

本文引用: 刘建华, 赵丽, 何辉, 等. 氧化平衡评分与血管内皮功能指标的横断面关联研究[J]. 中国动脉硬化杂志, 2026, 34(8): 761-770. DOI: 10.20039/j.cnki.1007-3949.2026.08.007.

[文章编号] 1007-3949(2026)34-08-0761-10

· 临床研究 ·

氧化平衡评分与血管内皮功能指标的横断面关联研究

刘建华^{1,2}, 赵丽², 何辉², 吕媛媛², 王成浩²

1. 潍坊学院体育学院, 山东省潍坊市 261061; 2. 北京体育大学运动人体科学学院, 北京市 100084

[摘要] **[目的]** 分析氧化平衡评分(OBS)对血管内皮功能的影响,为制定针对性干预措施、预防血管内皮功能障碍提供实证依据。**[方法]** 本研究选取北京市顺义区汉族常住居民为研究对象,采用文献资料法、问卷调查法和高效液相色谱-串联质谱法测算研究人群的 OBS;采用 Vivid-7 彩色多普勒超声、UNEX EF 血管内皮功能检测技术和 ELISA 评估受试者血管内皮形态结构和功能状态;运用独立样本 *t* 检验、单因素方差分析、卡方检验及多因素 Logistic 回归分析,探究 OBS 与血管内皮功能指标间的关系。**[结果]** 随着 OBS 水平的升高,8-异前列腺素 F2 α (FIP)含量降低,OBS2 组和 OBS3 组 FIP 水平显著低于 OBS1 组($P<0.01$);OBS2 组和 OBS3 组发生高 FIP 表达的风险显著降低($P<0.01$)。高 FIP 组血流介导的血管舒张功能(FMD)和血清一氧化氮(NO)/内皮素 1(ET-1)比值显著低于低 FIP 组($P<0.05$);高 FIP 组的颈动脉内膜中膜厚度(CIMT)和血清 ET-1 水平显著高于低 FIP 组($P<0.01$);低 FIP 组发生血管内皮功能减退的风险显著低于高 FIP 组($P<0.05$)。OBS3 组的 ET-1 和内皮型一氧化氮合酶(eNOS)水平显著低于 OBS1 组和 OBS2 组($P<0.01$),OBS3 组的 NO/ET-1 比值显著高于 OBS1 组和 OBS2 组($P<0.01$);随着 OBS 值的升高,CIMT 逐步减小,OBS3 组 CIMT 显著低于 OBS1 组($P<0.01$),CIMT 异常增厚(CIMT >1.00 mm)发生率显著下降($P<0.01$);FMD 随着 OBS 值的升高呈上升趋势,OBS3 组 FMD 显著高于 OBS1 组($P<0.05$),FMD 异常降低(FMD $<6\%$)发生率亦显著降低($P<0.01$)。**[结论]** OBS 升高可有效降低机体氧化应激水平,显著改善血管内皮形态结构和生理功能。

[关键词] 氧化平衡评分; 氧化损伤; 血管内皮功能

[中图分类号] R5

[文献标识码] A

A cross-sectional association study on oxidative balance score and vascular endothelial function indicators

Liu Jianhua^{1,2}, Zhao Li², He Hui², Lü Yuanyuan², Wang Chenghao²

1. School of Physical Education, Weifang University, Weifang, Shandong 261061, China; 2. School of Sport and Exercise Science, Beijing Sport University, Beijing 100084, China

[ABSTRACT] **Aim** To analyze the effect of the oxidative balance score (OBS) on vascular endothelial function and to provide empirical evidence for developing targeted interventions and preventing vascular endothelial dysfunction.

