于此,本研究通过一项对噪声作业工人的横断面调查,旨在首次报道 NIHL 患者与听力正常者血浆 ex-miR-96 和 ex-miR-183 的表达差异,并探究其与高频听阈(high-frequency pure-tone threshold shift, HPTS)的关联,为验证这两种 miRNA 作为 NIHL 早期诊断生物标志物的临床应用潜力提供科学依据。

1 资料与方法

1.1 研究对象

采用横断面研究设计,选取 2023 年 6 月—2024

年 6 月在河西学院附属张掖人民医院进行常规体检的长期接触噪音的 259 例工人,根据纯音测听结果,分为 NIHL 组($n=129$)和听力正常的对照组($n=130$)。根据《诊断和量化噪声性听力损失的指南》中的标准^[14],将双耳高频(3 000、4 000、6 000 Hz)的平均听阈 ≥ 40 dB HL 者定义为 NIHL;将双耳所有频率听阈 ≤ 25 dB HL 者定义为听力正常。本研究已通过河西学院附属张掖人民医院伦理委员会审查批准(批号:HFYER-A-202203)

纳入标准:①某制造企业接受职业健康检查的噪声作业工人;②噪声暴露年限 ≥ 1 年。

排除标准:①有耳毒性药物使用史、耳部手术史、中耳炎病史或家族性耳聋史;②患有突发性耳聋、梅尼埃病等其他可能影响听力的耳部疾病^[15];③合并严重心、肝、肾等系统性疾病。

1.2 研究方法

1.2.1 资料收集与纯音测听

通过结构化问卷调查收集所有研究对象的人口学特征(年龄、性别)、生活习惯(吸烟、饮酒)和职业史(总噪音暴露年限)。所有研究对象均在脱离噪声环境 12 h 后,于符合标准的隔音室内使用丹麦 Interacoustics 公司 AC40 型听力计进行纯音气导听阈测试,测试频率包括 0.5、1、2、3、4、6、8 kHz。测试采用标准的升降法进行,以确保结果的可靠性。计算双耳 3、4、6 kHz 的平均听阈作为 HPTS,该指标能灵敏地反映早期噪声损伤的特征。

1.2.2 血浆外泌体提取与鉴定

采集研究对象清晨空腹静脉血 5 mL,注入用乙二胺四乙酸抗凝的真空采血管中,采集后 2 h 内在 4℃下 3 000 r/min 离心 15 min 分离上清液即为血浆。采用超速离心法提取外泌体。将血浆样本依次在 4℃下以 3 000 r/min 离心 15 min 以去除完整的细胞、12 000 r/min 离心 30 min 以去除较大的细胞器和凋亡小体等细胞碎片。取上清液,使用 0.22 μm 滤器过滤去除剩余较大囊泡和杂质后,转入超速离心管,在 4℃下 120 000 r/min 离心 70 min。弃上清,用 1 mL 预冷的磷酸盐缓冲液(phosphate buffered saline, PBS)重悬沉淀,再次 120 000 r/min 离心 70 min 以洗涤并纯化外泌体,沉淀即为外泌体。使用 100 μL PBS 重悬后 -80°C 保存备用。

1.2.3 RT-qPCR 检测 ex-miRNA 表达

使用 TRIzol LS 试剂(厂家:美国 Invitrogen 公司)提取外泌体总 RNA。使用 NanoDrop 2 000 分光

光度计(美国 Thermo Fisher Scientific 公司)测定 RNA 的浓度和纯度,确保 A260/A280 比值为 1.8~2.0。采用针对成熟 miRNA 的茎环法 miRNA 特异性逆转录试剂盒(TaqMan MicroRNA Reverse Transcription Kit,美国 Applied Biosystems 公司)将 RNA 逆转录为互补 DNA(complementary DNA, cDNA)。以 U6(小核仁 RNA,因其在血浆外泌体中表达相对稳定)为内参,采用 SYBR Green 法在 ABI 7500 实时荧光定量聚合酶链反应(real-time fluorescence quantitative polymerase chain reaction, RT-qPCR)仪上进行扩增。hsa-miR-96、hsa-miR-183 及内参 U6 的引物均由生工生物工程(上海)股份有限公司合成。反应程序:95℃预变性 10 min;95℃变性 15 s,60℃退火延伸 60 s,共 40 个循环。每个样本设置 3 个复孔以保证结果的准确性。采用经典的 $2^{-\Delta\Delta\text{Ct}}$ 法计算 miRNA 的相对表达量。

