·儿少卫生与妇幼保健·

凉山州青少年体重状态与动脉粥样硬化指数关系的队列研究

李春义[1],关陶[2],陈保锋[3],范晖[4]
1.川北医学院公共卫生学院,四川 南充 637000;2.凉山彝族自治州疾病预防控制中心公共卫生监测所;
3.川北医学院基础医学与法医学院,四川 南充 637000;
4.川北医学院公共卫生学院流行病与卫生统计学教研室,四川 南充 637000

摘要:目的 本研究旨在探明凉山州青少年体重状态与动脉粥样硬化指数(atherogenic index of plasma,AIP)的关系,为预防青少年动脉粥样硬化的发生提供依据。**方法** 2021 年 10 月选取凉山州 3 所中学的学生进行调查,2023 年 3 月开展随访。通过问卷收集了一般人口学特征,测量学生的身高、体重和腰围,并采集空腹状态下的血液用于测定血清中的甘油三酯、高密度脂蛋白胆固醇(high-density lipoprotein cholesterol, HDL-C)等指标。使用线性模型结合限制性立方样条(restricted cubic spline, RCS)评估基线体质量指数(body mass index, BMI)、腰围与随访 AIP 的关系。使用中介效应模型探索基线 AIP 在基线 BMI(基线腰围)与随访 AIP 关系中的中介效应。使用 logistic 回归模型分析了基线时体重和腰围状态与基线到随访 AIP 的关系。**结果** 1 023 名中学生基线中位数年龄为 14.0 岁,男性占 43.7%。RCS 曲线显示,基线 BMI 与随访 AIP 呈线性关联($P_{总趋势}<0.001$,$P_{非线性}=0.108$);基线腰围与随访 AIP 呈非线性关联($P_{总趋势}<0.001$,$P_{非线性}=0.002$)。经中介效应模型分析,基线 AIP 在基线 BMI(基线腰围)与随访 AIP 的关系中起完全中介作用(BMI:$P_{直接}=0.06$,$P_{间接}<0.001$;腰围:$P_{直接}=0.13$,$P_{间接}<0.001$)。相对于基线 BMI 正常的青少年,基线超重肥胖的青少年更容易出现持续高 AIP($OR=3.570$, $P<0.001$);当使用腰围定义体重状态时,得到类似的结果($OR=3.388$, $P<0.001$)。**结论** 在短期内,青少年高 BMI 或高腰围均会增加高 AIP 的发生风险。应针对中学生采取相关措施,以防止动脉粥样硬化的启动。

关键词:超重肥胖;动脉粥样硬化指数;青少年
中图分类号:R179;R725.8 **文献标志码**:A **文章编号**:1003-8507(2026)03-460-06
DOI:10.20043/j.cnki.MPM.202507179

Association between weight status and atherogenic index of plasma in adolescents from Liangshan Prefecture: a cohort study

LI Chun-yi*, GUAN Tao, CHEN Bao-feng, FAN Hui
School of Public Health, North Sichuan Medical College, Nanchong, Sichuan 637000, China

Abstract: Objective This study aims to investigate the association between weight status and the atherogenic index of plasma (AIP) among adolescents in Liangshan Prefecture, with the goal of providing evidence for the prevention of atherosclerosis in this population. **Methods** In October 2021, a sample of middle school students from three schools in Liangshan Prefecture was selected. Follow-up survey was conducted in March 2023. General demographic characteristics were collected via structured questionnaires. Anthropometric measurements, including height, weight, and waist circumference (WC), were obtained. Fasting blood samples were collected to measure serum triglycerides (TG) and high-density lipoprotein cholesterol (HDL-C). The associations between baseline body mass index (BMI) and WC with follow-up atherogenic index of plasma (AIP) were assessed using a linear regression model incorporating restricted cubic splines (RCS). A mediation analysis model was employed to evaluate the potential mediating role of baseline AIP in the relationship between baseline BMI (or WC) and follow-up AIP. Furthermore, the association between baseline weight and WC categories and changes in AIP from baseline to follow-up was examined using logistic regression. **Results** The median baseline age of the 1 023 participants was 14.0 years, with 43.7% being male. The RCS curve indicated that baseline BMI was linearly associated with follow-up AIP ($P_{general}<0.001$, $P_{nonlinearity}=0.108$). In contrast, baseline WC exhibited a nonlinear association with follow-up AIP ($P_{general}<0.001$, $P_{nonlinearity}=0.002$). Mediation analysis revealed that baseline AIP fully mediated the association between baseline BMI (or WC) and follow-up AIP (BMI: $P_{direct}=0.06$, $P_{indirect}<0.001$; WC: $P_{direct}=0.13$, $P_{indirect}<0.001$). Compared with adolescents with normal BMI, those who

