

• 环境因素与儿童健康专栏 •

儿童注意缺陷多动障碍的环境与生活方式相关因素分析及 Nomogram 风险评估模型构建

韩雪榕¹, 张洪轩¹, 申延丰², 张桂香²

1. 大连市疾病预防控制中心(大连市卫生监督所), 辽宁 大连 116000; 2. 大连市妇女儿童医疗中心

摘要: **目的** 分析儿童注意缺陷多动障碍(ADHD)相关因素, 构建并验证风险评估模型, 为高危儿童的早期筛查和防治策略的制定提供科学依据。**方法** 采用回顾性病例对照研究设计, 以 2024 年 1—9 月大连市妇女儿童医疗中心确诊的 348 例 ADHD 儿童作为病例组, 通过倾向评分匹配 150 例性别、年龄(± 6 月)相符的正常儿童作为对照组。通过问卷调查收集社会人口学、家庭环境及生活方式信息。采用单因素分析和 Lasso 回归进行变量初筛, 经多因素 Logistic 回归确定相关因素, 利用 R 软件构建 Nomogram 预测模型并验证。**结果** 多因素 logistic 回归分析显示, 非双亲抚养($OR = 2.267, 95\%CI: 1.089 \sim 4.719$)、主要饮用桶装水($OR = 1.960, 95\%CI: 1.206 \sim 3.185$)、室内主要依赖空调通风($OR = 3.613, 95\%CI: 1.368 \sim 9.540$)、婴幼儿期入住新装修房屋($OR = 1.781, 95\%CI: 1.059 \sim 2.996$)以及儿童主要活动区域墙面使用溶剂型涂料($OR = 2.067, 95\%CI: 1.268 \sim 3.368$)与 ADHD 发生呈正向关联; 装修后空置 ≥ 2 年入住与 ADHD 发生呈负向关联($OR = 0.399, 95\%CI: 0.230 \sim 0.692$)。基于上述 6 项因素构建的 Nomogram 模型内部验证结果显示, 其区分度良好($AUC = 0.73, 95\%CI: 0.69 \sim 0.78$), 校准度较好(Hosmer-Lemeshow 检验, $P = 0.220$)。**结论** 儿童 ADHD 与家庭抚养方式、生活方式及室内环境暴露因素存在关联。基于上述因素构建的 Nomogram 模型具有一定预测能力, 可为 ADHD 高危儿童的早期识别及针对性干预提供参考。

关键词: 注意缺陷多动障碍; 生活方式; 环境因素; Nomogram 模型; 儿童

中图分类号: R179 文献标识码: A 文章编号: 1008-6579(2026)07-0726-06 doi:10.11852/zgetbjzz2025-0773

Environmental and lifestyle factors associated with attention-deficit/hyperactivity disorder in children and development of a Nomogram risk assessment model

HAN Xuerong¹, ZHANG Hongxuan¹, SHEN Yanfeng², ZHANG Guixiang²

1. Dalian Municipal Center for Disease Control and Prevention (Dalian Municipal Health Inspection Institute), Dalian, Liaoning 116000, China; 2. Dalian Women and Children's Medical Center

Abstract: **Objective** To investigate factors associated with attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD) in children, and to develop and validate a risk assessment model, so as to provide a scientific basis for early screening of high-risk children and the formulation of prevention and treatment strategies. **Methods** A retrospective case-control study was conducted, including 348 children diagnosed with ADHD at Dalian Women and Children's Medical Center from January to September 2024 as the case group, and 150 age- and sex-matched healthy controls by propensity score matching. Sociodemographic, household environment, and lifestyle information were collected via questionnaires. Univariate analysis and Lasso regression were used for preliminary variable screening, followed by multivariate logistic regression to identify associated factors. Finally, a Nomogram prediction model was constructed and validated using R software.