1.3 统计学方法

采用 SPSS 25.0 软件进行统计分析。计量资料以均数 $\pm$ 标准差表示,两组间比较采用两独立样本 t 检验。计数资料以 $n(\%)$ 表示,组间比较采用 χ^2 检验。采用 Spearman 相关性分析评估 ex-miRNA 表达水平与 HPTS 的关系。采用多因素 Logistic 回归模型分析发生 NIHL 的影响因素。绘制受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线并计算曲线下面积,评估各影响因素及联合诊断效能。所有检验均为双侧检验, $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般资料比较

NIHL 组与对照组在性别、身体质量指数、吸烟、饮酒方面比较,差异无统计学意义(均 $P>0.05$)。与对照组相比,NIHL 组的年龄、总噪音暴露年限及 HPTS 均显著升高,NIHL 组的 ex-miR-96 与 ex-miR-183 表达量均显著降低(均 $P<0.001$),见表 1。

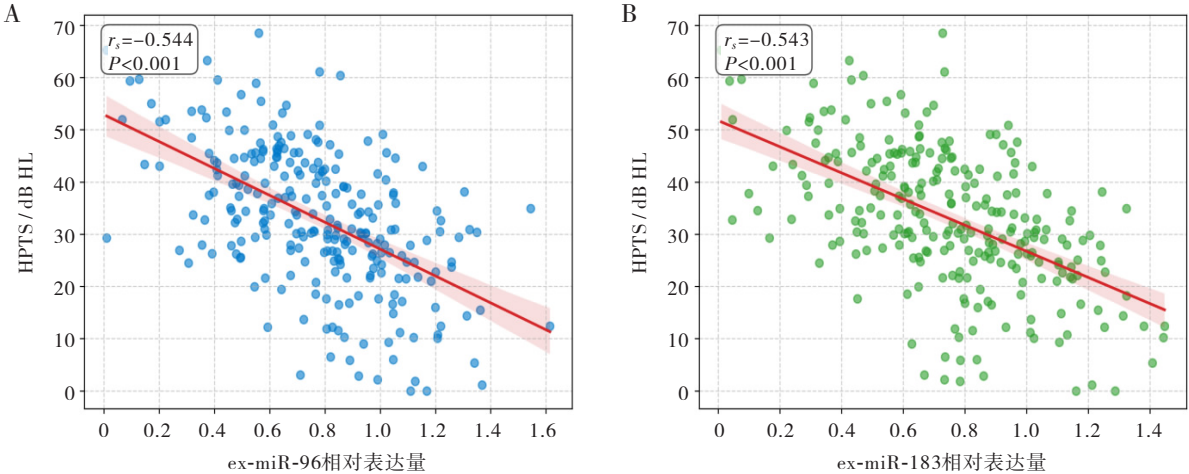
2.2 ex-miRNA 表达水平与 HPTS 的相关性分析

Spearman 相关性分析结果显示,在所有 259 例研究对象中,血浆 ex-miR-96 的表达水平与 HPTS 呈显著负相关($r_s=-0.544, P<0.001$),ex-miR-183 的表达水平亦与 HPTS 呈显著负相关($r_s=-0.543, P<0.001$),见图 1。

表 1 两组一般资料比较 $[\bar{x}\pm s, n(\%)]$

项目	NIHL 组($n=129$)	对照组($n=130$)	t/χ^2	P
年龄/岁	45.81±7.24	38.52±6.91	8.096	<0.001
总噪音暴露年限/年	20.15±8.55	12.68±7.43	7.400	<0.001
性别	男	107(82.95)	0.002	0.964
	女	22(17.05)		
身体质量指数/(kg/m ²)	24.85±2.72	24.61±2.65	0.548	0.584
吸烟	是	59(45.74)	0.010	0.920
	否	70(54.26)		
饮酒	是	49(37.98)	0.041	0.839
	否	80(62.02)		
HPTS/dB HL	50.25±8.62	18.45±4.15	38.237	<0.001
ex-miR-96	0.45±0.11	1.01±0.23	-23.732	<0.001
ex-miR-183	0.38±0.10	1.02±0.25	-25.878	<0.001