基金项目:凉山州科技计划重点研发项目 (21ZDYF0123);川北医学院博士科研启动基金项目和重点培育项目(CBY18-QD02,CBY22-ZDB02)
作者简介:李春义(2001—),男,硕士在读,研究方向:生命全程心血管流行病学
通信作者:陈保锋,E-mail: 78812955@qq.com;范晖,E-mail: 1577371399@qq.com;陈保锋与范晖为共同通信作者

were overweight or obese at baseline had significantly higher odds of persistent elevated AIP levels (*OR*=3.570, *P*<0.001). Similar findings were observed when WC was used as the indicator of weight status (*OR*=3.388, *P*<0.001). **Conclusion** Both elevated BMI and increased WC in adolescents are associated with an increased short-term risk of high AIP. Preventive strategies targeting middle school students should be implemented to mitigate the early onset of atherosclerosis.

Keywords: Overweight and obesity; Atherogenic index of plasma; Adolescent

心血管疾病是全球最常见的死亡原因之一。每年，全球平均约有 1 790 万人死于心血管疾病[1]。近年来，研究发现，动脉粥样硬化是心血管疾病的病理生理基础，其可始于生命早期，并隐匿的贯穿整个生命历程[2-4]。目前颈－股动脉脉搏传导波速度一直被认为是无创评估动脉粥样硬化的金标准，但其操作需要一定的技巧[5]；而动脉粥样硬化指数（atherogenic index of plasma, AIP）不仅可量化血脂异常的协同危害，还被认为是一种有效、低成本、快速、特异性的筛查指标[6]，被广泛推荐为反映动脉粥样硬化的生物标志物[7-11]。此外，目前的研究显示，AIP 是心血管疾病和全因死亡的有力预测因子[12]。

1990—2021 年全球儿童青少年仅肥胖患病率就翻了两倍。目前，我国青少年的生活方式发生了巨大的改变，青少年超重肥胖预计到 2050 年均呈现逐年上升的趋势[13-14]。以往研究表明成人中超重肥胖与 AIP 存在联系[15-17]。一项针对美国成年人群的干预试验进一步表明，体重下降会导致血浆中甘油三酯下降和高密度脂蛋白胆固醇（high-density lipoprotein cholesterol, HDL-C）上升[18]。另一项国内为期四周的运动试验结果显示，通过减肥后 AIP 明显下降[19]。目前，针对青少年群体关于超重肥胖与 AIP 关系的研究尚属空白。因此，本研究通过队列研究的方式，分析青少年基线体质量指数（body mass index, BMI）、腰围与随访 AIP 的关系，为在青少年期控制动脉粥样硬化的发生提供证据。

1　资料与方法

1.1　研究人群　本研究是一项多中心前瞻性队列研究。首先，在 2021 年 10 月，通过方便抽样方法从四川省凉山彝族自治州城市、农村及彝族聚集区选择三所中学（A 校、B 校和 C 校），每所学校均包含初中和高中。然后，在选定的学校中，采用整群随机抽样法，因初三学生面临升学不便于后续随访，本研究从初一、初二、高一年级各随机抽取三个班级，共九个班级参与调查。包含身高、体重、腰围、血脂等指标的 1 097 名学生作为研究对象。2023 年 3 月开展随访[20]。因转校等原因最终 1 023 名学生顺利随访并纳入本研究。本研究获得川北医学院伦理审查委员会批准（伦理审批号：202150），所有参与者及其监护人均签署知情同意书[20]。

1.2　数据采集　使用经过校准的仪器，以及由受过培训的专业人员测量调查对象脱鞋时的身高和着轻便衣物时的体重，BMI= 体重（kg）/ 身高的二次方（m^2）。并按照《学生健康检查技术规范标准》测量青少年腰围[21]。待参与者静坐休息 10 min 后，使用欧姆龙 HBP-1320 电子血压计连续三次对儿童右臂肱动脉处的收缩压（systolic blood pressure）和舒张压（diastolic blood pressure）进行测量，取平均值用于分析[22]。禁食 12 h 后，于清晨从肘前静脉采集血液，使用过氧化物酶方法测量甘油三酯浓度，使用直接法测量 HDL-C 的浓度。根据公式 AIP=log［甘油三酯（mmol/L）/HDL-C（mmol/L）］计算 AIP。