Results Multivariate logistic regression analysis showed that non-parental rearing ($OR = 2.267, 95\%CI: 1.089 - 4.719$), primary consumption of bottled water ($OR = 1.960, 95\%CI: 1.206 - 3.185$), reliance on air conditioning for indoor ventilation ($OR = 3.613, 95\%CI: 1.368 - 9.540$), moving into a newly renovated residence during infancy and early childhood ($OR = 1.781, 95\%CI: 1.059 - 2.996$), and use of solvent-based wall coatings in children's main activity areas ($OR = 2.067, 95\%CI: 1.268 - 3.368$) were positively associated with ADHD, whereas moving into a residence at least 2 years after renovation was negatively associated with ADHD ($OR = 0.399, 95\%CI: 0.230 - 0.692$). The Nomogram model developed using these six variables demonstrated acceptable discrimination ($AUC = 0.73, 95\%CI: 0.69 - 0.78$) and good calibration (Hosmer-Lemeshow test, $P = 0.220$). **Conclusions** Childhood ADHD is associated with family rearing

基金项目: 大连市重大传染病防控项目(大卫计[2023]147 号)**作者简介:** 韩雪榕(1985—), 女, 硕士学位, 主要研究方向为环境与健康。

patterns, lifestyle characteristics, and indoor environmental exposure factors. The Nomogram model developed in this study shows moderate predictive performance and may serve as a useful tool for the early identification and targeted intervention among children at increased risk of ADHD.

Keywords: attention-deficit/hyperactivity disorder; lifestyle; environmental factors; Nomogram model; children

儿童注意缺陷多动障碍(attention-deficit/hyperactivity disorder, ADHD)是一种常见的神经发育障碍性疾病,我国学龄儿童患病率约为 6.5%~13.4%^[1]。目前其诊断主要依赖行为量表,缺乏特异性生物学标志物,易致漏诊或延误^[2]。既往的病因研究多集中于遗传与家庭心理因素^[3],而近年来研究表明,环境暴露(如室内空气污染)与生活方式改变(如抚养模式、居住习惯)可能在 ADHD 发病中起重要作用^[4-5]。然而,现有风险评估工具仍以心理量表为主,缺乏整合多维度环境与行为因素的有效预测模型。因此,本研究旨在通过识别儿童 ADHD 相关的环境与行为因素,构建并验证一个基于 Nomogram 的风险评估模型,以期为早期筛查高危儿童和推动防治策略向“风险防控”前移提供量化工具与科学依据。

1 对象和方法

1.1 样本来源与匹配设计 采用回顾性病例对照研究,选取 2024 年 1—9 月大连市妇女儿童医疗中心确诊的 348 例 6~12 岁 ADHD 儿童为病例组,同期招募 150 名正常儿童为对照组,并按年龄(± 6 月)、性别 1:2 组间均衡匹配。基于 OR 检验,在 $\alpha=0.05$ 、检验效能 0.80、预期 $OR=2.0$ 条件下,估算所需样本量约 420 例。本研究实际纳入 498 例,实际检验效能达 85% 以上,满足研究需求。

1.2 纳入标准与排除标准 病例组符合《精神障碍诊断与统计手册(第 5 版)》(Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, Fifth Edition, DSM-5)诊断标准^[6],经 SNAP-IV 父母版(Cronbach's α 系数为 0.88~0.95)^[7]及 Conners 父母量表(Cronbach's α 系数为 0.875)^[8]评估。排除共患其他神经发育障碍或近 3 个月服用精神类药物者。对照组 SNAP-IV 所有子量表评分 $< P_{75}$,排除一级亲属患 ADHD 或既往接受神经心理干预者。研究获伦理委员会批准(DLCDC-LS-2025-02),监护人均签署知情同意书。

1.3 资料收集 通过德尔菲专家咨询(10 人, $Cr=0.89$)设计电子问卷,涵盖人口学、室内环境暴露及生活方式。预调查显示信度良好(Cronbach's α 系数为 0.81~0.89)。病例组回收有效问卷 348 份(96.7%),对照组 150 份(83.3%),总有效率 92.1%。

1.4 质量控制 诊断由两名培训医师独立完成($Kappa>0.80$),季度复核。匹配后组间均衡性良好($SMD<0.1$)。问卷设逻辑跳转,采用日历辅助法减少回忆偏倚,关键变量缺失值多重插补。由研究助理指导家长扫码填写。

