

替代健康饮食指数与儿童及青少年哮喘的关系：基于2005~2018年NHANES横断面研究

李旭阳¹, 李 薇^{2*}

¹暨南大学附属第一医院儿科, 广东 广州

²东莞市滨海湾中心医院(南方医科大学南方医院东莞医院)新生儿科, 广东 东莞

收稿日期: 2026年4月12日; 录用日期: 2026年5月6日; 发布日期: 2026年5月12日

摘要

目的: 研究儿童及青少年哮喘与替代健康饮食指数(AHEI)之间的关系。方法: 选取国家健康与营养调查(NHANES) 2005~2018年4~16岁儿童青少年数据。以AHEI作为膳食质量评价指标, 以哮喘作为结局变量。采用复杂抽样加权方法进行描述性分析及组间比较, 构建加权logistic回归模型评估AHEI与哮喘患病的关联, 并逐步调整人口学特征、社会经济因素、生活方式及能量摄入等混杂因素。在此基础上, 纳入身体质量指数z评分(BMI z-score)探讨其与AHEI、哮喘之间的关系, 并采用中介分析评估BMI z评分在两者之间的中介作用。同时进行AHEI分位数敏感性分析及各组成成分分析。结果: AHEI评分与儿童哮喘患病呈显著负相关, 在逐步调整混杂因素后该关联仍存在。纳入BMI z评分后, AHEI与哮喘之间的负相关关系略有减弱但仍具有统计学意义。中介分析结果显示BMI z评分在AHEI与哮喘之间存在显著但较小的中介效应。敏感性分析表明, 随着AHEI水平升高, 哮喘患病风险呈下降趋势。成分分析显示, 水果摄入与哮喘风险降低相关, 而含糖饮料摄入与哮喘风险升高相关。结论: 较高AHEI评分与儿童青少年较低哮喘患病风险相关, BMI z-score可能部分参与二者之间的关联。研究结果提示, 饮食模式可能通过体重状态等途径与儿童青少年哮喘患病风险相关, 为进一步探索饮食、肥胖及炎症通路在儿童哮喘中的作用提供了研究思路。

关键词

儿童, 哮喘, 替代健康饮食指数, 国家健康与营养调查

Association between Alternate Healthy Eating Index and Asthma in Children and Adolescents: A Cross-Sectional Study Based on NHANES 2005~2018

*通讯作者。

文章引用: 李旭阳, 李薇. 替代健康饮食指数与儿童及青少年哮喘的关系: 基于 2005~2018 年 NHANES 横断面研究[J]. 临床医学进展, 2026, 16(5): 753-762. DOI: 10.12677/acm.2026.1651870

Xuyang Li¹, Wei Li^{2*}

¹Department of Pediatric, The First Affiliated Hospital of Jinan University, Guangzhou Guangdong

²Department of Neonatology, Dongguan Binhaiwan Central Hospital (Dongguan Hospital-Nanfang Hospital, Southern Medical University), Dongguan Guangdong

Received: April 12, 2026; accepted: May 6, 2026; published: May 12, 2026

Abstract

Objective: To investigate the relationship between the Alternate Healthy Eating Index (AHEI) and asthma in children and adolescents. **Methods:** Data were extracted from the National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES) 2005~2018 for participants aged 4~16 years. AHEI was used as a measure of dietary quality, and asthma as the outcome variable. Complex sampling weighting was applied for descriptive analysis and between-group comparisons. Weighted logistic regression models were constructed to assess the association between AHEI and asthma prevalence, with stepwise adjustment for demographic characteristics, socioeconomic factors, lifestyle variables, and energy intake. Subsequently, body mass index z-score (BMI z-score) was introduced to explore its relationship with AHEI and asthma, and mediation analysis was performed to examine the mediating role of BMI z-score in the association between AHEI and asthma. Sensitivity analyses across AHEI quantiles and component analyses were also conducted. **Results:** AHEI score was significantly and inversely associated with asthma prevalence in children. This association remained stable after stepwise adjustment for confounders. After including BMI z-score, the inverse association between AHEI and asthma was slightly attenuated but remained statistically significant. Mediation analysis revealed a significant but modest mediating effect of BMI z-score on the AHEI-asthma relationship. Sensitivity analysis showed a decreasing trend in asthma risk with higher AHEI levels. Component analysis indicated that fruit intake was associated with a lower risk of asthma, whereas sugar-sweetened beverage intake was associated with a higher risk. **Conclusions:** Higher AHEI scores were associated with a lower prevalence of asthma among children and adolescents, and BMI z-score may partially contribute to this association. These findings suggest that dietary patterns may be linked to asthma prevalence in children and adolescents through pathways related to body weight status, providing a basis for future research on the roles of diet, obesity, and inflammatory pathways in childhood asthma.