Methods This study selected permanent Han residents of Shunyi District, Beijing as the research subjects. OBS of the study population was calculated using literature review, questionnaire survey, and high-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry. Vascular endothelial morphology and functional status were assessed using Vivid-7 color Doppler ultrasound, UNEX EF vascular endothelial function testing technology, and ELISA. Independent samples *t*-test, one-way analysis of variance, chi-square test, and multivariate Logistic regression analysis were used to explore the relationship between OBS and vascular endothelial function indicators. **Results** As OBS level increased, the content of 8-iso-prostaglandin F2 α (FIP) decreased. FIP levels in OBS group 2 and 3 were significantly lower than those in OBS group 1 ($P<0.01$). The risk of high FIP expression was significantly reduced in OBS group 2 and 3 ($P<0.01$). Flow-mediated dilation (FMD) and serum nitric oxide/endothelin-1 (NO/ET-1) ratio were significantly lower in the high-FIP group than in the low-FIP group ($P<0.05$). Carotid intima-media thickness (CIMT) and serum ET-1 levels were signifi-

[收稿日期] 2025-12-17

[修回日期] 2026-05-08

[基金项目] 中国高校科研项目(2017SYS008、2022YB012)

[作者简介] 刘建华,博士,副教授,研究方向为运动与健康促进,E-mail:liujian3651@sina.com。通信作者赵丽,博士,教授,博士研究生导师,研究方向为运动与健康促进,E-mail:ln611622@sina.com。

cantly higher in the high-FIP group than in the low-FIP group ($P<0.01$). The risk of vascular endothelial dysfunction was significantly lower in the low-FIP group than in the high-FIP group ($P<0.05$). ET-1 and endothelial nitric oxide synthase (eNOS) levels in OBS group 3 were significantly lower than those in groups 1 and 2 ($P<0.01$), while the NO/ET-1 ratio in OBS group 3 was significantly higher than that in groups 1 and 2 ($P<0.01$). CIMT progressively decreased with increasing OBS values, CIMT in OBS group 3 was significantly lower than that in the OBS group 1 ($P<0.01$), and the incidence of abnormally thickened CIMT (CIMT >1.00 mm) was significantly reduced ($P<0.01$). FMD showed an increasing trend with rising OBS value, FMD in OBS group 3 was significantly higher than that in OBS group 1 ($P<0.05$), and the incidence of abnormally reduced FMD (FMD $<6\%$) was also significantly reduced ($P<0.01$). **Conclusion** Elevated OBS can effectively reduce systemic oxidative stress levels and significantly improve vascular endothelial morphology and physiological function.

[KEY WORDS] oxidative balance score; oxidative damage; vascular endothelial function

研究证实,氧化应激(oxidative stress, OS)与多种慢性疾病的病理生理过程有关^[1]。OS 是体内活性氧(reactive oxygen species, ROS)的产生与清除失衡时机体所处的状态^[2]。ROS 在体内的代谢受环境、生活方式和饮食等多种因素影响。其中,部分因素可促进 ROS 生成,称为促氧化因素,如电离辐射、环境污染、药物、吸烟,以及饮食中所含的铁(iron, Fe)和饱和脂肪酸等;另一些因素则抑制 ROS 生成,称为抗氧化因素,如饮食中所含的维生素 C (vitamin C, VitC)、VitE、VitA、各种类胡萝卜素、硒,以及适量运动等。研究表明,摄入较多抗氧化营养素可提高机体抗氧化能力,有利于机体维持氧化平衡状态;而过度暴露于促氧化因素则会增加 ROS 生成,加剧机体的 OS 损伤。由此可见,环境、饮食和生活方式对于机体处于氧化平衡状态还是 OS 状态具有重要影响。

目前,关于饮食和生活方式中的促氧化/抗氧化因素与 OS 相关疾病的研究已有大量报道,但大多集中于单一因素的分析。实际上,机体的氧化状态是多种促氧化与抗氧化因素共同作用的结果,且这些因素之间相互影响、相互作用^[3]。单一因素对整体的作用有限,其独立效应难以解释整体的氧化状态;例如,实验室研究证实抗氧化物可延缓疾病进程,但临床补充抗氧化物降低血压的效果却不尽如人意^[4-6];应用药物剂量的抗氧化维生素未能预防心血管疾病^[7];体内外研究均表明抗氧化物能够减少细胞增殖和 DNA 氧化损伤,但将其作为预防药物的临床研究未取得预期效果^[8]。因此,对于 OS 相关疾病的病因学研究,应基于多种促氧化与抗氧化因素的综合分析,而非仅限于某一或某几个因素的独立效应。