1.5 统计学方法 采用 SPSS 25.0 及 R4.2.1 软件。计数资料组间比较用 χ^2 检验(Bonferroni 校正)。先以单因素联合 Lasso 回归筛选变量,再行多因素 logistic 回归确定相关因素。用 R 软件(rms 包)构建 Nomogram 模型,Bootstrap 法(1 000 次)内部验证,以 C-index 评价区分度,校准曲线与 Hosmer-Lemeshow 检验评价校准度。检验水准 $\alpha=0.05$ (双侧)。

2 结果

2.1 病例组和对照组儿童基本情况比较 病例组平均年龄(7.59 ± 2.49)岁,男童比率占 55.3%;对照组平均年龄(7.96 ± 2.68)岁,男童比率占 56.9%,两组间年龄、性别比较,差异无统计学意义($P>0.05$),具有可比性。

2.2 病例组、对照组儿童生活方式比较 经 Bonferroni 校正后,病例组与对照组在抚养人、膨化食品与海产品贝类摄入频率、塑料制品使用频率及主要饮水类型方面差异有统计学意义($P<0.05$),而在出生史方面差异无统计学意义($P>0.05$)。见表 1。

2.3 病例组、对照组儿童居室环境因素比较 病例组与对照组儿童在住所位置、周边工矿企业、住房通风方式、厨房燃料类型、居室异味、装修后空置期、新生儿期与婴幼儿期入住新装修房屋,以及儿童主要活动区域的地板、墙面和家具材质等多项居室环境因素上差异有统计学意义($P<0.05$)。见表 2。

2.4 采用 Lasso 算法进行因素筛选 采用 Lasso 回归对变量进行压缩筛选,以解决多重共线性并识别关键预测因子。随着正则化参数 λ 增大,变量系数逐步收缩至零。见图 1A。通过十折交叉验证确定最优 $\lambda(\lambda_{\min}=0.02)$,此时模型误差最小。见图 1B。在此 λ 值下,模型共保留 13 个非零系数变量,主要包括:抚养方式、主要饮水类型、住所位置、住房通风方式、居室是否有不适气味、装修后空置期、装修入住暴露时期(新生儿期、婴幼儿时期)、以及儿童主要

表 1 病例组、对照组生育史、生活方式各因素比较(例, %)

Tab. 1 Comparison of factors related to reproductive history and lifestyle between the case group and the control group(n , %)

变量	分组	病例组($n=348$)	对照组($n=150$)	χ^2 值	P 值
出生史	早产	71(20.4)	20(13.3)	3.51	0.061
	足月	277(79.6)	130(86.7)		
抚养人	双亲	283(81.3)	140(93.3)	11.82	<0.001
	非双亲	65(18.7)	10(6.7)		
回顾过去 1 年内膨化食品摄入频率	从不	112(32.2)	34(22.7)	11.47	0.010
	<1 次/周	133(38.2)	75(50.0)		
	1~<3 次/周	85(24.4)	27(18.0)		
	≥3 次/周	18(5.2)	14(9.3)		
回顾过去 1 年海产品贝类摄入频率	从不	96(27.6)	26(17.3)	17.21	<0.001
	<1 次/周	141(40.5)	91(60.7)		
	1~<3 次/周	89(25.6)	26(17.3)		
	≥3 次/周	22(6.3)	7(4.7)		
塑料制品使用频率	从不	94(27.0)	23(15.3)	12.45	0.006
	偶尔	178(51.2)	92(61.3)		
	经常	60(17.2)	33(22.0)		
	总是	16(4.6)	2(1.4)		
主要饮水类型	桶装水	140(40.2)	30(20.0)	26.47	<0.001
	瓶装水	107(30.8)	44(29.3)		
	净水设备	101(29.0)	76(50.7)		

表 2 病例组、对照组儿童居室各环境因素比较(例, %)

Tab. 2 Comparison of environmental factors in children's living rooms between the case group and the control group(n , %)