Keywords

Children, Asthma, Alternative Healthy Eating Index, NHANES

Copyright © 2026 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. 引言

儿童哮喘是一种常见的慢性气道炎症性疾病,在全世界范围内都占有非常重要的地位。近年来,其发病率不断攀升并且在一些地区迅速增加[1]。研究表明,哮喘在全球范围内呈高流行状态,儿童及青少年哮喘在不同地区均具有沉重的疾病负担[2]。遗传易感性与环境暴露均可以影响哮喘的发生[3],与此同时,儿童及青少年肥胖率亦日益增加,且与哮喘的发生密切相关[4]。尽管空气污染、过敏原暴露等传统危险因素已经研究很多,但是仍然不能很好地解释哮喘患病率变化,提示尚存在其他可调节因素参与其中。

作为一种可干预的生活方式, 饮食因素在呼吸系统疾病中的作用逐渐受到关注。Martineau 等[5]进行的一项 meta 分析显示, 维生素 D 以及其他一些营养素可能具有防止下呼吸道感染的作用, 但是这需要更多的证据来支持。Koumpagioti 等[6]指出采用地中海式饮食可以减少儿童患哮喘的风险, Alwarith 等[7]认为全面优化饮食较单一营养素更能反映对健康的影响。健康膳食模式与较低的哮喘患病率存在关联, 饮食通过调节炎症反应及免疫功能在过敏性疾病发生中发挥重要作用[8] [9]。以上这些研究均提示, 从膳食模式的角度分析饮食对哮喘的影响是十分必要的。

虽然已有一定工作基础, 但是针对儿童青少年人群高质量流行病学证据仍然匮乏, 尤其是基于大样本全国性数据系统分析其膳食模式的研究较少。作为一种在营养学中广泛应用的方法, 替代型健康饮食指数(Alternative Healthy Eating Index, AHEI)由于能够很好地反映个人长期饮食情况而受到广泛重视并且已经证明其与多种健康结果之间有很强关联性。在育龄人群中, 其评分可有效区分不同膳食质量水平, 并与代谢相关指标存在关联[10]; 在慢性病患者中, AHEI 评分与死亡风险呈显著负相关, 提示其具有良好的预测价值[11]。进一步研究还发现, AHEI 水平与疾病严重程度及功能受损程度之间存在剂量关系, 这也说明了它在临床上疾病评估的应用价值[12]。但 AHEI 应用在儿童哮喘研究中仍不足。肥胖被认为是哮喘的重要危险因素, 可通过慢性低度炎症及气道反应性改变影响疾病发生, 同时微生物及遗传机制也参与其中[13]。肥胖可能是哮喘负担的重要驱动因素, 相关炎症反应在其中发挥关键作用[14]。

本研究基于 NHANES 数据库对儿童及青少年人群进行研究, 系统评估 AHEI 饮食评分和哮喘发生的关系, 分析体重指数 BMI z 评分的中介作用, 各膳食成分的独立效应。通过整合膳食模式分析与潜在机制探索, 旨在为理解儿童哮喘的可干预危险因素提供新的流行病学证据, 并为制定针对性的饮食干预策略提供理论依据。

2. 方法

2.1. 数据来源

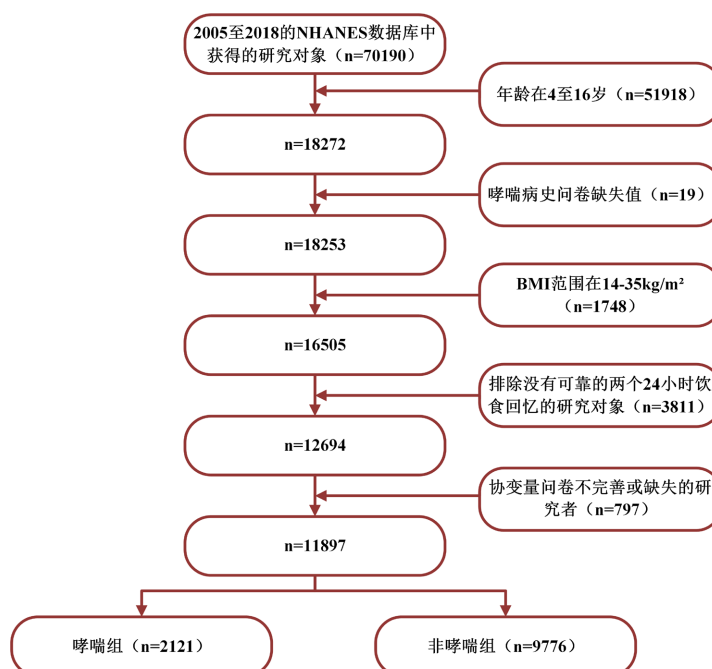


Figure 1. Flowchart of participant selection and analysis
图 1. 研究对象筛选及分析流程图

本研究基于国家健康与营养调查(NHANES) 2005~2018年连续横断面数据开展分析。NHANES是一种采用分层、多阶段、概率抽样设计的数据库,具有良好的全国代表性。本研究选取年龄为4~16岁的儿童青少年作为研究对象,排除关键变量缺失者,包括膳食数据、哮喘信息及协变量缺失个体,最终纳入符合条件的研究样本。所有数据均来源于公开数据库,已通过伦理审查,参与者均签署知情同意书。研究对象筛选及分析流程图详见图1。