1.3　定义　使用“学龄儿童青少年超重与肥胖筛查”卫生标准来评估儿童青少年的体重状态，若 BMI≥中国儿童超重肥胖行业标准中性别、年龄别的相应超重切点，则儿童属于超重肥胖儿童[23]。使用“中国儿童血压参照标准”评估儿童的血压状态，若儿童血压≥相应的中国儿童血压参照标准中性别、年龄别、身高别第 90 百分位血压值或 120/80 mm Hg，则儿童为血压偏高[24]。使用“中国儿童和青少年腰围参考标准”，高腰围指腰围≥年龄别和性别别的第 75 百分位值（P_{75}）[25]。按照以往的文献，使用四分位数法来评估青少年 AIP 状态，若青少年 AIP≥P_{75} 属于高 AIP，<P_{75} 则为正常 AIP[9]。

1.4　协变量　通过研究团队自拟问卷收集一般人口学信息，包括性别、年龄等，问卷还包括最近半年每周含糖饮料摄入频率、最近一个月每天平均睡眠时间、每天中等及以上强度运动时间等。随访时间定义为随访调查时间与基线调查时间之差。其中每天中等及以上强度运动（如快走、跑步、跳绳、游泳和球类等增加心跳和呼吸的运动）<60 min 为运动不足[26]，每周含糖饮料摄入频率≥3 次为摄入含糖饮料。

1.5　统计分析　采用 Kolmogorov-Smirnov 检验数据的正态分布。符合非正态分布的计量资料使用中位数和四分位数［$M(P_{25},P_{75})$］来进行统计描述、分类变量用人数和百分比(%)来进行统计描述。调整基线性别、年龄、民族、血压偏高、运动不足、摄入含糖饮料、最近一个月每天平均睡眠时间和随访时间后，使用线性模型结合限制性立方样条（restricted cubic spline,

RCS),分别探索基线 BMI 和随访 AIP、基线腰围和随访 AIP 的剂量 – 反应关系。调整了基线性别、年龄、民族、血压偏高、运动不足、摄入含糖饮料、最近一个月每天平均睡眠时间和随访时间后,使用中介效应模型进一步探索在基线 BMI(基线腰围)和随访 AIP 的关联中,基线 AIP 的中介效应。该中介效应模型由两个线性模型组成,其中一个模型分析基线 BMI(基线腰围)和中介因子基线 AIP 的关系;另外一个模型分析基线 BMI(基线腰围)、中介因子基线 AIP 和结局变量随访 AIP 的关系。最后,根据基线到随访的 AIP 状态,将研究人群分为四组:基线和随访 AIP 均正常组、基线高 AIP 随访 AIP 正常组、基线 AIP 正常随访高 AIP 组。调整上述协变量后使用多分类 logistic 模型分析基线体重状态与 AIP 持续性变化的关系。本研究采用 R 4.5.0 软件进行分析。检验水准 α=0.05。

2　结　果

2.1　一般资料分析　本次调查纳入分析的学生共 1 023 名,男生 447 人(43.7%),女生 576 人(56.3%)。基线时研究对象的中位数年龄为 14.0 岁,其中超重肥胖率为 19.6%。见表 1。

表 1　研究对象基线基本特征 (n=1 023)

Table 1　The basic characteristics of the research subjects at baseline (n=1 023)

项目	人数(%)
性别	
男性	447 (43.7)
女性	576 (56.3)
运动不足	358 (35.0)
民族	
汉族	370 (36.2)
彝族	627 (61.3)
其他民族	26 (2.5)
学校	
学校 A	327 (32.0)
学校 B	322 (31.5)
学校 C	374 (36.5)
摄入含糖饮料	641 (62.7)
最近一个月每天平均睡眠时间 (h)	8.33 (7.86, 8.81)
收缩压(mm Hg)	108 (100.33, 115.33)
舒张压 (mm Hg)	63.33 (57.33, 69.33)
腰围 (cm)	65.70 (62.20, 70.50)
年龄 (岁)	14.00 (13.00, 16.00)
空腹甘油三酯 (mmol/L)	0.86 (0.66, 1.12)
空腹 HDL–C (mmol/L)	1.28 (1.11, 1.48)
超重肥胖	200 (19.6)
血压偏高	219 (21.4)
BMI (kg/m^2)	20.05 (18.37, 21.94)
AIP	–0.18 (–0.32, –0.03)