既然机体的氧化状态是多种促氧化与抗氧化因素综合作用的结果,那么是否可以构建一个能够反映这种综合效应的评价指标?氧化平衡评分(ox-

idative balance score, OBS)正是基于这一背景提出的。Van 等^[9]率先提出将 OBS 作为反映各类促氧化与抗氧化因素综合作用的指标,认为该指标可更准确地研究相关暴露因素与 OS 相关疾病的关系^[10]。OBS 的计算依据目前已知的主要促氧化与抗氧化因素在机体氧化状态中的作用,分值越高表示抗氧化作用越显著,机体越接近氧化平衡状态;反之,分值越低表示促氧化作用越强,OS 水平越高。Van 等^[9]根据 VitC、 β -胡萝卜素和 Fe 的摄入情况构建了 OBS,并以此为基础研究了 OBS 和比利时男性烟民死亡率之间的关系;他们还探讨了 OBS 与全因死亡率及癌症死亡率之间的关系。此外,部分学者先后应用 OBS 开展了 OS 与高血压^[11]、结直肠癌^[12]、前列腺癌^[13]、慢性肾病^[14]及全因病死亡率^[15]等关系的研究,结果发现 OBS 值较高者相关疾病的患病风险显著降低, OBS 值与疾病风险呈负相关。

血管内皮功能损伤是心血管疾病发生的早期始动因素,而 OS 是导致血管内皮功能损伤的主要诱因之一^[16-17]。大量研究证实,内皮功能与饮食及生活方式密切相关。目前,关于饮食与生活方式对血管内皮 OS 影响的研究多聚焦于单一因素的作用,如 VitC、VitE、类胡萝卜素、高脂饮食、吸烟、过量饮酒与运动等,研究范围较为局限,研究结论不够客观、准确。OBS 这一指标克服了既往研究的不足,能够反映多因素对机体的整体效应。因此,本研究拟引入 OBS,探讨饮食与生活方式对机体氧化状态和血管内皮功能的影响,明确饮食、生活方式与机体氧化状态、血管内皮功能之间的关系,为预防和改善血管内皮功能提供科学依据。

1 资料和方法

1.1 研究对象

本研究受试者年龄范围在 20~75 岁之间,均能

按照要求完成相关测试和问卷调查。对受试者的健康状况及疾病类型无特殊限定。研究方案已获校伦理委员会批准。在北京市顺义区居民中进行了受试者招募,招募遵循自愿原则,向潜在参与者如实说明研究内容,共招募 382 人。最终将能够完成全部测试和问卷的 339 人纳入研究,其中男性 142 人,女性 197 人。所有受试者均签署了知情同意书。

1.2 身高、体重和体重指数的测试

采用经校准的身高计和体重计测量身高和体重,测试人员固定,且均经过专门培训,测试过程严格按照测试要求进行。根据测量结果计算体重指数(body mass index,BMI),公式为 BMI=体重(kg)/身高(m)²。BMI 在 18.5~23.9 范围内属正常,BMI 在 24.0~27.9 范围内为超重,BMI≥28.0 为肥胖。

1.3 问卷调查法

问卷以国际通用的 IPAQ 长问卷为基础,并补充了其他调查内容。已有学者检验了 IPAQ 问卷在中国人群中的效度和信度^[18]。调查内容包括:①受试者基本信息(姓名、性别、年龄、职业状况和教育背景等);②既往及当前健康状况(常见慢性病的患病及用药情况,重点调查心血管疾病);③家族病史;④体力活动;⑤健身和社会性习惯。

