DOI: 10.16835/j.cnki.1000-9817.2025193

· 疾病控制 ·

青少年血清谷丙转氨酶水平与颈动脉内中膜厚度的关联

黄思思[1],赵敏[2],孙嘉鸿[3],席波[1]

1.山东大学齐鲁医学院公共卫生学院流行病学系/儿少卫生与妇幼保健学系/儿童心血管研究中心,济南 250012;
2.山东大学齐鲁医学院公共卫生学院营养与食品卫生学系;3.广东医科大学公共卫生学院预防医学系

【摘要】 **目的** 探讨青少年血清谷丙转氨酶(ALT)水平与颈动脉内中膜厚度(cIMT)的关系,为制定青少年心血管结构异常的早期防控策略提供依据。**方法** 数据源于 2023 年 10—11 月开展的"桓台儿童心血管健康队列"第 3 次随访调查数据,共纳入 1 153 名具有完整信息的健康青少年。采用方差分析比较不同 ALT 水平组青少年的 cIMT,采用多元线性回归分析血清 ALT 水平与 cIMT 的关系。**结果** *Q*1,*Q*2,*Q*3 ALT 水平组青少年的 cIMT[(0.56±0.04)(0.57±0.04)(0.59±0.04)mm]差异有统计学意义(F=3.61,P<0.01)。调整相关协变量后,多元线性回归分析结果显示,ALT 水平与 cIMT 存在正相关(β=0.18,P<0.01)。性别亚组分析结果显示,男生与总体结果相似(β=0.19,P<0.01),而女生中关联无统计学意义(β=0.07,P=0.54)。**结论** 青少年血清 ALT 水平升高会增加血管结构损害的风险,在男生中尤为明显。及早发现并控制血清异常 ALT 水平有助于减少早期血管结构损害,降低不良心血管事件的发生风险。

【关键词】 谷氨酸转氨酶;颈动脉;血管中膜;回归分析;青少年

【中图分类号】 R 179 R 543.5 R 446.11^{+2} 【文献标识码】 A 【文章编号】 1000-9817(2025)07-1042-05

Association between serum alanine transaminase levels and carotid intima-media thickness in adolescents

HUANG Sisi*, ZHAO Min, SUN Jiahong, XI Bo

Department of Epidemiology/Maternal and Child Health/Children's Cardiovascular Research Centre, School of Public Health, Cheeloo College of Medicine, Shandong University, Jinan 250012, *Shandong Province, China*

【**Abstract**】 **Objective** To investigate the relationship between serum alanine transaminase (ALT) and carotid intima-media thickness (cIMT) in adolescents, providing evidence for early prevention and control strategies for cardiovascular structural abnormalities in adolescents. **Methods** Data were obtained from the third follow-up survey (from October to November 2023) of the "Huantai Children Cardiovascular Health Cohort", including 1 153 healthy adolescents with complete information. Analysis of variance (ANOVA) was used to compare cIMT across different ALT level groups, and multiple linear regression was employed to analyze the relationship between serum ALT levels and cIMT. **Results** Significant differences in cIMT were observed among *Q*1, *Q*2, and *Q*3 ALT level groups [(0.56±0.04) (0.57±0.04) (0.59±0.04) mm, respectively; F=3.61, P<0.01]. After adjusting for covariates, multiple linear regression revealed a positive correlation between ALT levels and cIMT (β=0.18, P<0.01). Gender subgroup analysis showed similar results in males (β=0.19, P<0.01), but no statistically significant association was found in females (β=0.07, P=0.54). **Conclusions** Elevated serum ALT levels are associated with an increased risk of vascular structural damage in adolescents, especially in boys. Early detection and control of abnormal serum ALT levels can help to reduce early vascular structural damage and further reduce the risk of adverse cardiovascular events.