注:非正态分布的计量资料使用中位数和四分位数[$M(P_{25},P_{75})$]进行描述;分类变量使用[n(%)]描述。

2.2　基线时 BMI 和腰围与随访时 AIP 的关系研究　模型均控制基线变量(性别、民族、年龄、血压偏高、摄入含糖饮料、运动不足、最近一个月每天平均睡眠时间)、随访时间后,基线 BMI 与随访时 AIP 存在线性剂量 – 反应关系($P_{总趋势}$<0.001,$P_{非线性}$=0.108)、基线腰围与随访时 AIP 呈非线性相关($P_{总趋势}$<0.001,$P_{非线性}$=0.002)。见图 1、2。

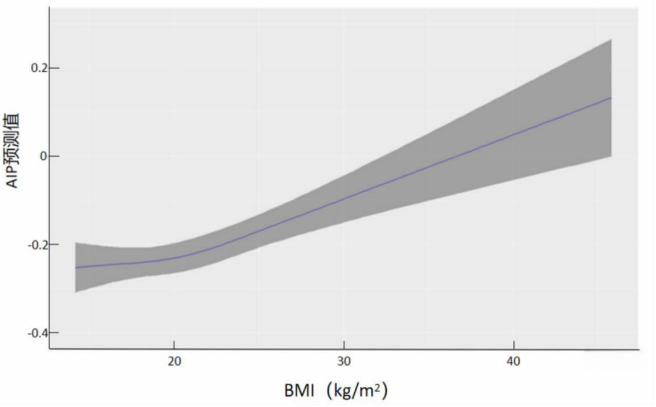


图 1　基线 BMI 与随访 AIP 的剂量 – 反应关系

Figure 1　Dose–response relationship between baseline BMI and follow–up AIP

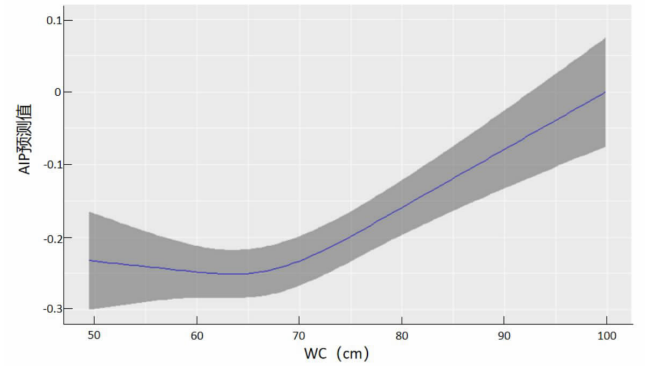


图 2　基线腰围与随访 AIP 的剂量 – 反应关系

Figure 2　Dose–response relationship between baseline WC and follow–up AIP

2.3　基线 AIP 在基线 BMI(基线腰围)与随访 AIP 关系中的中介效应　控制混杂因素后,基线 AIP 在基线 BMI 和随访 AIP 关系中起完全中介效应,占比 63.6%($P_{直接}$=0.06,$P_{间接}$<0.001);基线 AIP 在基线腰围和随访 AIP 关系中同样起完全中介效应,占比 80.0%($P_{直接}$=0.13,$P_{间接}$<0.001)。见表 2。

2.4　基线时体重状态与基线到随访时 AIP 变化的关系　表 3 显示了多分类 logistic 回归分析结果。调整混杂因素后,基线 BMI 定义的超重肥胖的青少年相对于基线体重正常的青少年更容易出现持续高 AIP(OR=3.570,P<0.001)。基线高腰围的青少年相对于基线正常腰围的青少年也更容易出现持续高 AIP(OR=3.388,P<0.001)。此外,我们还观察到:基线超

重肥胖和高腰围的青少年中，出现基线高随访正常 AIP 的风险显著高于基线正常体重和正常腰围的群体（*OR*=2.481，*P*<0.001；*OR*=2.375，*P*<0.001）；基线超重肥胖的青少年相对于正常体重的青少年还容易出现基线正常随访高 AIP 的风险（*OR*=1.691，*P*<0.05）。

表 2　在基线 BMI（基线腰围）与随访 AIP 关系中基线 AIP 的中介效应

Table 2　The mediating role of baseline AIP in the association between baseline BMI (baseline WC) and follow-up AIP