相关指标的界定标准如下:每日吸烟 1 支以上,持续或累计超过 6 个月界定为经常吸烟;男性每日酒精摄入量超过 25 克,或每周超过 140 克,女性每日酒精摄入量超过 15 克,或每周超过 80 克界定为经常饮酒;相关疾病的界定以临床诊断标准为依据。体力活动等级的界定通过国际通用的 IPAQ 长问卷调查结果划分。首先要求受试者回顾过去七天的体力活动,内容包括每日的工作活动、交通活动、家务劳动、运动锻炼和休闲娱乐,以及静坐时间共五个部分,据此判断受试者平均每日体力活动水平。对不同强度的体力活动赋予不同的代谢当量(metabolic equivalent,MET)值,范围从 3.3 MET~8.0 MET。每天某项体力活动的 MET 值按该活动强度赋值乘以持续时间(min)计算,单位为 MET·min。在此基础上计算一天乃至一周所有体力活动的总 MET·min 值,并依据该总值将体力活动水平分为高、中、低三个等级,具体划分标准如表 1 所示。

接受问卷调查者有 382 人,回收问卷 356 份,有效 339 份。问卷在调查前进行了效度检验,调查后进行了信度检验,均合格。

1.4 生化指标测试

所测生化指标均为血液指标。受试者需提前 12 h 禁食,于次晨采集空腹静脉血。每名受试者取

血 5 mL,分别置于肝素抗凝管和血清管中,静置 10 min 后,以 3 000 r/min 离心 10 min,分离血浆和血清后置于-20 ℃冰箱保存待测。

表 1. 体力活动水平分级标准

Table 1. Classification standard for physical activity level	
体力活动等级	分级标准
低体力活动水平	每周体力活动总量<600 (MET·min/W)
中等体力活动水平	600≤每周体力活动总量 (MET·min/W)≤3 000
高体力活动水平	每周体力活动总量>3 000 (MET·min/W)

1.4.1 ELISA 测试 采用 ELISA 法检测血清一氧化氮(nitric oxide,NO)、内皮型一氧化氮合酶(endothelial nitric oxide synthase,eNOS)、内皮素 1(endothelin-1,ET-1)、8-异前列腺素 F2α(8-iso-prostaglandin F2α,FIP)、Fe、VitC、ω-3 及 ω-6 等。试剂盒由上海生工生物工程有限公司提供。

1.4.2 高效液相色谱-串联质谱测试 检测指标包括 α-胡萝卜素、β-胡萝卜素、β-隐黄质、玉米黄质、α-生育酚和 γ-生育酚等。具体测试方法如下^[19]:

(1) 样本预处理。取血浆样本 100 μL,加入 300 μL 氯仿-甲醇(2:1,v/v)和 300 μL 水,涡旋振荡 1 min,随后以 13 200 r/min 冷冻离心 8 min。取下层有机相转移至 PE 管中浓缩;水相加入 300 μL 正己烷,涡旋振荡 1 min 后以 13 200 r/min 冷冻离心 8 min,取上层有机相放入上述 PE 管中再次浓缩。浓缩干燥后加入 100 μL 甲醇复溶,取 50 μL 上机检测。

(2) 液相色谱条件。色谱柱 MS Lab C18(150 mm×4.6 mm,5 μm),柱温 50 ℃,流速 1.2 mL/min,流动相 A 相为水相(水+1%甲酸+1%甲酸铵),B 相为有机相(甲醇+15%乙腈+2%异丙醇+1%甲酸),进样量 15 μL,梯度如表 2 所示。

表 2. 液相色谱梯度洗脱表

Table 2. Gradient elution table for liquid chromatography										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
保留时间/min	0.10	0.50	0.60	3.00	3.10	15.00	15.10	35.00	35.10	38.00
% A	95	95	2	2	1	1	0	0	95	95
% B	5	5	98	98	99	99	100	100	5	5

(3)质谱条件。离子源:电喷雾离子源(ESI,正离子模式);扫描方式:多反应监测(MRM);气帘气(CUR):30 psi;喷雾电压(IS):+4800 V;碰撞气(CAD):Medium;碰撞室射出电压(CXP):3.0 V;雾化气(GSI):60 psi;雾化温度(TEM):500 ℃;射入电压(EP):10 V;辅助气(GS2):50 psi。