【**Keywords**】 Alanine transaminase; Carotid arteries; Tunica media; Regression analysis; Adolescent

谷丙转氨酶(alanine transaminase,ALT)是评估肝脏功能的常用生化指标,其水平升高是肝脏损伤的重要标志,与肝脏脂肪累积密切相关[1]。近年来,越来越多的研究表明肝脏功能与心血管健康密切相关,肝脏代谢异常可导致糖和脂质代谢紊乱,诱发胰岛素抵抗和代谢综合征,同时加剧氧化应激过程并促进动脉粥样硬化的发生发展,进而增加不良心血管事件的发生风险[2-3]。颈动脉内中膜厚度(carotid intima-media thickness,cIMT)作为亚临床动脉粥样硬化的敏感指标,能够有效反映儿童期血管结构的早期损伤[4],且对远期心血管及死亡事件具有独立预测价值[5-6]。目前关于青少年血清 ALT 水平与早期动脉粥样硬化之间的关系仍存在争议。印度的一项横断面研究发现,超重肥胖儿童的血清 ALT

【基金项目】 国家自然科学基金项目(81673195,82173538,82204066);山东省自然科学基金青年基金项目(ZR20210H272)

【作者简介】 黄思思(2000-),女,安徽淮北人,在读硕士,主要研究方向为儿童心血管健康。

【通信作者】 席波,E-mail:xibo2007@126.com;孙嘉鸿,E-mail:jiahongsun1990@126.com

中位水平与 cIMT 呈正相关[7]。而另一项来自荷兰的横断面研究显示,儿童青少年 ALT 升高与 cIMT 增厚和动脉壁硬度之间未见关联[8]。本研究旨在进一步探讨 ALT 水平与颈动脉内中膜厚度之间的关系,揭示肝脏代谢健康在心血管疾病早期预防中的潜在重要性,为科学制定青少年心血管结构异常的早期防控策略,有效降低青少年群体心血管疾病的发生风险提供依据。

1　对象与方法

1.1　对象　数据来源于 2023 年 10—11 月开展的“桓台儿童心血管健康队列”第 3 次随访调查数据[9],共收集到 1 200 名 12~17 岁青少年的随访信息,排除超声显示肝脏异常者,血清 ALT、cIMT 和相应协变量存在缺失的受访者后,最终共纳入 1 153 名体检数据完整的健康学生进行统计分析。其中男生 603 名,女生 550 名,平均年龄(14.1±1.5)岁。本研究通过山东大学公共卫生学院伦理委员会批准(批号:20160308)。所有调查均获得受试者本人及其父母或其他监护人的知情同意。

1.2　方法

1.2.1　问卷调查　采用自制标准化调查问卷,收集受试对象的性别、年龄、电子设备视屏时间、低中高身体活动水平、每日睡眠时间、膳食习惯(食用蔬菜水果、饮用含糖饮料的频率)和父/母饮酒状况等信息。将研究对象的视屏时间分为<2 和≥2 h/d[10];根据每天低强度、中等强度和高强度活动时间之和,将体力活动水平分为不足(<1 h/d)和适宜(≥1 h/d)[11];蔬菜和水果摄入频率分为不足(<5 次/周)和适宜(≥5 次/周)[12];含糖饮料摄入频率分为<1 和≥1 次/周[13];由于父母饮酒行为与子代饮酒行为存在较强的关联性[14],本研究采用“父/母亲是否饮酒?”问题评估父/母亲的饮酒状况,并将其分为“从未饮酒”和“过去或现在饮酒”,以控制饮酒行为对血清 ALT 水平的非特异性影响。

1.2.2　身体测量　(1)身高和体重:使用 HGM-300 型身高体重仪测量受试者的身高和体重。测量时脱去鞋帽和外套,双脚自然分开,保持身体直立,眼睛平视前方,待仪器示数稳定后进行测量,身高和体重分别精确至 0.1 cm 和 0.1 kg,连续测量 2 次后取平均值作为受试对象身高和体重的最终测量值,并计算体质量指数(body mass index, BMI)= 体重(kg)/[身高(m)]^2。(2)血压:使用经校准后的欧姆龙电子血压计(型号为 HBP-1300)测量受试者的收缩压(systolic blood pressure, SBP)和舒张压(diastolic blood pressure, DBP)。测量时要求受试对象双脚并拢平放在地上,保持平静呼吸。每名受试对象连续测量 3 次,且任意 2 次之间的测量结果相差不得超过 10 mmHg(1 mmHg = 0.133 kpa),若超过该范围需暂停重新测量,直至结果符合要求,取后 2 次测量值的平均值作为最终血压值。(3)cIMT:采用飞利浦 CX30 型彩色多普勒超声诊断仪测量 cIMT。测量时,受试者取仰卧位,头向后微仰并向对侧偏转约 45°,充分暴露颈前侧,保持平稳呼吸,避免吞咽与讲话。由超声医生使用 4-12 MHz 线阵探头,分别测量受试者左右两侧颈总动脉窦近端前、后壁的内中膜厚度,取 4 次测量的平均值作为受试者的 cIMT 值,数据精确至 0.01 mm。