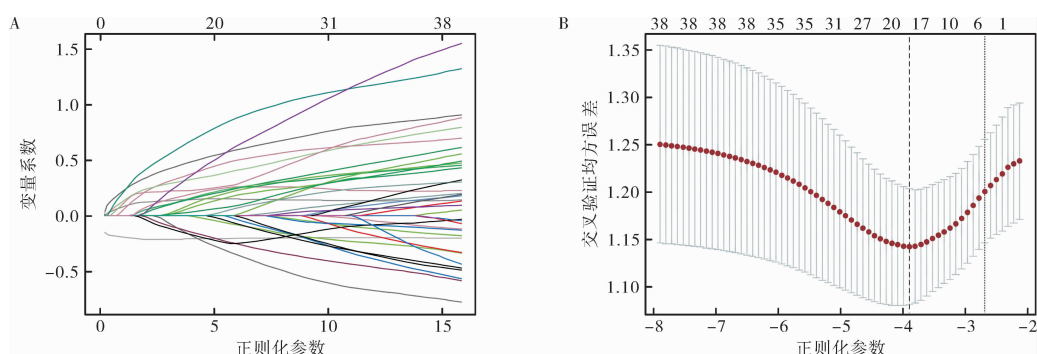
变量	分组	病例组($n=348$)	对照组($n=150$)	χ^2 值	P 值
住所位置	市区	218(62.6)	122(81.3)	16.99	<0.001
	郊区	65(18.7)	15(10.0)		
周边工矿企业等	农村	65(18.7)	13(8.7)	11.76	<0.001
	无	241(69.3)	126(84.0)		
住房通风方式	有	107(30.7)	24(16.0)	13.94	<0.001
	自然通风为主	296(85.1)	145(96.7)		
厨房燃料类型	空调为主	52(14.9)	5(3.3)	9.14	0.002
	气体	283(81.3)	138(92.0)		
室内是否有异味	非气体	65(18.7)	12(8.0)	14.90	<0.001
	有	91(26.1)	16(10.7)		
装修后空置期	无	257(73.9)	134(89.3)	39.90	<0.001
	<3 个月	66(19.0)	17(11.3)		
	3~6 个月	106(30.4)	21(14.0)		
	6 个月~1 年	76(21.8)	32(21.3)		
	1~2 年	50(14.4)	25(16.7)		
装修入住暴露时期	≥2 年	50(14.4)	55(36.7)	2.38	0.132
	孕期	70(20.1)	58(38.7)		
	新生儿期	87(25.0)	16(10.7)		
	婴幼儿时期	99(28.4)	23(15.3)		
	学龄前期	57(16.4)	30(20.0)		
儿童主要活动区域地板材质	学龄期	45(12.9)	23(15.3)	0.07	0.778
	实木	170(48.9)	68(45.3)		
	复合木	134(38.5)	66(44.0)		
	瓷砖	155(44.5)	70(46.7)		
	水泥	54(15.5)	6(4.0)		
儿童主要活动区域墙面覆盖材料	地板革	28(8.0)	3(2.0)	13.12	<0.001
	水性涂料	136(39.1)	32(21.3)		
	溶剂型涂料	168(48.3)	51(34.0)		
	壁纸	106(30.5)	37(24.7)		
	织物	40(11.5)	6(4.0)		
儿童主要活动区域家具材质	实木	235(67.5)	107(71.3)	0.71	0.401
	人造板材	153(44.0)	66(44.0)		
	金属玻璃类	56(16.1)	22(14.7)		
	藤条编制	35(10.1)	3(2.0)		

注:地板、墙面、家具材质及装修入住暴露时期为多选变量,问卷采集时要求家长以儿童卧室及日常主要活动区域(不含卫生间、厨房)为评估场景,并优先勾选使用面积最大或频率最高的 1~2 种主要材质,以突出核心暴露特征;装修入住暴露时期根据儿童从孕期至学龄期的居住史,勾选所有曾经历的装修后入住时段(可多选),以反映生命早期多重暴露窗口。