2.2. 膳食暴露变量评估(AHEI 评分)

膳食暴露变量为替代健康饮食指数(AHEI)评分,采用去酒精版本进行计算。基于NHANES提供的两日24小时膳食回顾数据,选取可靠膳食记录日,计算每日能量摄入及各膳食成分摄入量,并取两日平均值以提高评估稳定性。AHEI包括蔬菜、水果、全谷物、坚果与豆类、多不饱和脂肪酸、长链n-3脂肪酸、含糖饮料与果汁、红肉与加工肉以及钠等多个组成部分,各成分按既定评分标准转换为分值后求和得到总分,总分越高代表膳食质量越好。AHEI评分采用R语言中dietaryindex程序包计算[15]。

2.3. 结局及协变量定义

结局变量为哮喘患病状态,依据问卷中“医生是否曾告知受访者患有哮喘”进行判定,结果以二分类变量表示。协变量包括人口学特征及潜在混杂因素,其中年龄以连续变量纳入,性别、种族/民族分类变量分别进行因子化处理;社会经济状态通过家庭收入贫困比表示;生活方式因素包括家庭二手烟暴露情况;膳食相关混杂因素包括平均每日总能量摄入。所有分类变量在分析前均进行标准化编码处理。

2.4. 体重状态评估

体重状态通过计算BMI z-score进行评估。根据身高体重数据计算体质指数,并基于疾病控制与预防中心发布的2000年生长参考标准转换为年龄和性别校正的BMI z-score,同时根据标准界值将研究对象划分为正常体重、超重及肥胖类别。BMI z-score既作为连续变量用于回归分析与中介分析,也用于敏感性分析中的分类变量处理。

2.5. 统计学分析

统计分析考虑NHANES复杂抽样设计,纳入抽样权重、分层变量及主抽样单元进行加权估计。连续变量以加权均值及标准误表示,分类变量以加权比例表示,组间差异采用加权线性回归或加权卡方检验进行比较。以AHEI为暴露变量,采用加权logistic回归模型分析其与哮喘患病的关联,逐步调整混杂因素,包括人口学特征、社会经济因素、生活方式因素及总能量摄入,并进一步纳入BMI z-score评估其独立效应。采用中介分析评估BMI z-score在AHEI与哮喘之间的作用路径,计算直接效应与间接效应。通过将AHEI按四分位分组进行敏感性分析,并对各组成成分分别纳入模型进行分析,以验证结果的稳健性。所有统计分析均在R语言4.4.3软件中完成,采用双侧检验,以 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

3. 结果

3.1. 研究对象的基本特征

本研究共纳入符合条件的4~16岁儿童青少年11,897名,其中2121名为哮喘组,9776名为非哮喘组。加权描述性分析结果显示,哮喘组与非哮喘组在人口学特征及生活方式方面存在一定差异。哮喘组中男性比例相对较高,而非哮喘组中女性比例相对较高,种族/民族构成亦存在分布差异。家庭二手烟暴露比例及家庭收入贫困比在两组之间差异不明显。哮喘组BMI z-score整体水平高于非哮喘组,提示体重状态可能参与疾病发生过程。哮喘组平均能量摄入显著高于非哮喘组,AHEI评分存在明显区别,哮喘组