1.2.3　血生化检测　受试者禁食 10 h 后,于第 2 天清晨由护士采集 5 mL 空腹静脉血,离心半径 13.5 cm,转速 3 000 *r*/min,离心 15 min,经离心分装后放置-80℃冰箱保存。采用 AU480 型全自动生化分析仪进行血样检测,采用丙氨酸底物法测量研究对象血清 ALT 水平。

1.2.4　分类标准　参照《学龄儿童青少年超重与肥胖筛查》(WS/T 586—2018)标准[15],将 BMI 小于相应性别、年龄别对应的超重界值定义为正常体重,大于等于相应性别、年龄别对应的超重界值定义为超重肥胖。参照既往文献[16],本研究将血清 ALT 水平按照三分位数进行分组($Q1$~$Q3$)。

1.3　质量控制　调研开始前,所有调查员均通过严格的标准化培训和考核。调研过程中对回收的调查问卷多次进行逻辑核查,并随机抽取 13 名学生在 1 周后重复填写问卷,结果表明膳食情况调查条目一致性良好(*Kappa* 值>0.8)。为确保测量结果的准确性和可靠性,所有测量仪器均经校准后统一使用。调查数据使用 EpiData 3.1 软件进行双人双录入,并进行一致性检验。

1.4　统计学分析　使用 R 4.3.3 统计软件对数据进行整理分析。分类变量采用频数和率表示,组间差异比较采用χ^2 检验;使用 Quantile-Quantile plot 对连续变量进行正态性检验,符合正态分布的数据用($\bar{x}\pm s$)表示,组间比较采用独立样本 t 检验。采用单因素方差分析比较不同 ALT 水平组间青少年 cIMT,组间两两比较采用 Tukey's Honestly Significant Difference 显著性差异检验法。调整性别、年龄、体重状态、每日睡眠时间、体力活动水平、视屏时间、含糖饮料摄入、蔬菜水果摄入、父/母饮酒状况、SBP 和 DBP 等各种潜在协变量,采用多元线性回归模型分析 ALT 水平与 cIMT 的关联,并按性别分层进行亚组分析。P<0.05 为差异有统计学意义。

2　结果

2.1　研究对象基本特征　男、女生在身高、体重、BMI、SBP、cIMT、ALT、超重肥胖、适宜体力活动、适宜摄入蔬菜、母亲饮酒等指标差异均有统计学意义(P 值均<0.05)。见表 1~2。

表 1　不同性别学生基本特征比较($\bar{x}\pm s$)

Table 1　Comparison of basic characteristics of students in different genders($\bar{x}\pm s$)

性别	人数	年龄/岁	身高/cm	体重/kg	BMI/(kg·m^{-2})	SBP/mmHg	DBP/mmHg	cIMT/mm	ALT/(U·L^{-1})	每日睡眠时间/h
男	603	14.1±1.5	171.1±8.7	67.5±17.1	22.9±4.9	121.4±12.1	61.6±7.5	0.58±0.04	19.6±15.2	7.4±1.3
女	550	14.2±1.5	162.4±5.6	58.1±13.0	22.0±4.4	110.8±10.3	61.5±7.1	0.56±0.04	13.4±7.7	7.3±0.9
总计	1 153	14.1±1.5	167.0±8.5	63.0±16.0	22.4±4.7	116.4±12.5	61.6±7.3	0.57±0.04	16.6±12.6	7.4±1.1
t 值		−0.45	20.45	10.56	3.41	16.00	0.13	9.82	8.81	0.98
P 值		0.65	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.90	<0.01	<0.01	0.33