变量	效应估计值[a]	95%*CI*	*P* 值
基线 BMI（暴露因素）- 基线 AIP（中介变量）- 随访 AIP（结局变量）			
模型 1：基线 BMI- 基线 AIP	0.015	0.012 ~ 0.019	<0.001
模型 2：基线 BMI- 随访 AIP	0.003	0.000 ~ 0.007	0.049
模型 2：基线 AIP- 随访 AIP	0.479	0.427 ~ 0.530	<0.001
总效应	0.011	0.006 ~ 0.016	<0.001
直接效应	0.003	-0.000 ~ 0.010	0.060
间接效应	0.007	0.005 ~ 0.010	<0.001
中介百分比（%）		63.6	
基线腰围（暴露因素）- 基线 AIP（中介变量）- 随访 AIP（结局变量）			
模型 1：基线腰围 - 基线 AIP	0.007	0.006 ~ 0.009	<0.001
模型 2：基线腰围 - 随访 AIP	0.001	-0.000 ~ 0.003	0.132
模型 2：基线 AIP- 随访 AIP	0.481	0.430 ~ 0.532	<0.001
总效应	0.005	0.003 ~ 0.007	<0.001
直接效应	0.001	-0.000 ~ 0.003	0.130
间接效应	0.004	0.003 ~ 0.005	<0.001
中介百分比（%）		80.0	

注：模型均控制基线变量（性别、民族、年龄、血压偏高、摄入含糖饮料、运动不足、最近一个月每天平均睡眠时间）、随访时间。

表 3　基线体重和腰围状态与基线到随访 AIP 的关系研究［*OR*（95%*CI*）］

Table 3　The relationship between baseline body weight and WC status and AIP from baseline to follow-up［*OR*（95% *CI*）］

变量	基线 + 随访均正常 AIP vs. 基线 + 随访均高 AIP	基线 + 随访均正常 AIP vs. 基线高 AIP+ 随访正常 AIP	基线 + 随访均正常 AIP vs. 基线正常 AIP+ 随访高 AIP
BMI			
基线正常体重	Ref	Ref	Ref
基线超重肥胖	3.570 (2.286 ~ 5.576)***	2.481 (1.572 ~ 3.915)***	1.691(1.030 ~ 2.776)*
腰围			
基线正常腰围	Ref	Ref	Ref
基线高腰围	3.388 (2.198 ~ 5.222)***	2.357 (1.522 ~ 3.651)***	1.214 (0.744 ~ 1.982)

注：控制协变量基线变量（性别、民族、年龄、血压偏高、摄入含糖饮料、运动不足、最近一个月每天平均睡眠时间）、随访时间；*P<0.05；**P<0.01；***P<0.001；P<0.05 被认为具有统计学意义。

3　讨　论

本研究发现基线 BMI 和随访时 AIP 呈线性剂量 - 反应关系，基线腰围同随访时 AIP 呈非线性剂量 - 反应关系。另外，基线 AIP 在基线 BMI（基线腰围）与随访 AIP 的关系中起到完全中介效应。在基线时处于超重肥胖或高腰围组的青少年人群更容易出现持续高 AIP。

以往的研究发现在成人中肥胖与 AIP 之间有着密切关联[27-28]。如 Zhu 等[29]研究发现 BMI 与四种血脂谱及与 AIP 均呈显著线性关联。并且，成人中体脂水平、内脏脂肪面积、腹部肥胖状况与 AIP 也存在相关性[30]。但对青少年群体的相关研究较少，本研究进一步发现，青少年群体中基线 BMI 和随访 AIP 呈线性剂量 - 反应关系。这一研究结果与以往在成人中的研究结果一致。此外，基线腰围与随访 AIP 的剂量 - 反应关系曲线呈现 J 型，说明在高腰围时腰围与 AIP 仍然呈现正相关。可能是因为在拐点前腹部脂肪堆积有限，并未超过青少年代谢的阈值，因此对脂代谢的影响较为温和，导致 AIP 上升幅度平缓；而高腰围状态下，脂代谢功能出现紊乱（如胰岛素抵抗加剧），AIP 对腰围变化的敏感性显著升高。

本研究结果还指出基线 AIP 在基线 BMI（基线腰围）与随访 AIP 的关系中起到完全中介效应，这意味着过量体重在短期内即可造成 AIP 的异常。这可能是因为高 BMI 和高腰围短期内即可造成胰岛素抵抗。胰岛素抵抗是超重肥胖患者中最常见的代谢紊乱，还是超重肥胖相关代谢性血脂异常最重要的驱动力[31]。胰岛素抵抗即可导致富含甘油三酯的脂蛋白清除速度减慢[32]；还会导致 HDL 被水解为小而致密的 LDL（sdLDL），从而使 HDL-C 水平进一步降低[33-34]；最