活动区域的地板覆盖材料(水泥)、墙面覆盖材料(水性涂料、溶剂型涂料、织物),家具材质(藤条编

制)。上述 Lasso 筛选结果与单因素分析中有统计学意义的变量高度重叠。所有入选变量的方差膨胀

因子均小于 4, 表明不存在严重多重共线性, 适合纳入后续多因素 logistic 回归分析。



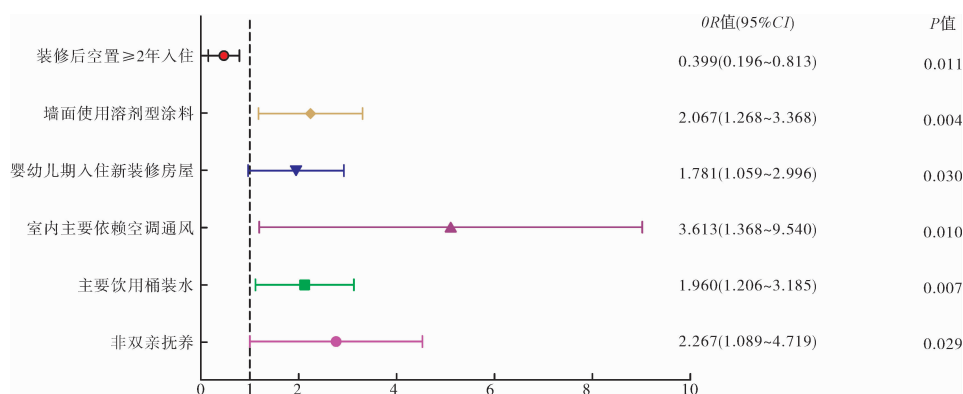
注: A 为变量系数随正则化参数($\text{Log}\lambda$)变化的路径图; B 为十折交叉验证均方误差曲线

图 1 基于 Lasso 回归模型筛选影响因素的结果图

Fig. 1 Results of influencing factors screened by Lasso regression model

2.5 基于逐步 logistic 回归确定儿童罹患 ADHD 相关因素并绘制森林图 以儿童是否患有 ADHD (是=1, 否=0) 为因变量, 将 Lasso 回归筛选出的 13 个变量作为自变量纳入多因素 logistic 回归分析。采用基于 AIC 的向后逐步回归法进行变量选择, 多因素 logistic 回归结果显示: 非双亲抚养 ($OR = 2.267, 95\%CI: 1.089 \sim 4.719$)、以空调为主要通风方式 ($OR = 3.613, 95\%CI: 1.368 \sim 9.540$)、主要饮

用桶装水 ($OR = 1.960, 95\%CI: 1.206 \sim 3.185$)、婴幼儿期入住新装修房屋 ($OR = 1.781, 95\%CI: 1.059 \sim 2.996$) 以及儿童主要活动区域墙面使用溶剂型涂料 ($OR = 2.067, 95\%CI: 1.268 \sim 3.368$) 与儿童罹患 ADHD 风险升高相关。相反, 装修后空置 ≥ 2 年入住与其风险降低相关 ($OR = 0.399, 95\%CI: 0.230 \sim 0.692$)。见图 2。



注: 图中水平线表示各因素 OR 值的 95%CI, 中线 ($OR=1$) 为无效应参考线, 横条跨越中线表示无统计学意义。自变量: 6 项相关因素 (非双亲抚养、桶装水、空调通风、婴幼儿期新装修、溶剂型涂料、装修空置 ≥ 2 年); 因变量为儿童是否患有 ADHD (是=1, 否=0)。因空调为主要通风方式的对照组例数较少 ($n=5$), 故其 OR 的 95%CI (1.368~9.540) 较宽, 但下限 >1 。

图 2 儿童 ADHD 影响因素分析森林图

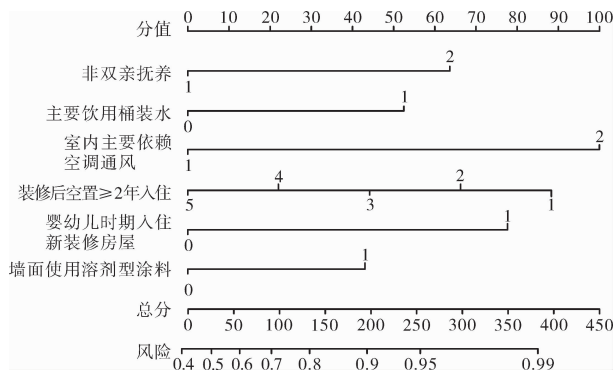
Fig. 2 Forest plot for the analysis of influencing factors of childhood ADHD