表 2　不同性别学生人口学特征报告率情况

Table 2　Report of demographic basic characteristics of students in different genders

性别	人数	超重肥胖	视屏时间≥2 h/d	体力活动不足	蔬菜摄入不足	水果摄入不足	每周含糖饮料摄入≥1 次	父亲过去或现在饮酒	母亲过去或现在饮酒
男	603	287(47.6)	98(16.2)	174(28.9)	551(91.4)	567(94.0)	155(25.7)	534(88.6)	218(36.2)
女	550	185(33.6)	66(12.0)	273(49.6)	529(96.2)	531(96.6)	88(16.0)	480(87.3)	234(42.5)
总计	1 153	472(40.9)	164(14.2)	447(38.7)	1 080(93.7)	1 098(95.2)	243(21.1)	1 014(87.9)	452(39.2)
χ^2 值		22.61	3.92	51.45	10.40	3.47	15.71	0.33	4.67
P 值		<0.01	0.05	<0.01	<0.01	0.06	<0.01	0.56	0.03

注:( )内数字为检出率或报告率/%。

2.2　不同 ALT 水平分性别青少年 cIMT 的比较　调查对象平均 cIMT 为(0.57±0.04) mm,男生为(0.58±0.04) mm,女生为(0.56±0.04) mm。不同 ALT 组间的 cIMT 水平差异有统计学意义,且 $Q3$ 组均大于 $Q2$ 和 $Q1$ 组(P 值均<0.01)。按性别进行分层分析,结果与总体相似。见表 3。

表 3　不同 ALT 组间青少年 cIMT 水平比较/mm

Table 3　Comparison of cIMT levels in adolescents among different ALT groups/mm

ALT 分组	男生		女生		总体	
	人数	$\bar{x}\pm s$	人数	$\bar{x}\pm s$	人数	$\bar{x}\pm s$
$Q1$	204	0.57±0.04	185	0.56±0.04	389	0.56±0.04
$Q2$	199	0.57±0.04	182	0.56±0.04	381	0.57±0.04
$Q3$	200	0.59±0.04^{ab}	183	0.57±0.04^{a}	383	0.59±0.04^{ab}
F 值		47.63		23.44		3.61
P 值		<0.01		<0.01		0.03

注:^{a} 与 $Q1$ 组比较,^{b} 与 $Q2$ 组比较,P<0.05。

2.3　青少年 ALT 水平与 cIMT 的关联　见表 4。

表 4　青少年血清 ALT 水平与 cIMT 关联的多元线性回归分析

Table 4　Multiple linear regression analysis of the association between serum ALT levels and cIMT in adolescents

性别	模型 1			模型 2			模型 3		
	β 值	标准误	P 值	β 值	标准误	P 值	β 值	标准误	P 值
男(n=603)	0.48	0.07	<0.01	0.23	0.07	<0.01	0.19	0.07	<0.01
女(n=550)	0.42	0.12	<0.01	0.11	0.12	0.34	0.07	0.12	0.54
总体(n=1 153)	0.47	0.06	<0.01	0.22	0.06	<0.01	0.18	0.05	<0.01

注:模型 1 调整性别、年龄;模型 2 在模型 1 基础上调整了体重状态、每日睡眠时间、体力活动水平、视屏时间、含糖饮料、蔬菜水果摄入、父/母饮酒状况;模型 3 在模型 2 基础上调整了 SBP 和 DBP。

调整性别、年龄、体重状态、每日睡眠时间、体力活动水平、视屏时间、含糖饮料摄入、蔬菜水果摄入、父/母饮酒状况、SBP 和 DBP 后,多元线性回归分析结果显示,ALT 水平与颈动脉内中膜厚度呈正相关(P<0.01)。按性别亚组分析显示,仅男生血清 ALT 水平与 cIMT 呈正相关(P<0.01),