1.5 血管内皮功能影像学指标测试

1.5.1 血流介导的血管舒张功能(flow-mediated dilation, FMD) 该方法通过在测试者前臂加压增加切应力,刺激血管内皮合成与释放 NO,引起血管扩张,并利用超声观测血管内径变化的百分率,从而间接评估内皮功能。采用日本产的 UNEX EF 测试仪,由经过专门培训的技术人员进行测试。

测试步骤:

(1)受试者休息 10 min,仰卧于检查床上,尽量靠近仪器。将血压计袖带安装于非测试侧上臂,被测手臂置于测试台上,安装驱血用袖带和心电图夹,并确认同期音。

(2)向受试者说明检查流程。将测试探头垂直于手臂放置,平行向内拉动探头,在短轴切面图像上逐渐显示血管短轴断面,将动脉血管移至短轴画面中心轴,切换至长轴切面即可观察动脉的长轴断面。在长轴画面上适当描记血管内膜后,固定探头,在短轴画面中点击血管左右边界的中心点,随后开始测量静息状态下肱动脉内径。

(3)测量非驱血侧上臂血压后,以收缩压+50 mmHg 作为驱血压,持续驱血 5 min。驱血过程中要求受试者保持静止不动。

(4)驱血结束后,仪器自动移动探头,连续检测 2 min 内肱动脉内径的动态变化,并计算 FMD。FMD 定义为驱血后动脉内径变化的百分率,其临界值为 5%~6%,低于该临界值提示受试者内皮依赖性血管舒张功能降低。

1.5.2 颈动脉内膜中膜厚度(carotid intima-media thickness, CINT)及斑块检查 采用美国 GE 公司生产的 Vivid-7 彩色多普勒超声诊断仪进行检测,由经过专门培训的技术人员操作。判断标准如下:正常, CINT≤1.00 mm;内膜中膜增厚, 1.00 mm<CINT≤1.50 mm;斑块,局限性 CINT>1.50 mm^[20]。

1.6 统计学分析

利用 SPSS 22.0 统计学软件对数据进行处理。连续型变量以 $\bar{x}\pm s$ 表示,分类变量以频数(百分比)表示。依据三分位数法将 OBS 进行分组,多组间比较采用单因素方差分析或卡方检验;两组间比较采用独立样本 *t* 检验;不同变量间关系采用 Logistic 回

归分析。以 $P<0.05$ 为差异具有统计学意义。图形绘制采用 GraphPad Prism 8.0 软件。

2 结果

2.1 受试者测试指标总体情况

受试者各测试指标和调查结果如表 3 所示。受试者平均年龄:男性为(51.8±14.6)岁,女性为(53.9±12.3)岁,年龄差异无统计学意义($P>0.05$)。男女间 BMI 差异无统计学意义($P>0.05$)。在生化指标方面,男女间 VitC、 ω -3、 ω -6、 β -隐黄质、玉米黄质、 α -生育酚、 γ -生育酚及 FIP 水平差异均无统计学意义($P>0.05$)。男性血 β -胡萝卜素水平较女性高 10.61% ($P<0.01$);女性血 α -胡萝卜素和 Fe 水平分别较男性高 7.66% 和 5.14% ($P<0.05$)。在生活方式和用药方面,男性经常吸烟、经常饮酒及低体力活动的比例分别较女性高 55.91%、31.77% 和 8.42% (均 $P<0.01$);女性高体力活动的比例较男性高 14.11% ($P<0.01$)。男女间中等体力活动比例,以及阿司匹林和非甾体抗炎药(nonsteroidal anti-inflammatory drug, NSAID)使用人数(包括偶尔使用和规律使用)的比例,差异均无统计学意义($P>0.05$)。