终导致短期内 AIP 的上升，这些脂质的异常为动脉粥样硬化斑块的发展创展了条件[35]。

本队列研究发现，基线超重肥胖（基线高腰围）的青少年群体相对于基线正常体重（正常腰围）的青少年群体更容易引起持续高 AIP 的发生。上述结果进一步说明由 BMI 定义的超重肥胖青少年群体可能短时间就会出现高 AIP，并且可能会导致持续性的高 AIP 发生，高腰围青少年群体同样有类似结果。类似的，一项研究发现：基线时患者 AIP 呈较高水平，在患者参与减肥手术后相对于手术前，AIP 明显降低[36]。另一项，在青少年群体中开展的研究表明，相较于健康组的青少年，肥胖青少年的 AIP 水平更高[37]。此外，我们还观察到：基线超重肥胖和高腰围的青少年中，出现基线高随访正常 AIP 的风险显著高于基线正常体重和正常腰围的群体，这可能是因为短时间基线体重过高造成高 AIP，但随着体重状态的波动（如体重恢复正常），AIP 又逐渐恢复到正常水平；比如在基线高随访正常 AIP 的 132 人中，40 人基线超重肥胖，其中 30%（12 人）在随访时体重恢复正常。基线超重肥胖的青少年相对于正常体重的青少年还容易出现基线正常随访高 AIP 的风险，这揭示在部分青少年中，基线超重肥胖造成高 AIP 可能需要一定的时间；因此，我们应该同时关注体重过高的短期和长期致动脉粥样硬化效应。

为控制动脉粥样硬化的过早启动，本研究建议：第一，开展零级预防，降低人群中全身性肥胖和腹型肥胖的流行；第二，一旦发现青少年出现高 BMI 和高腰围，及时采取干预措施，以预防短期内就出现高 AIP。

本研究的优点为采用了队列研究的方法，揭示了超重肥胖与 AIP 的因果关系。但本研究仍存在一定的局限性：首先，尽管我们调整了一些混杂因素，但一些潜在混杂因素可能仍没有被测量和控制。其次，本研究是基于四川省凉山州人群而开展的，不足以代表所有地区青少年人群，研究结果有待于在其它地域青少年人群中进行验证。再次，本研究为队列研究，对样本的追踪和数据收集受限于研究经费、人力资源以及随访时间的影响，故样本量较少，因此还不能将超重和肥胖分开来进行分析，未来还需要样本量更大的队列研究进一步深入探索。最后，本研究随访时间较短，不能评估体重状态对 AIP 的长期影响。

综上所述，本研究强调需在生命早期重视超重肥胖致动脉粥样硬化效应，预防心血管系统的过早损伤。

利益冲突声明 本研究不存在任何利益冲突

参考文献

[1] Kapoor G. Association of physical, psychological and psychosocial attributes with arterial stiffness in cardiovascular disorders: a systematic literature review[J]. J Lifestyle Med, 2023, 13(1): 27–43.

[2] Frostegård J. Immunity, atherosclerosis and cardiovascular disease[J]. BMC Medicine, 2013, 11(1): 117.

[3] Hong YM. Atherosclerotic cardiovascular disease beginning in childhood[J]. Korean Circulation Journal, 2010, 40(1): 1–9.

[4] Piepoli MF, Hoes AW, Agewall S, et al. 2016 European guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice: the sixth joint task force of the European society of cardiology and other societies on cardiovascular disease prevention in clinical practice (constituted by representatives of 10 societies and by invited experts) developed with the special contribution of the European association for cardiovascular prevention & rehabilitation (EACPR)[J]. European Heart Journal, 2016, 37(29): 2315–2381.

[5] Boutouyrie P, Chowienczyk P, Humphrey JD, et al. Arterial stiffness and cardiovascular risk in hypertension [J]. Circulation Research, 2021, 128(7): 864–886.

[6] Wang ZL, Li JM, Sun CH, et al. Strong association between atherogenic index of plasma and obesity in college students [J]. BMC Endocrine Disorders, 2025, 25(1): 80.

[7] Karadağ MK, Yıldırım E. Relationship of atherogenic index of plasma and mean platelet volume with ejection fraction in ischemic and nonischemic heart failure [J]. Biomarkers in Medicine, 2019, 13(3): 175–183.