3　讨论

本研究结果显示,青少年高血清 ALT 水平与较高的 cIMT 相关,在男生中有统计学意义。目前关于青少年血清 ALT 水平与 cIMT 的关联研究结论不一,一项纳入 109 名 9~15 岁土耳其儿童青少年的病例对照研究发现,cIMT 与肝脏脂肪变性分级和血清 ALT 水平相关[17];而另一项来自荷兰的横断面研究显示,在儿童青少年中未发现 cIMT 与 ALT 之间的关联[18]。以往研究多关注血清 ALT 水平与心血管代谢危险因素的关联,如丹麦一项纳入 2 155 名 6~18 岁儿童青少年的队列研究结果显示,血清 ALT 浓度升高的儿童青少年发生超重肥胖的风险增加[19],而超重肥胖与儿童青少年 cIMT 增厚以及其他心血管结构改变密切相关[20-21]。一项纳入 5 586 名 12~19 岁青少年的美国国家健康与营养调查第三期(National Health and Nutrition Examination Survey III, NHANES-III)结果显示,ALT 水平与 BMI、腰围和胰岛素抵抗之间存在正相关[22],提示心血管风险增加的潜在可能性。意大利一项纳入 803 名 10~16 岁青少年的病例对照研究显示,ALT 水平升高的青少年更易出现胰岛素抵抗和血脂异常,如甘油三酯、总胆固醇和低密度脂蛋白胆固醇水平升高[23]。本研究发现,青少年 ALT 水平与 cIMT 呈正相关,提示青少年中 ALT 水平可能与早期动脉粥样硬化进程相关,强调了监测青少年血清 ALT 水平的重要性。

本研究中观察到的性别差异,与欧洲一项针对10~18 岁青少年的横断面研究结果一致[24],该研究表明,仅在男生中发现 ALT 与血压、胰岛素抵抗和血脂存在关联;另外一项对中国 11 573 名 35 岁及以上农村人群的横断面研究显示,仅在男性中发现血清 ALT 水平升高

与心血管代谢危险因素存在关联[25]。男女差异可能与性别之间激素水平的不同有关,有研究表明女性雌激素对心血管系统具有保护效应,主要表现在延缓冠状动脉粥样硬化的进展、增强内皮依赖性舒张功能以及调节血管平滑肌张力等[26]。

关于血清 ALT 与 cIMT 增厚关联可能的生物学机制包括内皮功能障碍、系统性氧化应激、炎症反应、胰岛素抵抗以及线粒体氧化损伤等[27-28]。ALT 水平升高与肝脏脂肪变性及促炎细胞因子的产生密切相关,这些改变可增强免疫细胞募集,促进胰岛素抵抗,激活炎症通路和氧化应激反应,继而导致内皮功能障碍,降低一氧化氮生物利用度,使血管内皮抗动脉粥样硬化特性丧失和舒张功能受损[29]。此外,脂肪酸摄入和合成增加会导致肝细胞内甘油三酯超载增生长链脂酰辅酶 A,为非氧化代谢途径及有毒代谢物形成提供底物,导致线粒体功能障碍和活性氧产生,在促炎症环境中进一步增加致动脉粥样硬化刺激[30]。

尽管本研究结果显示 ALT 水平与 cIMT 之间存在正相关关系,并表明“肝-心-血管轴”在心血管结构重塑中发挥着重要作用。然而,仍需注意的是,作为肝细胞损伤的血清学标志物,ALT 水平升高可能提示潜在的代谢异常,如非酒精性脂肪性肝病、胰岛素抵抗,这些都是动脉粥样硬化的重要危险因素[31-32]。因此,ALT 更可能是心血管代谢紊乱的伴随生物标志物,而非介导血管结构改变的直接驱动因子。

本研究仍有以下局限性:第一,横断面调查无法验证血清 ALT 水平与 cIMT 之间的因果关系;第二,调查对象仅来自该地区 1 所学校,样本的代表性有限,影响结果的外推性;第三,研究样本量仅 1 153 名,统计效能偏低。在今后的研究中需要扩大样本量,采用前瞻性队列研究设计结合因果推断方法,进一步探讨和验证儿童青少年血清 ALT 水平对远期血管结构损害的影响。

利益冲突声明　所有作者声明无利益冲突。

参考文献

[1] KALAS M A, CHAVEZ L, LEON M, et al. Abnormal liver enzymes: a review for clinicians[J]. World J Hepatol, 2021, 13(11): 1688-1698.