注:NIHL:噪声性听力损失; HPTS:高频听阈; ex-miR-96:外泌体微小 RNA-96; ex-miR-183:外泌体微小 RNA-183。



注:A:ex-miR-96; B:ex-miR-183; HPTS:高频听阈; ex-miR-96:外泌体微小 RNA-96; ex-miR-183:外泌体微小 RNA-183。

图 1 血浆 ex-miRNA 表达水平与 HPTS 的相关性分析

2.3 多因素 Logistic 回归分析

以是否患有 NIHL 为因变量(0=否,1=是),将表 1 中有统计学意义的变量(年龄、总噪音暴露年限、ex-miR-96 和 ex-miR-183 表达量)纳入多因素 Logistic 回归模型。结果显示,年龄增大($OR=1.121, 95\%CI: 1.042, 1.205$)、总噪音暴露年限延长($OR=1.153,$

$95\%CI: 1.076, 1.234$)是 NIHL 的独立危险因素,而高水平的 ex-miR-96($OR=0.183, 95\%CI: 0.102, 0.330$)和 ex-miR-183($OR=0.125, 95\%CI: 0.067, 0.234$)是 NIHL 的独立保护因素(均 $P<0.05$),见表 2。

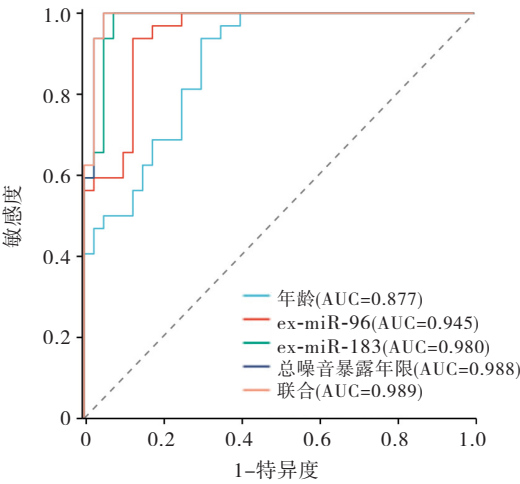
表 2 多因素 Logistic 回归分析

变量	β	SE	Wald	P	OR	95%CI
年龄/岁	0.114	0.037	9.284	0.002	1.121	1.042~1.205
总噪音暴露年限/年	0.142	0.035	16.354	<0.001	1.153	1.076~1.234
ex-miR-96	-1.698	0.300	31.912	<0.001	0.183	0.102~0.330
ex-miR-183	-2.079	0.320	42.828	<0.001	0.125	0.067~0.234

注:ex-miR-96:外泌体微小 RNA-96; ex-miR-183:外泌体微小 RNA-183。

2.4 ROC 曲线

ROC 曲线显示,年龄、总噪音暴露年限、ex-miR-96 和 ex-miR-183 表达量以及联合诊断的曲线下面积分别为 0.877、0.988、0.945、0.980、0.989,见图 2。



注: ex-miR-96; 外泌体微小 RNA-96; ex-miR-183; 外泌体微小 RNA-183; ROC; 受试者工作特征。

图 2 ROC 曲线

3 讨论

NIHL 是一种由遗传易感性和环境因素共同驱动的复杂慢性损伤^[16]。随着分子生物学技术的发展,识别能够反映个体易感性和早期损伤的生物标志物,对实现 NIHL 的精准防控至关重要^[17]。本研究聚焦于与内耳功能密切相关的循环 ex-miRNA,首次系统性地探讨了 ex-miR-96 和 ex-miR-183 在噪声作业人群中的表达模式。研究的核心发现是,与听力正常的对照组相比,NIHL 患者血浆中两种 miRNA 的水平显著下调,并与 HPTS 呈现负相关,高水平 ex-miR-96 和 ex-miR-183 是 NIHL 的独立保护因素。这一结果为 ex-miR-96 和 ex-miR-183 作为 NIHL 诊断工具提供了强有力的临床初步证据^[18]。