AHEI 总分低于非哮喘组, 提示其整体饮食结构较差, 其中非哮喘组的水果及含糖饮料与果汁评分显著高于哮喘组, 相关结果见表 1。

Table 1. Characteristics of children and adolescents by asthma status

表 1. 不同哮喘状态儿童青少年的基本特征

特征	总计	哮喘组	非哮喘组	P
	N = 11,897	N = 2121	N = 9776	
年龄(岁)	10.4 ± 3.8	11.0 ± 3.6	10.2 ± 3.8	<0.001
平均能量摄入	1921.7 ± 662.9	1983.9 ± 729.2	1908.5 ± 647.2	0.005
BMI z 评分	0.5 ± 1.0	0.7 ± 1.1	0.5 ± 1.0	<0.001
收入	2.6 ± 1.6	2.5 ± 1.6	2.6 ± 1.6	0.254
性别				<0.001
男	51.20%	55.30%	50.30%	
女	48.80%	44.70%	49.70%	
二手烟暴露史	37.50%	37.90%	37.40%	0.739
AHEI 总分(去酒精)	32.3 ± 9.1	31.0 ± 9.0	32.6 ± 9.1	<0.001
AHEI 蔬菜	2.3 ± 1.8	2.4 ± 1.9	2.3 ± 1.8	0.21
AHEI 水果	1.6 ± 1.8	1.5 ± 1.8	1.7 ± 1.8	<0.001
AHEI 全谷物	2.4 ± 2.4	2.3 ± 2.4	2.4 ± 2.4	0.068
AHEI 坚果/豆类	3.0 ± 3.2	2.8 ± 3.0	3.1 ± 3.2	0.024
AHEIn-3 脂肪酸	1.3 ± 1.6	1.4 ± 1.6	1.3 ± 1.6	0.195
AHEI 多不饱和脂肪酸	5.8 ± 2.1	5.9 ± 2.1	5.8 ± 2.1	0.922
AHEI 含糖饮料/果汁	5.0 ± 3.7	4.5 ± 3.7	5.1 ± 3.6	<0.001
AHEI 红肉/加工肉	5.7 ± 3.0	5.5 ± 3.0	5.7 ± 3.0	0.013
AHEI 钠	5.0 ± 2.2	4.8 ± 2.3	5.0 ± 2.2	0.018

3.2. AHEI 与哮喘患病的关联分析

以 AHEI 总分作为连续变量纳入加权 logistic 回归模型进行分析。未调整模型(模型 1)结果显示, AHEI 评分与哮喘患病呈显著负相关(OR = 0.981, 95% CI: 0.974~0.989, P < 0.001)。随着 AHEI 评分升高, 哮喘患病风险逐渐降低。在调整年龄、性别、种族/民族、家庭收入贫困比、二手烟暴露及总能量摄入后(模型 2), 该关联仍然稳定(OR = 0.986, 95% CI: 0.977~0.994, P < 0.001)。进一步纳入 BMI z-score 后(模型 3), AHEI 与哮喘之间的负相关关系略有减弱, 但依然具有统计学意义(OR = 0.987, 95% CI: 0.979~0.995, P = 0.002)。相关结果见表 2。整体来看, 多模型分析结果方向一致, 提示膳食质量与哮喘患病风险之间存在稳定的负相关关系, 该关联在控制多种混杂因素后仍然存在。

Table 2. Weighted Logistic regression analysis of the association between AHEI and asthma

表 2. AHEI 与哮喘的加权 Logistic 回归分析

模型	OR	CI-lower	CI-upper	P
模型 1	0.981	0.974	0.989	<0.001
模型 2	0.986	0.977	0.994	<0.001
模型 3	0.987	0.979	0.995	0.002

3.3. BMI Z-Score 的中介效应分析

中介分析结果显示, BMI z-score 在 AHEI 与哮喘之间存在显著的中介作用。AHEI 通过 BMI z-score 对哮喘产生的间接效应为 -0.0017 (95% CI: $-0.0024\sim-0.0009$, $P < 0.001$), 直接效应为 -0.0130 (95% CI: $-0.0212\sim-0.0049$, $P = 0.002$), 总效应为 -0.0147 (95% CI: $-0.0229\sim-0.0065$, $P < 0.001$)。相关结果见表 3。从效应分解结果来看, 间接效应占比相对较小, 但具有统计学意义, 提示 BMI z-score 在膳食质量与哮喘之间发挥部分中介作用。该结果表明, 膳食质量不仅可以直接影响哮喘发生, 还可通过影响体重状态间接发挥作用。

Table 3. Mediation analysis of BMI z-score in the association between AHEI and asthma

表 3. BMI z-score 在 AHEI 与哮喘之间的中介效应分析

效应	Estimate	CI-lower	CI-upper	P
间接效应(BMI z 评分)	-0.0017	-0.0024	-0.0009	<0.001
直接效应(AHEI)	-0.013	-0.0212	-0.0049	0.002
总效应	-0.0147	-0.0229	-0.0065	<0.001

3.4. AHEI 四分位分组的敏感性分析

将 AHEI 总分按四分位分组后纳入回归模型分析。与最低分位组相比, 第二分位组哮喘患病风险降低(OR = 0.834, 95% CI: 0.709~0.981, $P = 0.029$), 第三分位组呈降低趋势但未达到统计学显著性(OR = 0.856, 95% CI: 0.725~1.012, $P = 0.068$), 最高分位组哮喘患病风险显著降低(OR = 0.718, $P < 0.001$)。相关结果见表 4。整体趋势显示, 随着 AHEI 水平升高, 哮喘患病风险逐渐下降, 呈现一定剂量反应关系。尽管部分中间分位结果未达到统计学显著性, 但方向一致, 进一步支持主分析结果的稳健性。

Table 4. Sensitivity analysis of the association between AHEI quartiles and asthma