[8] Cure EK, Icli A, Uslu AU, et al.Atherogenic index of plasma: a useful marker for subclinical atherosclerosis in ankylosing spondylitis: AIP associate with cIMT in AS [J]. Clinical Rheumatology, 2018, 37(5): 1273–1280.

[9] Won KB, Heo R, Park HB, et al. Atherogenic index of plasma and the risk of rapid progression of coronary atherosclerosis beyond traditional risk factors[J]. Atherosclerosis, 2021, 324: 46–51.

[10] Khosravi A, Sadeghi M, Farsani ES, et al. Atherogenic index of plasma: A valuable novel index to distinguish patients with unstable atherogenic plaques[J]. Journal of Research in Medical Sciences : the Official Journal of Isfahan University of Medical Sciences, 2022, 27(1): 45.

[11] 袁鑫，何莹粲，金明浩，等. 多环芳烃暴露与血浆致动脉粥样硬化指数的关联性研究 [J]. 现代预防医学，2025，52（12）：2166–2171，2271.
Yuan X, He YC, Jin MH, et al. Association between polycyclic aromatie hydrocarbon exposure and atherogenic index of plasma[J]. Modern Preventive Medicine, 2025, 52(12): 2166–2171, 2271. (In Chinese)

[12] Lee MJ, Park JT, Han SH, et al. The atherogenic index of plasma and the risk of mortality in incident dialysis patients: Results from a nationwide prospective cohort in Korea [J]. PLOS One, 2017, 12(5): e0177499.

[13] GBD 2021 Adolescent BMI Collaborators. Global, regional, and National prevalence of child and adolescent overweight and obesity, 1990–2021, with forecasts to 2050: a forecasting study for the Global Burden of Disease Study 2021[J]. Lancet, 2025, 405(10481): 785–812.

[14] Perry AS, Dooley EE, Master H, et al. Physical activity over the lifecourse and cardiovascular disease[J]. Circulation Research, 2023, 132(12): 1725–1740.

[15] Duiyimuhan GLN, Maimaiti NEG. The association between atherogenic index of plasma and all-cause mortality and cardiovascular disease-specific mortality in hypertension patients: a retrospective cohort study of NHANES [J]. BMC Cardiovascular Disorders, 2023, 23(1): 452.

[16] Wang Y, Wang S, Sun SF, et al. The predictive value of atherogenic index of plasma for cardiovascular outcomes in patients with acute coronary syndrome undergoing percutaneous coronary intervention with LDL-C below 1.8mmol/L[J]. Cardiovascular Diabetology, 2023, 22(1): 150.

[17] Shi YM, Wen MH. Sex-specific differences in the effect of the atherogenic index of plasma on prediabetes and diabetes in the NHANES 2011-2018 population [J]. Cardiovascular Diabetology, 2023, 22(1): 19.

[18] Huffman KM, Parker DC, Bhapkar M, et al. Calorie restriction improves lipid-related emerging cardiometabolic risk factors in healthy adults without obesity: Distinct influences of BMI and sex from CALERIE? a multicentre, phase 2, randomised controlled trial [J]. EClinical Medicine, 2022, 43: 101261.

[19] 林云,陈文鹤. 4 周运动减肥对肥胖青少年血浆致动脉粥样硬化指数和脂酰辅酶 A 胆固醇酰基转移酶 2 的影响[J]. 中国运动医学杂志,2012,31(12):1043-1047.
Lin Y, Chen WH. Plasma atherogenic index and acyl-coenzyme a cholesterol acyltransferase 2 of obese adolescents after weight reduction [J]. Chinese Journal of Sports Medicine, 2012, 31 (12): 1043-1047.(In Chinese)

[20] 范晖,陶益锋,关陶. 凉山州中学生不良经历和抑郁症状发生的关系[J]. 中国学校卫生,2024,45(7):1003-1007.
Fan H, Tao YF, Guan T. Association between adverse experience and subsequent incidence of depressive symptoms among middle school students in Liangshan[J]. Chinese Journal of School Health, 2024, 45 (7): 1003-1007.(In Chinese)

[21] 冉飞,王航平,杨江,等. 膳食营养摄入、体力活动与学龄儿童青少年超重肥胖率的关联性研究 [C]// 中国体育科学学会. 第十三届全国体育科学大会论文摘要集——墙报交流(运动营养分会). 天津,2023,北京:中国体育科学学会,2023.
Ran F, Wang HP, Yang J, et al. A study on the relationship between dietary nutrient intake, physical activity levels, and the prevalence of overweight and obesity among school-age children and adolescents [C]//Chinese Society of Sports Science. Abstracts of the 13th national conference on sports science—Poster session (sports nutrition section). Tianjin, 2023, Beijing: Chinese Society of Sports Science, 2023.(In Chinese)

[22] Saito K, Hishiki Y, Takahashi HK. Validation of the Omron HBP-1320 for professional use according to the ANSI/AAMI/ISO 81060-2: 2013 protocol and the 2010 revision of the European society of hypertension international protocol [J]. Blood Pressure Monitoring, 2020, 25(3): 162-166.