2.6 儿童 ADHD 风险评估 Nomogram 模型的建立与验证

2.6.1 风险模型的建立 基于多因素 logistic 回归分析确定的 6 个相关因素 (非双亲抚养、主要饮用桶装水、以空调为主要通风方式、婴幼儿期入住新装修房屋、墙面使用溶剂型涂料、装修后空置 ≥ 2 年), 构建预测儿童 ADHD 发病风险的 Nomogram 模型

(列线图)。各因素对总分的贡献权重不同。其中, “室内主要依赖空调通风” 分值最高 (100 分), 是权重最大的风险因素; “婴幼儿时期入住新装修房屋” 约为 77.5 分, “非双亲抚养” 约为 63.5 分, “主要饮用桶装水” 约为 52.5 分, “墙面使用溶剂型涂料” 约为 43 分; “装修后空置 ≥ 2 年入住” 为保护因素, 其对应分值约为 88 分 (应从总分中扣除以降低风险)。总

分越高,预测的 ADHD 发病风险越大。总分 248.5 分,预测的 ADHD 风险达 95%。见图 3。

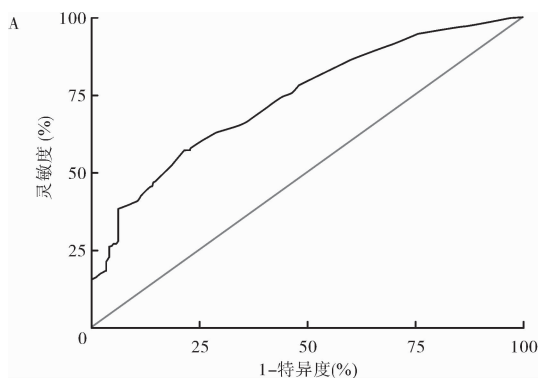


注:该列线图的使用方法为:每个预测因素对应的具体取值向上垂直投射到“分值”标尺,得到相应的单项分数;将各单项分数相加得到总分,再向下投射到“风险”标尺,即可获得该个体罹患 ADHD 的预测概率。

图 3 儿童 ADHD 发病风险的列线图模型

Fig. 3 Nomogram model for predicting the risk of childhood ADHD

2.6.2 风险模型的验证 ROC 曲线显示 $AUC = 0.73$ (95% CI: 0.69~0.78), 表明模型区分效能良好, 见图 4A。Bootstrap 法 (1 000 次抽样) 校准曲线



注:A 为风险模型的 ROC 曲线;B 为风险模型的校准曲线。

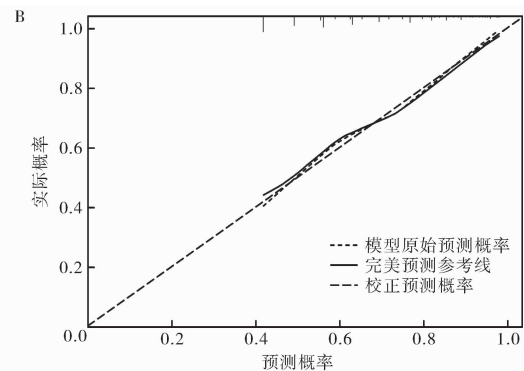


图 4 儿童 ADHD 风险模型的验证

Fig. 4 Verification of the risk model for childhood ADHD

环境因素暴露的关联: 本研究发现主要饮用桶装水与 ADHD 风险存在正向关联 ($OR = 1.960$), 其生物学解释尚不明确。有研究提示, 桶装水长期存放可能伴随矿物质元素流失, 而微量元素 (如铁、锌) 缺乏已被证实与儿童神经传导功能及注意力调控存在关联^[11-12]; 此外, 塑料容器中内分泌干扰物 (如邻苯二甲酸盐) 的溶出, 因其具有神经毒性, 被部分学者推测为潜在的风险路径^[13], 但本研究尚无法对此进行验证。儿童主要活动区域溶剂型涂料墙面 ($OR = 2.067$) 及婴幼儿期入住新装修房屋 ($OR = 1.781$) 均指向室内空气污染物 (如装修材料释放的甲醛、颗粒

平均绝对误差 0.016, 提示预测概率与实际概率高度一致, 见图 4B。Hosmer-Lemeshow 检验 ($\chi^2 = 10.681, P = 0.220$) 证实模型拟合优度良好。