表 4. AHEI 四分位分组与哮喘患病风险的敏感性分析

分组	OR	CI-lower	CI-upper	P
Q2	0.834	0.709	0.981	0.029
Q3	0.856	0.725	1.012	0.068
Q4	0.718	-	-	<0.001

3.5. AHEI 各组成成分与哮喘的关联

对 AHEI 各组成成分分别进行分析, 结果显示不同膳食因素对哮喘的影响存在差异。AHEI 总分与哮喘呈显著负相关(OR = 0.987, 95% CI: 0.979~0.995, $P = 0.002$)。在各成分中, 水果摄入与哮喘患病风险呈显著负相关(OR = 0.963, 95% CI: 0.930~0.997, $P = 0.033$), 含糖饮料及果汁评分亦与哮喘呈显著关联(OR = 0.965, 95% CI: 0.948~0.983, $P < 0.001$), 由于该指标评分越高代表摄入越少, 该结果提示含糖饮料及果汁摄入增加与哮喘患病风险升高相关。其他成分如蔬菜(OR = 1.006, $P = 0.770$)、全谷物(OR = 0.978, $P = 0.145$)、坚果及豆类(OR = 0.983, $P = 0.117$)、n-3 脂肪酸(OR = 0.995, $P = 0.772$)、多不饱和脂肪酸(OR = 0.989, $P = 0.456$)、红肉及加工肉(OR = 0.994, $P = 0.560$)以及钠摄入(OR = 0.985, $P = 0.350$)均未观察到显著关联(相关结果见表 5)。总体来看, 膳食质量对哮喘的影响可能由多个成分共同作用, 其中水果及含糖饮料相关摄入在其中发挥较为关键的作用。

Table 5. Association analysis between individual AHEI components and asthma risk
表 5. AHEI 各组成成分与哮喘患病风险的关联分析

分组	OR	CI-lower	CI-upper	P
AHEI 总分(去酒精)	0.987	0.979	0.995	0.002
AHEI_蔬菜	1.006	0.969	1.044	0.77
AHEI_水果	0.963	0.93	0.997	0.033
AHEI_全谷物	0.978	0.95	1.008	0.145
AHEI 坚果/豆类	0.983	0.962	1.004	0.117
AHEIn-3 脂肪酸	0.995	0.958	1.033	0.772
AHEI 多不饱和脂肪酸	0.989	0.961	1.018	0.456
AHEI 含糖饮料/果汁	0.965	0.948	0.983	<0.001
AHEI 红肉/加工肉	0.994	0.974	1.015	0.56
AHEI_钠	0.985	0.955	1.017	0.35

4. 讨论

本研究基于全国性大规模人群调查数据, 全面探讨儿童青少年哮喘发病风险与不同类型的膳食模式之间的联系。结果显示, AHEI 评分与哮喘患病风险呈稳定的负相关, 在控制人口学特征、社会经济状态及生活方式等因素后仍呈显著负相关, 纳入 BMI z-score 后仅出现有限衰减。进一步中介分析提示, 体重状态起到了一定作用, 而并非主要路径。说明饮食习惯对发展成哮喘所起到的作用可能是多方面的生理过程所共同作用的结果。结合剂量反应趋势及成分分析结果, 可以认为饮食结构整体优化与关键食物选择同时参与了疾病风险的调节。

全球儿童哮喘的流行病学特点成为本文的研究背景。多项国际研究显示, 总体疾病负担长期维持在较高水平, 且哮喘在不同国家和地区之间存在显著差异[1]。这种差异与遗传背景、环境暴露及生活方式等密切相关[2]。已知的传统危险因素可以一定程度上说明哮喘的发生发展过程, 但是不能很好地诠释其流行变化的趋势。而饮食是人们日常生活中一个重要的可控的因素, 在这种情况下它对哮喘的影响值得关注。本文探讨了膳食质量和哮喘的关系并支持先前的一些流行病学的研究结果, 从而为解释区域间哮喘患病率差别提供了一个新的思路。

目前对于饮食与哮喘之间联系的研究已经不再局限于单一营养物质的作用, 而是开始探索整体饮食结构的作用方式。单一成分难以覆盖复杂的免疫与炎症过程, 早期研究大多集中于维生素或矿物质补充, 但效果并不稳定[5]。随后研究逐步转向以地中海饮食为代表的健康膳食模式, 其与哮喘风险降低之间有一定关联, 这一研究在儿童人群中仍支持[6]。人群调查结果亦显示健康饮食模式与较低哮喘患病率之间存在一致趋势。饮食可通过影响免疫反应及炎症通路, 参与过敏性疾病的发生发展, 这一观点为膳食模式研究提供了理论基础[16]。AHEI 作为综合评价指标, 能够整合多种膳食成分信息, 在不同人群中表现出良好的稳定性与预测能力[10]。本研究观察到 AHEI 评分与哮喘患病风险呈负相关, 在一定程度上丰富了有关膳食模式与儿童呼吸系统健康关系的流行病学证据。