[23] 国家卫生和计划生育委员会. WS/T 586-2018 学龄儿童青少年超重与肥胖筛查[S]. 北京:中国标准出版社,2018.
Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. WS/T 586-2018 Screening for overweight and obesity among school-aged children and adolescents[S]. Beijing: Standards Press of China, 2018.(In Chinese)

[24] 范晖. 中国儿童血压参照标准建立的研究[D]. 北京:北京协和医学院,2018.
Fan H. Establishing national blood pressure reference for Chinese children[D]. Beijing: Peking Union Medical College, 2018.(In Chinese)

[25] 国家卫生健康委员会. WS/T 612-2018 7 岁 -18 岁儿童青少年高腰围筛查界值[S]. 北京:中国标准出版社,2018.
National Health Commission of the People's Republic of China. WS/T 612-2018 High waist circumference screening threshold among children and adolescents aged 7~18 years [S]. Beijing: Standards Press of China, 2018.(In Chinese)

[26] 张云婷,马生霞,陈畅,等. 中国儿童青少年身体活动指南[J]. 中国循证儿科杂志,2017,12(6):401-409.
Zhang YT, Ma SX, Chen C, et al. Physical activity guidelines for Chinese children and adolescents [J]. Chinese Journal of Evidence Based Pediatrics, 2017, 12(6): 401-409.(In Chinese)

[27] Sun YB, Li FL, Zhou Y, et al. Nonlinear association between atherogenic index of plasma and type 2 diabetes mellitus in overweight and obesity patients: evidence from Chinese medical examination data[J]. Cardiovascular Diabetology, 2024, 23(1): 226.

[28] Zhang JS, Yeh WC, Tsai YW, et al. The relationship between atherogenic index of plasma and obesity among adults in Taiwan[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2022, 19(22): 14864.

[29] Zhu XW, Yu LG, Zhou H, et al. Atherogenic index of plasma is a novel and better biomarker associated with obesity: a population-based cross-sectional study in China[J]. Lipids in Health and Disease, 2018, 17(1): 37.

[30] Reyhan KS, Yadegar A, Samimi S, et al. Atherogenic index of plasma (AIP): the most accurate indicator of overweight and obesity among lipid indices in type 2 Diabetes-Findings from a Cross-Sectional study[J]. Endocrinol Diabetes Metab, 2024, 7(6): e70007.

[31] Vekic J, Zeljkovic A, Stefanovic A, et al.Obesity and dyslipidemia[J]. Metabolism, 2019, 92: 71-81.

[32] Dimitriadis G, Mitrou P, Lambadiari V, et al.Insulin effects in muscle and adipose tissue[J]. Diabetes Research and Clinical Practice, 2011, 93(Suppl 1): S52-S59.

[33] Chatterjee C, Sparks DL. Hepatic lipase, high density lipoproteins, and hypertriglyceridemia [J]. American Journal of Pathology, 2011, 178(4): 1429-1433.

[34] Stadler JT, Marsche G. Obesity-Related changes in High-Density lipoprotein metabolism and function [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2020, 21(23): 8985.

[35] 张子路,秦合伟. 铜死亡与动脉粥样硬化的关系及其靶向治疗的研究进展[J]. 中山大学学报(医学科学版),2025,46(4):558-567.
Zhang ZL, Qin HW. Research progress on relationship between cuproptosis and atherosclerosis and its targeted therapy[J]. Journal of Sun Yat-sen University (Medical Sciences), 2025, 46 (4): 558-567.(In Chinese)

[36] Elgazawey MOS, EL-Sayegh S, Mikhail S, et al. The effect of metabolic bariatric surgery on cardiovascular risks: a prospective study measuring antibodies to apolipoprotein A-1 [J]. Obesity Surgery, 2025, 35(2): 514-524.

[37] Dağ H, İncirkuş F, Dikker O. Atherogenic index of plasma(AIP)and its association with fatty liver in obese adolescents [J]. Children-Basel, 2023, 10(4): 641.

收稿日期:2025-07-12