2.2 OBS 各构成成分的选择及赋值

在不同研究应用 OBS 探讨 OS 与疾病关系的过程中, OBS 的构成成分存在数量与类型上的差异。多数研究中, OBS 的构成成分数量为 12~14 项,主要包括与机体氧化状态相关的营养素、生活方式因素(如吸烟、饮酒和体力活动)、肥胖状况及药物使用情况等^[11,13-14]。本研究拟探讨 OS、OBS 与血管内皮功能之间的关系。在文献查阅的基础上,通过分析饮食及生活方式中与血管内皮功能密切相关的促氧化与抗氧化因素,最终确定 OBS 的构成成分为以下 16 项:血浆 VitC、 ω -3、 ω -6、 α -胡萝卜素、 β -胡萝卜素、 β -隐黄质、玉米黄质、 α -生育酚、 γ -生育酚、血清 Fe 水平、体力活动状况、吸烟情况、饮酒情况、阿司匹林使用情况、NSAID 使用情况以及 BMI。上述因子中既包含连续型变量,也包含分类变量。对于连续型变量,采用三分法将测量值分为高、中、低三组,各指标的具体划分界值见表 4。赋值规则为:促氧化因子(如血清 Fe)按水平由高至低分别赋值为 0 分、1 分和 2 分;抗氧化因子(如 α -胡萝卜素等)水平由高至低分别赋值为 2 分、1 分和 0 分。对于分类变量,根据具体情况分别赋值 0~2 分,如低体力活动赋值 0 分,中等体力活动赋值 1 分,高体力活

动赋值 2 分,其他分类变量的赋值方式与此类似。 值。本研究全体受试者的 OBS 值在 3 ~ 29 分之间。将上述 16 项因子的赋值相加,即为受试者的 OBS

表 3. 受试者测试指标和问卷调查结果总览
Table 3. Overview of participants' test metrics and questionnaire responses

项目	总体(<i>n</i> =339)	男性(<i>n</i> =142)	女性(<i>n</i> =197)	<i>P</i>
年龄/岁	53.00±13.1	51.8±14.6	53.9±12.3	0.252
身高/cm	160.05±8.37	166.90±7.52	155.12±5.45	0.001
体重/kg	67.91±11.02	72.48±10.71	64.61±10.22	0.001
BMI/(kg/m ²)	26.55±3.79	26.12±3.52	26.85±3.92	0.148
VitC/(μmol/L)	31.71±9.26	31.63±9.77	31.75±9.02	0.923
ω-3/(μmol/L)	80.03±21.37	81.19±25.29	79.44±19.12	0.544
ω-6/(μmol/L)	12.84±3.42	12.52±3.58	13.01±3.34	0.290
α-胡萝卜素/(μg/L)	19.71±4.77	18.68±5.52	20.23±4.26	0.015
β-胡萝卜素/(μg/L)	41.35±10.89	44.47±12.23	39.75±9.81	0.001
β-隐黄质/(μg/L)	24.68±7.93	24.63±8.55	24.70±7.62	0.942
玉米黄质/(μg/L)	29.53±8.39	28.35±8.43	30.14±8.33	0.114
α-生育酚/(μg/L)	1 795.85±334.89	1 767.52±415.97	1 810.37±284.98	0.341
γ-生育酚/(μg/L)	1 068.37±257.13	1 082.92±285.36	1 060.91±241.99	0.525
Fe/(μg/L)	57.38±8.56	55.39±8.84	58.39±8.26	0.009
FIP/(ng/L)	517.97±78.41	523.27±83.12	515.26±76.01	0.447
吸烟/%	88(25.96)	83(58.45)	5(2.54)	0.001
过量饮酒/%	52(15.34)	48(33.80)	4(2.03)	0.001
低体力活动/%	24(7.08)	17(11.97)	7(3.55)	0.003
中等体力活动/%	101(29.79)	47(33.10)	54(27.41)	0.259
高体力活动/%	214(63.13)	78(54.93)	136(69.04)	0.008
NSAID 偶尔使用/%	112(33.04)	45(31.69)	67(34.01)	0.654
NSAID 规律使用/%	5(1.47)	2(1.41)	3(1.52)	0.931
阿司匹林偶尔使用/%	40(11.80)	19(13.38)	21(10.67)	0.444
阿司匹林规律使用/%	45(13.27)	21(14.79)	24(12.18)	0.485