[2] ZHOU X D, CAI J, TARGHER G, et al. Metabolic dysfunction-associated fatty liver disease and implications for cardiovascular risk and disease prevention[J]. Cardiovasc Diabetol, 2022, 21(1): 270-287.

[3] FAIENZAM F, CHIARITO M, MOLINA-MOLINA E, et al. Childhood obesity, cardiovascular and liver health: a growing epidemic with age[J]. World J Pediatr, 2020, 16(5): 438-445.

[4] KIM S A, PARK K H, WOO S, et al. Vascular alterations preceding arterial wall thickening in overweight and obese children[J]. J Clin Med, 2022, 11(12): 3520-3530.

[5] 杨慧. 儿童体脂含量增加与颈动脉内中膜增厚的关联分析及其不同肥胖指标的筛查效果比较[D]. 济南: 山东大学, 2023.
YANG H. Association between elevated body fat mass and high carotid intima-media thickness, and comparison of screening efficacy of different obesity indices in children[D]. Jinan: Shandong University, 2023. (in Chinese)

[6] CHAVOSHI V, BARZIN M, EBADINEJAD A, et al. Association of ideal cardiovascular health with carotid intima-media thickness (cIMT) in a young adult population[J]. Sci Rep, 2022, 12(1): 10056-10065.

[7] SASIDHARAN P S, VIJAYAKUMAR M, BALAKRISHNAN A. Carotid intima medial thickness and its association with cardiometabolic risk factors in children with overweight and obesity: a hospital-based cross-sectional study[J]. Br J Nutr, 2025, 133(4): 456-464.

[8] KARJOO S. Is there an association of vascular disease and atherosclerosis in children and adolescents with obesity and non-alcoholic fatty liver disease? [J]. Front Pediatr, 2018(6): 345-350.

[9] 杨丽丽, 张茜, 张艳青, 等. 山东省淄博市桓台儿童心血管健康随访队列设计方案[J]. 中华预防医学杂志, 2020, 54(12): 1461-1464.
YANG L L, ZHANG Q, ZHANG Y Q, et al. Design of Huantai children cardiovascular health cohort study in Zibo, Shandong Province [J]. Chin J Prev Med, 2020, 54(12): 1461-1464. (in Chinese)

[10] Council on Communications and Media. Media and young minds[J]. Pediatrics, 2016, 138(5): e20162591.

[11] WHO. Global recommendations on physical activity for health[EB/OL]. (2010-01-01)[2024-09-03]. https://www.who.int/publications/i/item/9789241599979.

[12] 郭腾, 羊柳, 张茜, 等. 儿童超重肥胖和血压偏高联合作用与左心室肥厚的关联研究[J]. 中华预防医学杂志, 2019, 53(7): 686-691.
GUO T, YANG L, ZHANG Q, et al. Association of joint effect of overweight/obesity and elevated blood pressure with left ventricular hypertrophy in children[J]. Chin J Prev Med, 2019, 53(7): 686-691. (in Chinese)

[13] YANG L, BOVET P, LIU Y, et al. Consumption of carbonated soft drinks among young adolescents aged 12 to 15 years in 53 low- and middle-income countries[J]. Am J Public Health, 2017, 107(7): 1095-1100.

[14] ESPINOSA-HERNANDEZ G, NOEL N E, VASILENKO S A, et al. Associations between parental and adolescent alcohol use: the role of gender and familism support[J]. J Adolesc, 2022, 94(7): 1035-1040.

[15] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 学龄儿童青少年超重与肥胖筛查: WS/T 586—2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
National Health Commission of the PRC. Screening for overweight and obesity among school-age children and adolescents: WS/T 586-2018 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2018. (in Chinese)

[16] BELLENTANI S, BEDOGNI G, TIRIBELLI C. Liver and heart: a new link? [J]. J Hepatol, 2008, 49(2): 300-302.