本研究结果的核心在于 NIHL 患者循环系统中 ex-miR-96 和 ex-miR-183 的下调。miR-183/96/182 家族作为一个在内耳感觉上皮中保守且富集的 miRNA 簇,其在听觉系统中的关键作用已得到广泛证实^[11,19]。例如,近期的研究表明,在新生大鼠缺氧缺血性脑病模型的海马组织中,miR-183-5p 和 miR-96-5p 的表达显著下调,这与神经损伤过程密切相关^[20]。同样在噪声损伤模型中,大鼠耳蜗组织中 miR-183 的表达也显著降低^[21]。我们的数据与这些基础研究发现相符,并将这一关联从组织层面首次扩展到了外周血循环。一个合理的推测是,长期噪声暴露通过诱发过度

的氧化应激和代谢紊乱,可能引起内耳毛细胞的凋亡或功能失调,导致其内部 miR-96 和 miR-183 的合成减少或分泌模式改变,这些变化通过外泌体分泌被传递到血液中,从而在血浆里被检测到。与依赖组织活检的既往研究相比,本研究基于血浆样本的发现具有更直接的临床转化潜力,因其采样方式更便捷^[22-23],更符合职业健康监护中大规模性筛查的需求。

通过 Spearman 相关性分析,本研究进一步揭示了 ex-miR-96 和 ex-miR-183 水平与 HPTS 的负相关关系,这意味着 miRNA 水平的降低与听力损伤的加重同步发生,为它们作为疾病严重程度的量化指标提供了支持。这种量效关系的存在,使得两种 miRNA 不仅可能成为一种“是/否”的诊断标志物,更有潜力用于动态监测损伤进展或评估干预效果。类似地,在其他感音神经性听力障碍的研究中也观察到了循环 miRNA 与听阈的相关性,例如先天性听力障碍新生儿脐带血中 miR-183 的下调与脑干反应阈值升高相关^[24]。在多因素 Logistic 回归模型中,年龄增大、总噪音暴露年限延长是 NIHL 的独立危险因素,而高水平的 ex-miR-96 和 ex-miR-183 是 NIHL 的独立保护因素。这一发现与既往研究证实的多种基因多态性是 NIHL 独立风险因素的结论相似,共同强调了分子标志物在评估个体患病风险中的价值^[16,25]。然而,与静态的遗传标记不同,作为动态分子的 miRNA,其表达水平的变化可能更能实时地反映噪声暴露所造成的累积性或即时性损伤状态,为评估个体对噪声的生理反应提供了更即时的窗口。

本研究的另一个特点是选择外泌体作为 miRNA 的载体。外泌体作为细胞分泌的纳米囊泡,不仅能保护其内部的 miRNA 免于降解,还被认为是细胞间通讯的关键媒介,广泛参与肿瘤、炎症、神经退行性疾病等多种病理过程^[9,26]。与检测血浆总 miRNA 相比,靶向 ex-miRNA 能够更特异地反映其来源细胞的病理生理状态,已成为生物标志物研究的前沿领域^[10,27]。具体而言,分离外泌体能够有效减少血液中大量存在的、与蛋白质(如 Ago2 蛋白)结合的非囊泡 miRNA 或来自血细胞意外破裂释放的 miRNA 的干扰,从而显著提高检测的信噪比和特异性。已有研究表明,通过分离外泌体可以有效减少来自血细胞破裂或非囊泡结合 RNA 的干扰,显著提高检测的特异性和准确性,例如在肝癌、肺癌等疾病的诊断中,外泌体标志物已展现出优越的诊断效能^[28-29]。本研究遵循了这一策略,成功从血浆中分离并鉴定了外泌体,从而确保了后续 miRNA 检测结果的可靠性。