3 讨论

本研究通过 Lasso-Logistic 回归分析识别出儿童罹患 ADHD 的相关因素 (非双亲抚养、主要饮用桶装水、室内主要依赖空调通风、婴幼儿期入住新装修房屋、墙面使用溶剂型涂料和装修后空置 ≥ 2 年入住), 并构建了 Nomogram 风险评估模型。研究结果不仅印证了家庭环境和社会因素对 ADHD 的影响, 还提示了特定环境暴露的潜在风险, 为区域化防控提供了参考。

3.1 ADHD 相关因素及其作用机制探讨 家庭结构因素方面, 儿童患 ADHD 风险与非双亲抚养显著相关 ($OR = 2.267$), 与李焱等^[4] 研究一致。推测可能与单亲或隔代抚养易导致监管缺失、情感支持不足及家庭冲突增多有关, 这些可能通过慢性应激影响儿童神经发育^[9]。非双亲家庭常面临经济资源受限, 可能间接导致居住环境质量下降, 形成“社会-环境”双重风险暴露^[10]。

物、挥发性有机物等) 暴露风险。挥发性有机物等可经血脑屏障诱发氧化应激与神经细胞损伤^[14-15], 而婴幼儿期血脑屏障发育尚不完善、解毒代谢能力较弱, 可能是该阶段暴露风险更高的生物学基础。以空调为主要通风方式 ($OR = 3.613$) 可能因新风换气不足导致室内空气污染物累积。已有流行病学研究提示室内空气污染与儿童 ADHD 症状存在正向关联, 其机制假说包括神经炎症、多巴胺能系统调节异常等, 但仍需基础研究进一步证实^[16-17]。

值得注意的是, 装修后空置 ≥ 2 年入住与儿童罹患 ADHD 风险降低相关 ($OR = 0.399$), 本研究观

察到的“2 年空置期”与 Chen 等^[17]报告的神经行为风险下降拐点趋势相符,这可能与室内空气污染物释放量随时间推移逐渐衰减有关,该发现为探讨“装修空置期”的合理性提供了初步的量化参考。

3.2 聚焦 ADHD 儿童室内微环境、生活方式与装修暴露时间窗 既往研究多关注大气污染或家庭社会经济地位,而本研究侧重于室内微环境和生活行为细节:研究发现桶装水风险为饮水途径提供暴露线索;空调通风的关联性($OR=3.613$)揭示通风模式的重要性;婴幼儿期装修暴露与 ADHD 相关,与 Thygesen 等^[5]提出的生命早期环境暴露敏感期理论相符,提示该阶段可能是室内装修污染物暴露的关键窗口之一。

3.3 ADHD 风险预测模型效能评估与临床应用

本研究构建的环境-行为整合模型($AUC=0.73$)突破了传统心理量表局限,具有以下特点:1)整合可干预的环境与行为指标;2)可视化个体风险评分;3)识别通风方式、装修空置期等可干预因素,为精准预防提供方向。但采取自然通风、延长空置期等措施能否降低风险,仍需前瞻性干预研究验证。

3.4 局限性与展望 环境暴露史依赖家长回溯,难以完全避免回忆偏倚;病例对照设计无法确证因果关系;此外,以空调为主要通风方式的对照组暴露例数仅 5 例,导致其 OR 估计的置信区间较宽,该效应精度有待更大样本验证。模型仅经单中心内部验证,需外部数据确认。未来应开展前瞻性队列研究验证模型效能,结合代谢组学解析分子机制,并在充分外部验证后开发社区筛查工具,推动环境-行为联合干预。

利益冲突声明 本文不存在利益冲突

数据可用性声明 本研究数据包含了参与者的个人信息、健康状况等敏感内容。在整个研究过程中,研究团队采取了多重数据保护措施,如数据加密、匿名化处理等,以确保数据的安全性和保密性。鉴于数据的敏感性质,无法公开原始数据。

参考文献

- [1] 林惠芳,李兵,黄双苗,等. 儿童多动症相关影响因素分析[J]. 中国妇幼保健, 2021, 36(23): 5484-5486.
Lin HF, Li B, Huang SM, et al. Study on the influence factors of children with attention deficit hyperactivity disorder [J]. Matern Child Health Care China, 2021, 36(23): 5484-5486. (in Chinese)
- [2] Abdelnour E, Jansen MO, Gold JA. ADHD diagnostic trends: Increased recognition or overdiagnosis? [J]. Mo Med, 2022, 119(5): 467-473.
- [3] Agnew-Blais JC, Wertz J, Arseneault L, et al. Mother's and children's ADHD genetic risk, household chaos and

children's ADHD symptoms: A gene-environment correlation study[J]. J Child Psychol Psychiatry, 2022, 63(10): 1153-1163.