炎症反应与氧化应激可能是连接膳食质量与哮喘的重要途径。膳食质量可以通过改变个体炎症状态以及氧化应激水平而影响哮喘发生发展[17]。整体上改变饮食习惯可以明显降低体内炎症水平进而对于诸如哮喘一类慢性疾病起到良好预防效果[18]。微量元素是免疫调节重要一环, 缺乏会导致一系列问题包括免疫力下降和过敏反应加剧等[19]以健康脂肪为主食谱不但具有抗炎功效还可以改善人体代谢情况因

此对防治相关疾病有积极作用[20]。以上研究共同表明, AHEI 评分较高与较低哮喘患病风险之间的关联, 可能并非由单一营养成分解释, 而是与炎症、氧化应激、免疫调节及代谢状态等多条通路共同相关。

本研究利用中介效应模型探讨了 BMI z-score 在 AHEI 与哮喘患病风险之间可能发挥的作用。已有研究表明, 肥胖可通过气道力学改变、慢性低度炎症及免疫功能异常影响哮喘发生[21], 同时肠道菌群在其中发挥调节作用[22]。炎症反应是肥胖与哮喘的核心环节, 并可能表现出个体异质性。早期生命阶段营养状态可能通过影响肥胖进而影响疾病的发生[23]。本研究结果提示膳食质量不仅可以直接作用于气道炎症, 还可以通过调节体重状态间接影响哮喘。因此, 未来研究可构建更复杂的理论模型, 将 BMI 同时作为潜在中介因素和混杂因素进行比较分析, 并进一步结合炎症标志物探索“膳食质量 - 体重状态 - 炎症反应 - 哮喘”的多路径关联。

膳食纤维发酵产生的短链脂肪酸已被证实能够抑制气道炎症反应[24], 而早期菌群失衡与儿童哮喘发生之间存在明确关联[25]。“肠道 - 免疫”轴的调节作用提示饮食可以影响局部代谢过程, 还可以通过系统性机制影响呼吸系统健康[26]。微生物多样性变化可能改变气道免疫反应模式[27]。这些证据共同说明, 膳食质量通过影响菌群结构及其代谢产物, 进而调节免疫稳态并参与哮喘发生。

水果摄入与哮喘风险负相关提示抗氧化物在气道保护中的作用, 含糖饮料的负向影响则反映出高糖饮食可能通过炎症及代谢异常促进疾病发生。超加工食品摄入增加与多种慢性疾病风险相关[28], 膳食质量与儿童肥胖之间存在密切联系。饮食模式对氧化应激水平的影响已得到验证[29]。这与本研究成分分析结果形成良好对应关系, 说明整体膳食质量的作用很大程度上由关键食物驱动, 同时也强调减少高糖饮食的重要性。

本研究利用复杂抽样设计数据, 进行加权分析, 提高了结果的代表性与可靠性。标准化膳食指数有助于不同研究之间的比较与整合。通过多模型分析、中介分析及敏感性分析的综合应用, 在不同方法下其结果表现出一致性, 增强了研究结论的稳健性。

本研究仍存在一定局限性。首先, NHANES 为横断面调查, 无法明确 AHEI 评分与哮喘患病之间的时间先后关系, 因此不能进行因果推断。其次, 反向因果关系不能完全排除, 已患哮喘儿童可能因疾病管理、家长关注或医生建议而改变饮食结构, 从而导致 AHEI 与哮喘之间的关联被低估、高估或方向发生偏移。最后, 尽管本研究已调整多种潜在混杂因素, 仍无法完全排除残余混杂的影响, 如过敏体质、家族哮喘史、空气污染、体力活动及药物使用等因素。

总体来看, 本研究从膳食模式角度提供了儿童哮喘相关的流行病学证据。结果显示, 较高 AHEI 评分所代表的较健康饮食模式与较低儿童青少年哮喘患病风险相关联, 提示饮食可能是影响儿童哮喘患病差异的重要因素之一, 但其因果关系仍需前瞻性研究进一步验证。未来研究可在纵向队列或干预性研究中进一步评估 AHEI 变化与哮喘新发、症状控制及疾病严重程度之间的关系; 同时, 可利用 NHANES 中炎症标志物数据, 构建“膳食质量 - BMI - 炎症反应 - 哮喘”的多重中介或结构方程模型, 以检验炎症通路是否参与其中, 并进一步阐明膳食、体重状态和系统性炎症在儿童哮喘中的相互关系。

5. 结论

根据本研究, 在儿童青少年人群中, 较高的 AHEI 评分与较低的哮喘患病风险相关。AHEI 可作为评估儿童青少年整体膳食质量的综合指标, 并可能有助于识别与哮喘患病风险相关的饮食特征。BMI z-score 在 AHEI 与哮喘之间可能发挥部分中介作用, 但其效应相对有限, 且 BMI 也可能同时具有混杂因素的特征。由于本研究为横断面设计, 尚不能推断 AHEI 与哮喘之间存在因果关系。未来仍需开展大规模前瞻性队列研究及机制研究, 以进一步验证较健康饮食模式与儿童哮喘之间的关系, 并阐明体重状态及炎症反应等潜在通路。