当然,本研究也存在一些局限性。首先,由于横

断面研究设计的内在属性,我们无法确立 ex-miRNA 水平变化与 NIHL 发生的因果关系;这两种 miRNA 作为早期预警标志物的价值,仍需未来大规模的前瞻性队列研究来验证,理想的设计是建立一个噪声作业工人的纵向队列,在入职时及之后每年定期收集血样和听力数据,以明确 miRNA 水平的下降是否先于听阈的显著升高。其次,尽管 miR-96/183 簇在内耳中富集,但其他组织也能分泌含有这些 miRNA 的外泌体,例如在乳腺癌、结直肠癌等多种肿瘤中均发现 miR-183 的异常表达^[30-31],因此尚不能完全确定血浆中检测到的信号完全来源于内耳,未来的研究或可借助更先进的溯源技术解决此问题。最后,本研究的样本量相对有限,且研究对象仅来自单一行业,研究结论的普适性需要在更广泛、多样化的人群中得到检验。

综上所述,本研究证实 NIHL 患者血浆中 ex-miR-96 和 ex-miR-183 的表达水平存在特异性下调,并揭示了其与听力损伤程度的关联。这些发现不仅为理解 NIHL 的分子机制提供了新线索,更重要的是,它们提示这两种循环 miRNA 有潜力成为一类新颖且客观的生物学标志物,用于 NIHL 的诊断与风险评估,展示了良好的临床应用前景。

参考文献:

- [1] Chen K H, Su S B, Chen K T. An overview of occupational noise-induced hearing loss among workers: epidemiology, pathogenesis, and preventive measures [J]. *Environ Health Prev Med*, 2020, 25(1): 65.
- [2] Kitama T, Nishiyama T, Hosoya M, et al. Noise-induced hearing loss: overview and future prospects for research on oxidative stress[J]. *Int J Mol Sci*, 2025, 26(10): 4927.
- [3] Xu K, Xu B Y, Gu J Y, et al. Intrinsic mechanism and pharmacologic treatments of noise-induced hearing loss [J]. *Theranostics*, 2023, 13(11): 3524-3549.
- [4] Chen Z M, Li W Z, Zhang H Z, et al. Association of noise exposure, plasma microRNAs with metabolic syndrome and its components among Chinese adults[J]. *Sci Total Environ*, 2024, 921: 171123.
- [5] Jiang Z, Wang J P, Feng Y M, et al. Analysis of early biomarkers associated with noise-induced hearing loss among shipyard workers[J]. *JAMA Netw Open*, 2021, 4(9): e2124100.
- [6] Lewis M A, Quint E, Glazier A M, et al. An ENU-induced mutation of miR-96 associated with progressive hearing loss in mice[J]. *Nat Genet*, 2009, 41(5): 614-618.
- [7] 陈蔚雯, 骆爱姝, 刘丽娜, 等. 外周血 miRNA 差异性表达与系统性红斑狼疮病情及预后的关系[J]. *广东医学*, 2023, 44(11): 1362-1367.
- [8] 黄雨霞, 王海燕, 张屹涵, 等. 外泌体在生物标志物研究领域的文献计量学分析[J]. *色谱*, 2025, 43(5): 498-507.
- [9] 苏雅婷, 钱小红, 秦伟捷. 脂质体与外泌体在药物递送和生物标志物筛选中的研究进展[J]. *色谱*, 2025, 43(5): 472-486.
- [10] 李杰瀚, 黄子越, 鲍浩霖, 等. 外泌体非编码 RNA 作为肝细胞癌潜在生物标志物的研究进展[J]. *腹部外科*, 2023, 36(1): 69-75.
- [11] Mahmoodian Sani M R, Hashemzadeh-Chaleshtori M, Saidijam M, et al. microRNA-183 family in inner ear: hair cell development and deafness[J]. *J Audiol Otol*, 2016, 20(3): 131-138.
- [12] 王荣国, 高洁, 张慧平, 等. 电针治疗调节 miR-183 对噪声性耳聋模型耳蜗毛细胞 VEGF 表达的影响[J]. *皖南医学院学报*, 2024, 43(5): 409-413.
- [13] 练东玲, 涂钰莹, 涂玉梅, 等. microRNA-183 调节 FOXO1 对听觉毛细胞再生作用机制研究[J]. *听力学及言语疾病杂志*, 2024, 32(4): 349-356.
- [14] Moore B C J, Lowe D A, Cox G. Guidelines for diagnosing and quantifying noise-induced hearing loss [J]. *Trends Hear*, 2022, 26: 23312165221093156.
- [15] 魏金凤, 张笼, 张志茂. 纤溶酶联合银杏达莫治疗突发性耳聋的临床疗效[J]. *巴楚医学*, 2020, 3(2): 55-57.
- [16] 李丹阳, 王洪阳, 王秋菊. 噪声性听力损失的遗传学研究进展[J]. *临床耳鼻咽喉头颈外科杂志*, 2024, 38(4): 343-347.
- [17] Makaruse N, Maslin M R D, Shai Campbell Z. Early identification of potential occupational noise-induced hearing loss: a systematic review [J]. *Int J Audiol*, 2025, 64(5): 419-428.
- [18] Ruan Y M, Huang G H, Zhang J W, et al. Risk analysis of noise-induced hearing loss of workers in the automobile manufacturing industries based on back-propagation neural network model: a cross-sectional study in Han Chinese population[J]. *BMJ Open*, 2024, 14(5): e079955.
- [19] Gwilliam K, Sperber M, Perry K, et al. A cell type-specific approach to elucidate the role of miR-96 in inner ear hair cells[J]. *Front Audiol Otol*, 2024, 2: 1400576.
- [20] 袁昊, 李婷, 张腾伟, 等. 新生大鼠缺氧缺血性脑病中 miRNA 表达谱的改变及分析[J]. *检验医学与临床*, 2023, 20(24): 3619-3622.
- [21] 唐一萍, 冯俊, 马鹏, 等. miRNA-183 在噪声性耳聋大鼠耳蜗组织中的表达及临床意义[J]. *陕西医学杂志*