- [4] 李焱,杜亚松,江文庆,等. 注意缺陷多动障碍儿童发病家庭环境及发育相关危险因素的研究[J]. 中国儿童保健杂志, 2020, 28(5): 559-562.
Li Y, Du YS, Jiang WQ, et al. Study on family environment and development-related risk factors of children with attention deficit hyperactivity disorder [J]. Chin J Child Health Care, 2020, 28(5): 559-562. (in Chinese)
- [5] Thygesen M, Holst GJ, Hansen B, et al. Exposure to air pollution in early childhood and the association with attention-deficit hyperactivity disorder[J]. Environ Res, 2020, 183: 108930.
- [6] Krauel K, Brauer H, Breitling-Ziegler C, et al. Prefrontal transcranial direct current stimulation in pediatric attention-deficit/hyperactivity disorder: A randomized clinical trial [J]. JAMA Netw Open, 2025, 8(2): e2460477.
- [7] 张慧凤,张劲松,帅澜,等. 学龄前儿童中文版 SNAP-IV 评定量表父母版的信效度检验[J]. 中国儿童保健杂志, 2016, 24(12): 1253-1256.
Zhang HF, Zhang JS, Shuai L, et al. Reliability and validity of the Chinese version of the Swanson, Nolan, and Pelham, version IV scale-parent form[J]. Chin J Child Health Care, 2016, 24(12): 1253-1256. (in Chinese)
- [8] 吴艳红,董淑梅,杨小珍,等. 25-(OH)D 水平检测与小儿多动症量表评分的相关性研究[J]. 宁夏医学杂志, 2024, 46(4): 333-336.
Wu YH, Dong SM, Yang XZ, et al. Research on the correlation between 25-(OH) vitamin D level detection and pediatric ADHD scale scores[J]. Ningxia Med J, 2024, 46(4): 333-336. (in Chinese)
- [11] Robinette LM, Johnstone JM, Srikanth P, et al. Evaluating mineral biomarkers as mediators and moderators of behavioural improvements in a randomised controlled trial of multivitamins for children with attention-deficit/hyperactivity disorder[J]. Br J Nutr, 2024, 132(3): 315-329.
- [12] Skalny AV, Mazaletskaya AL, Ajsuvakova OP, et al. Serum zinc, copper, zinc-to-copper ratio, and other essential elements and minerals in children with attention deficit/hyperactivity disorder (ADHD)[J]. J Trace Elem Med Biol, 2020, 58: 126445.
- [13] Antoniou EE, Otter R. Phthalate exposure and neurotoxicity in children: A systematic review and meta-analysis[J]. Int J Public Health, 2024, 69: 1606802.
- [14] Gao CY, Zhao X, Li T. Effects of indoor VOCs from paint on human brain activities during working memory tasks: An electroencephalogram study [J]. Indoor Air, 2022, 32(7): e13062.
- [15] Lane M, Oyster E, Luo Y, et al. The effects of air pollution on neurological diseases: A narrative review on causes and mechanisms[J]. Toxics, 2025, 13(3): 207.
- [16] Ahmad S, Naveen KG, Babu AM, et al. Association between ambient air pollution and attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD) in children: A systematic review and meta-analysis[J]. Cureus, 2024, 16(10): e71527.
- [17] Chen YC, Gui ZH, Bao WW, et al. Chronic exposure to indoor air pollutants in association with attention-deficit/hyperactivity disorder symptoms in Chinese schoolchildren: A cross-sectional study[J]. NeuroToxicology, 2023, 94: 182-190.

收稿日期:2025-07-14 修回日期:2026-04-13 本文编辑:李少闻