[17] TORUN E, AYDIN S, GOKCE S, et al. Carotid intima-media thickness and flow-mediated dilation in obese children with non-alcoholic fatty liver disease[J]. Turk J Gastroenterol, 2015, 25(1): 92-98.

[18] MANCO M, BEDOGNI G, MONTI L, et al. Intima-media thickness and liver histology in obese children and adolescents with non-alcoholic fatty liver disease[J]. Atherosclerosis, 2010, 209(2): 463-468.

[19] JOHANSEN M J, GADE J, STENDER S, et al. The effect of overweight and obesity on liver biochemical markers in children and adolescents[J]. J Clin Endocrinol Metab, 2020, 105(2): 430-442.

(下转第 1050 页)

XIANG H, CHEN G, JIANG L, et al. Characteristics of drinking water quality in Karst rural areas of Guizhou Province[J]. J Envion Health, 2016,33(9):827-830.(in Chinese)

[14] 杨朝莲, 张清海, 卢勤辉, 等. 贵州喀斯特高地质背景区农产品 Cd、Cu、Zn、Se、F 含量特征及膳食暴露风险[J]. 食品安全质量检测学报, 2022,13(15):5008-5016.
YANG C L, ZHANG Q H, LU Q H, et al. Characteristics and dietary exposure risk of Cd, Cu, Zn, Se and F content in agricultural products from Karst high geological background areas in Guizhou Province[J]. J Food Safety Qual, 2022,13(15):5008-5016.(in Chinese)

[15] 何令令, 何守阳, 陈琢玉, 等. 环境中氟污染与人体氟效应[J]. 地球与环境, 2020,48(1):87-95.
HE L L, HE S Y, CHEN Z Y, et al. Fluorine pollution in the environment and human fluoride effect[J]. Earth Environ, 2020,48(1):87-95.(in Chinese)

[16] 李红. 骨髓间充质干细胞诱导分化模型的建立及其在环境化学物骨质损伤机制研究中的应用[D]. 成都:四川大学, 2006.
LI H. Establishment of the induced differentiation model of bone marrow mesenchymal stem cells and its application in the study of the mechanism of bone injury by environmental chemicals[D]. Chengdu: Sichuan University, 2006.(in Chinese)

[17] 龚艺, 舒莉萍, 陈芳萍, 等. 氟对斑马鱼骨骼发育的影响及与 OPG/RANKL 通路的相关性研究[J]. 中华地方病学杂志, 2022,41(2):93-99.
GONG Y, SHU L P, CHEN F P, et al. Effects of fluoride on skeletal development of Zebrafish and its correlation with OPG/RANKL pathway[J]. Chin J Endemiol, 2022,41(2):93-99.(in Chinese)

[18] ALUOMEN F A, ALTAWEEL A M, ABUNADI A K, et al. Determining the correlation between Cobb angle severity and bone mineral density in women with adolescent idiopathic scoliosis[J]. J Taibah Univ Med Sci, 2021,16(3):365-368.

[19] 李静, 李娜, 庄乾宇, 等. miR-181b 抑制骨髓间充质干细胞成骨分化可能参与青少年特发性脊柱侧弯骨密度降低[J]. 基础医学与临床, 2019,39(6):832-839.
LI J, LI N, ZHUANG Q Y, et al. miR-181b inhibits osteogenic differentiation of bone marrow-derived mesenchymal stem cells and might be responsible for decreased bone mineral density of adolescents idiopathic scoliosis[J]. Basic Clin Med, 2019,39(6):832-839.(in Chinese)

[20] 莫跃爽. 贵州省不同地貌类型春季气候的时空变化特征研究[D]. 贵阳:贵州师范大学, 2021.
MO Y S. Study on temporal and spatial variation chareteristics of spring climete change in different geomorphological types in Guizhou Province[D]. Guiyang: Guizhou Normal University, 2021.(in Chinese)

[21] ZHUO T L, CHAO F G, JIONG L, et al. The role of endocrine hormones in the pathogenesis of adolescent idiopathic scoliosis[J]. FASEB J, 2021,35(9):e21839.