致 谢

感谢 NHANES 数据库提供的数据支持。

参考文献

- [1] Asher, M.I., Rutter, C.E., Bissell, K., Chiang, C., El Sony, A., Ellwood, E., *et al.* (2021) Worldwide Trends in the Burden of Asthma Symptoms in School-Aged Children: Global Asthma Network Phase I Cross-Sectional Study. *The Lancet*, **398**, 1569-1580. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(21\)01450-1](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(21)01450-1)
- [2] Pearce, N., Ait-Khaled, N., Beasley, R., Mallol, J., Keil, U., Mitchell, E., *et al.* (2007) Worldwide Trends in the Prevalence of Asthma Symptoms: Phase III of the International Study of Asthma and Allergies in Childhood (ISAAC). *Thorax*, **62**, 758-766. <https://doi.org/10.1136/thx.2006.070169>
- [3] Dharmage, S.C., Perret, J.L. and Custovic, A. (2019) Epidemiology of Asthma in Children and Adults. *Frontiers in Pediatrics*, **7**, Article 246. <https://doi.org/10.3389/fped.2019.00246>
- [4] Reyes-Angel, J., Kaviani, P., Rastogi, D. and Forno, E. (2022) Obesity-Related Asthma in Children and Adolescents. *The Lancet Child & Adolescent Health*, **6**, 713-724. [https://doi.org/10.1016/s2352-4642\(22\)00185-7](https://doi.org/10.1016/s2352-4642(22)00185-7)
- [5] Martineau, A.R., Jolliffe, D.A., Hooper, R.L., Greenberg, L., Aloia, J.F., Bergman, P., *et al.* (2017) Vitamin D Supplementation to Prevent Acute Respiratory Tract Infections: Systematic Review and Meta-Analysis of Individual Participant Data. *BMJ*, **356**, i6583. <https://doi.org/10.1136/bmj.i6583>
- [6] Koumpagioti, D., Boutopoulou, B., Moriki, D., Priftis, K.N. and Douros, K. (2022) Does Adherence to the Mediterranean Diet Have a Protective Effect against Asthma and Allergies in Children? A Systematic Review. *Nutrients*, **14**, Article 1618. <https://doi.org/10.3390/nu14081618>
- [7] Alwarith, J., Kahleova, H., Crosby, L., Brooks, A., Brandon, L., Levin, S.M., *et al.* (2020) The Role of Nutrition in Asthma Prevention and Treatment. *Nutrition Reviews*, **78**, 928-938. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuaa005>
- [8] Tarazona-Meza, C.E., Hanson, C., Pollard, S.L., Romero Rivero, K.M., Galvez Davila, R.M., Talegawkar, S., *et al.* (2020) Dietary Patterns and Asthma among Peruvian Children and Adolescents. *BMC Pulmonary Medicine*, **20**, Article No. 63. <https://doi.org/10.1186/s12890-020-1087-0>
- [9] Zhang, P. (2023) The Role of Diet and Nutrition in Allergic Diseases. *Nutrients*, **15**, Article 3683. <https://doi.org/10.3390/nu15173683>
- [10] Morales, E., García-Serna, A.M., Larqué, E., Sánchez-Campillo, M., Serrano-Munera, A., Martínez-Graciá, C., *et al.* (2022) Dietary Patterns in Pregnancy and Biomarkers of Oxidative Stress in Mothers and Offspring: The NELA Birth Cohort. *Frontiers in Nutrition*, **9**, Article 869357. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.869357>
- [11] Ait-hadad, W., Bédard, A., Chanoine, S., Dumas, O., Laouali, N., Le Moual, N., *et al.* (2022) Healthy Diet Associated with Better Asthma Outcomes in Elderly Women of the French Asthma-E3N Study. *European Journal of Nutrition*, **61**, 2555-2569. <https://doi.org/10.1007/s00394-022-02815-0>
- [12] Han, Y., Jerschow, E., Forno, E., Hua, S., Mossavar-Rahmani, Y., Perreira, K.M., *et al.* (2020) Dietary Patterns, Asthma, and Lung Function in the Hispanic Community Health Study/study of Latinos. *Annals of the American Thoracic Society*, **17**, 293-301. <https://doi.org/10.1513/annalsats.201908-629oc>
- [13] Tashiro, H. and Shore, S.A. (2019) Obesity and Severe Asthma. *Allergy International*, **68**, 135-142. <https://doi.org/10.1016/j.alit.2018.10.004>
- [14] Sharma, V. and Cowan, D.C. (2021) Obesity, Inflammation, and Severe Asthma: An Update. *Current Allergy and Asthma Reports*, **21**, Article No. 46. <https://doi.org/10.1007/s11882-021-01024-9>
- [15] Zhan, J.J., Hodge, R.A., Dunlop, A.L., Lee, M.M., Bui, L., Liang, D., *et al.* (2024) Dietaryindex: A User-Friendly and Versatile R Package for Standardizing Dietary Pattern Analysis in Epidemiological and Clinical Studies. *The American Journal of Clinical Nutrition*, **120**, 1165-1174. <https://doi.org/10.1016/j.ajcnut.2024.08.021>
- [16] Huang, J., Zhou, X., Dong, B., Tan, H., Li, Q., Zhang, J., *et al.* (2024) Obesity-Related Asthma and Its Relationship with Microbiota. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, **13**, Article 1303899. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2023.1303899>
- [17] Wendell, S.G., Baffi, C. and Holguin, F. (2014) Fatty Acids, Inflammation, and Asthma. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, **133**, 1255-1264. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2013.12.1087>
- [18] Grant, W.B. (2023) Diet, Inflammation, and Infectious Diseases. *Nutrients*, **15**, Article 2891. <https://doi.org/10.3390/nu15132891>
- [19] Maywald, M. and Rink, L. (2024) Zinc Deficiency and Zinc Supplementation in Allergic Diseases. *Biomolecules*, **14**, Article 863. <https://doi.org/10.3390/biom14070863>