- 志, 2021, 50(5): 538-541.
- [22] Min X, Deng X H, Lao H L, et al. BDNF-enriched small extracellular vesicles protect against noise-induced hearing loss in mice[J]. J Control Release, 2023, 364: 546-561.
- [23] Zhang J H, Ma H Z, Yang G J, et al. Differentially expressed miRNA profiles of serum-derived exosomes in patients with sudden sensorineural hearing loss [J]. Front Neurol, 2023, 14: 1177988.
- [24] 袁 源, 陈 密. 脐带血 miR-431 表达水平与新生儿先天性听力障碍关系的研究[J]. 中国儿童保健杂志, 2023, 31(1): 101-104.
- [25] Fan B Y, Wang G, Liu G, et al. Whole-exome sequencing for screening noise-induced hearing loss susceptibility genes[J]. Acta Otolaryngol, 2023, 143 (5): 408-415.
- [26] 古映灵, 许小冰, 何 雯, 等. 外泌体在阿尔茨海默病中的研究进展[J]. 医学综述, 2023, 29(24): 5547-5551.
- [27] 朱晓娴, 陈慧芝, 崔奎琰, 等. 外泌体在肿瘤诊断和治疗中的应用现状与展望[J]. 中国医药导报, 2023, 20 (9): 41-45.
- [28] 田 泽, 刘宏瑞, 司文喆. 外泌体微小 RNA 作为肝细胞肝癌生物标志物的研究进展[J]. 检验医学, 2025, 40 (4): 317-323.
- [29] 崔晓阳, 刘国栋, 郭慧娟, 等. 血清外泌体 CEA、CA15-3 和 CA125 水平在非小细胞肺癌和肺部良性病变鉴别诊断中的价值[J]. 检验医学, 2024, 39(11): 1035-1041.
- [30] 褚 旭, 赵 浩, 向 玲, 等. SOCS3 受 miR-183-5p 调控影响乳腺癌细胞的增殖、迁移、侵袭和凋亡[J]. 兰州大学学报(医学版), 2023, 49(10): 16-25.
- [31] 王前进, 董久兴, 武振明. 结肠癌组织中 miR-183-5p 和 THEM4 的表达水平及临床意义[J]. 中国现代普通外科进展, 2024, 27(1): 42-46.
- [收稿日期 2025-10-31]