[22] 韩雁, 胡玉环, 温晓飒, 等. 上海市闵行区中小学生脊柱弯曲异常现状分析[J]. 上海预防医学, 2024,36(6):574-578.
HAN Y, HU Y H, WEN X S, et al. Analysis of the current situation of spinal curvature abnormalities among primary, middle, and high school students in Minhang District, Shanghai[J]. Shanghai J Prev Med, 2024,36(6):574-578.(in Chinese)

收稿日期:2025-02-20 **修回日期**:2025-05-27 **本文编辑**:王苗苗

(上接第 1045 页)

[20] 张茜, 马传伟, 席波. 超重肥胖对高血压学龄儿童左心室肥厚的影响[J]. 中国学校卫生, 2019,40(6):815-817.
ZHANG Q, MA C W, XI B. The effects of overweight and obesity on left ventricular hypertrophy among hypertensive school-aged children[J]. Chin J Sch Health, 2019,40(6):815-817.(in Chinese)

[21] 马淑婧, 杨丽丽, 席波. 高血压儿童青少年肥胖与颈动脉内中膜厚度的关系[J]. 中国学校卫生, 2019,40(6):818-819,823.
MA S J, YANG L L, XI B. Association between obesity and carotid intima-media thickness in hypertensive children and adolescents[J]. Chin J Sch Health, 2019,40(6):818-819,823.(in Chinese)

[22] FRASER A, LONGNECKER M P, LAWLOR D A. Prevalence of elevated alanine-aminotransferase (ALT) among US adolescents and associated factors:NHANES 1999-2004[J]. Gastroenterology, 2008,133(6):1814-1820.

[23] RUTIGLIANO I, VINCI R, DE FILIPPO G, et al. Metabolic syndrome, hepatic steatosis, and cardiovascular risk in children[J]. Nutrition, 2017,36:1-7.

[24] MARÍA M, IDOIA L, JONATAN R R. Cardiorespiratory fitness, waist circumference and liver enzyme levels in European adolescents: the HELENA cross-sectional study[J]. J Sci Med Sport, 2017, 20(10):932-936.

[25] CHEN S. Association between elevated serum alanine aminotransferase and cardiometabolic risk factors in rural Chinese population:a cross-sectional study[J]. BMC Cardiovasc Disord, 2015,15:65-73.

[26] 刘权仪, 吴新华, 陈章荣. 雌激素对血管、心肌保护性作用的分子机制[J]. 国际心血管病杂志, 2018,45(4):204-207.
LIU Q Y, WU X H, CHEN Z R. Molecular mechanisms of estrogen's protective effects on blood vessels and myocardium[J]. Int J Cardiovasc Dis, 2018,45(4):204-207.(in Chinese)

[27] CHO E J, HAN K, LEE S P, et al. Liver enzyme variability and risk of heart disease and mortality:a nationwide population-based study[J]. Liver Int, 2020,40(6):1292-1302.

[28] CAI J, ZHANG X J, JI Y X, et al. Nonalcoholic fatty liver disease pandemic fuels the upsurge in cardiovascular diseases[J]. Circ Res, 2020,126(5):679-704.

[29] BADMUS O O, HINDS T D, STEC D E. Mechanisms linking metabolic-associated fatty liver disease (MAFLD) to cardiovascular disease[J]. Curr Hypertens Rep, 2023,25(8):151-162.

[30] DORNAS W, SCHUPPAN D. Mitochondrial oxidative injury:a key player in nonalcoholic fatty liver disease[J]. Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol, 2020,319(3):G400-G411.

[31] FU S, LIN Y, LUO L, et al. The relationship of serum alanine aminotransferase normal-range levels to arterial stiffness and metabolic syndrome in non-drinkers and drinkers:a Chinese community-based analysis[J]. BMC Gastroenterol, 2017,17(1):49-55.

[32] AFARIDEH M, ARYAN Z, GHAJAR A, et al. Complex association of serum alanine aminotransferase with the risk of future cardiovascular disease in type 2 diabetes[J]. Atherosclerosis, 2016,254:42-51.

收稿日期:2025-05-07 **修回日期**:2025-06-17 **本文编辑**:王苗苗