-
- [20] Silva, A.R., Moraes, B.P.T. and Gonçalves-de-Albuquerque, C.F. (2020) Mediterranean Diet: Lipids, Inflammation, and Malaria Infection. *International Journal of Molecular Sciences*, **21**, Article 4489. <https://doi.org/10.3390/ijms21124489>
- [21] Zouein, J., Que, L.G. and Ingram, J.L. (2025) Obesity-Driven Airway Eosinophilia and Neutrophilia in Asthma. *Journal of Asthma*, **62**, 1472-1482. <https://doi.org/10.1080/02770903.2025.2505464>
- [22] Tashiro, H., Kuwahara, Y. and Takahashi, K. (2025) Gut-Lung Axis in Asthma and Obesity: Role of the Gut Microbiome. *Frontiers in Allergy*, **6**, Article 1618466. <https://doi.org/10.3389/falgy.2025.1618466>
- [23] Godfrey, K.M., Reynolds, R.M., Prescott, S.L., Nyirenda, M., Jaddoe, V.W.V., Eriksson, J.G., *et al.* (2017) Influence of Maternal Obesity on the Long-Term Health of Offspring. *The Lancet Diabetes & Endocrinology*, **5**, 53-64. [https://doi.org/10.1016/s2213-8587\(16\)30107-3](https://doi.org/10.1016/s2213-8587(16)30107-3)
- [24] Lewis, G., Wang, B., Shafiei Jahani, P., Hurrell, B.P., Banie, H., Aleman Muench, G.R., *et al.* (2019) Dietary Fiber-Induced Microbial Short Chain Fatty Acids Suppress ILC2-Dependent Airway Inflammation. *Frontiers in Immunology*, **10**, Article 2051. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2019.02051>
- [25] Steininger, H., Moltzau-Anderson, J. and Lynch, S.V. (2023) Contributions of the Early-Life Microbiome to Childhood Atopy and Asthma Development. *Seminars in Immunology*, **69**, Article ID: 101795. <https://doi.org/10.1016/j.smim.2023.101795>
- [26] O’Riordan, K.J., Moloney, G.M., Keane, L., Clarke, G. and Cryan, J.F. (2025) The Gut Microbiota-Immune-Brain Axis: Therapeutic Implications. *Cell Reports Medicine*, **6**, Article ID: 101982. <https://doi.org/10.1016/j.xcrm.2025.101982>
- [27] van Tilburg Bernardes, E., Gutierrez, M.W. and Arrieta, M. (2020) The Fungal Microbiome and Asthma. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, **10**, Article 583418. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2020.583418>
- [28] Marino, M., Puppo, F., Del Bo’, C., Vinelli, V., Riso, P., Porrini, M., *et al.* (2021) A Systematic Review of Worldwide Consumption of Ultra-Processed Foods: Findings and Criticisms. *Nutrients*, **13**, Article 2778. <https://doi.org/10.3390/nu13082778>
- [29] Larruy-García, A., Mahmood, L., Miguel-Berges, M.L., Masip, G., Seral-Cortés, M., De Miguel-Etayo, P., *et al.* (2024) Diet Quality Scores, Obesity and Metabolic Syndrome in Children and Adolescents: A Systematic Review and Meta-analysis. *Current Obesity Reports*, **13**, 755-788. <https://doi.org/10.1007/s13679-024-00589-6>