表 4. OBS 各构成成分的赋值情况
Table 4. Assignment of each component of OBS

OBS 构成成分	0 分	1 分	2 分	OBS 构成成分	0 分	1 分	2 分
α-胡萝卜素/(μg/L)	≤17.60	17.70 ~ 21.50	>21.50	ω-6/(μmol/L)	>14.32	11.40 ~ 14.32	≤11.39
β-胡萝卜素/(μg/L)	≤37.50	37.60 ~ 45.20	>45.20	Fe/(μg/L)	>61.60	54.90 ~ 61.60	≤54.80
β-隐黄质/(μg/L)	≤20.70	20.80 ~ 25.80	>25.80	BMI/(kg/m ²)	≥28.00	24.00 ~ 27.90	18.50 ~ 23.90
玉米黄质/(μg/L)	≤25.80	25.90 ~ 32.30	>32.30	体力活动	低	中等	高
α-生育酚/(μg/L)	≤1 660.00	1 661.00 ~ 1 880.00	>1 880.00	吸烟	一直吸烟	过去吸烟	不吸烟
γ-生育酚/(μg/L)	≤930.00	931.00 ~ 1 140.00	>1 140.00	饮酒	过量饮酒	适度饮酒	不饮酒
VitC/(μmol/L)	≤26.51	26.52 ~ 34.96	>34.96	阿司匹林服用	从不服用	偶尔服用	规律服用
ω-3/(μmol/L)	≤70.68	70.69 ~ 85.33	>85.33	NSAID 服用	从不服用	偶尔服用	规律服用

2.3 OBS 值与机体氧化状态之间的关系

FIP 的前身为花生四烯酸,其生成与机体的 OS 反应有关。FIP 是 OS 反应中主要且稳定的代谢产物,作为反映脂质过氧化程度特异、敏感且可靠的新指标,常被用作评估机体 OS 水平的金标准,在心血管相关疾病的氧化损伤机制研究中得到广泛应用^[21]。

从 OBS 赋值情况可知,OBS 值越低,表明促氧化作用越强,抗氧化作用越弱;反之,则代表抗氧化作用大于促氧化作用。理论上,OBS 值越高,机体 OS 水平越低,即 FIP 值越低。在探讨 OBS 与机体氧化状态关系之前,首先将所有受试者的 OBS 值采用三分位数法分为三个组别:OBS1 组(3~14 分)、OBS2 组(15~18 分)和 OBS3 组(19~29 分),分别代表低、中、高三个水平的 OBS 值。不同 OBS 组的 FIP 值见表 5。随着 OBS 值增加,FIP 水平逐渐降低,与 OBS1 组相比,OBS2 组和 OBS3 组的 FIP 水平分别降低 6.80% 和 18.59%(均 $P<0.01$)。

表 5. 不同 OBS 组别 FIP 值及其比较($n=339$)
Table 5. FIP values and comparisons among different OBS groups($n=339$)

分组	FIP/(ng/L)	<i>P</i>
OBS1 组	570.55±52.85	—
OBS2 组	531.77±73.09	0.001
OBS3 组	464.51±65.51	0.001

此外,本研究还对 OBS 与 FIP 进行了 Logistic 回归分析。首先将各 OBS 组中的 FIP 值按均值分为两类:低水平 FIP($\leq$ 均值,517.97 ng/L)和高水平 FIP($>$ 均值),分别赋值为 0 和 1。以 FIP 为因变量,OBS 三个组别为自变量,分析 OBS 组别变化对 FIP 的影响。结果如表 6 所示,OBS2 组和 OBS3 组发生高 FIP 的风险显著低于 OBS1 组(均 $P<0.001$)。

表 6. 不同 OBS 组别与 FIP 间关系的 Logistic 回归分析

Table 6. Logistic regression analysis of the relationship between OBS and FIP

	低 FIP 组 ($n=159$)	高 FIP 组 ($n=180$)	OR(95% CI)	<i>P</i>
OBS1	22	87	1.000	—
OBS2	53	75	0.170(0.086~0.335)	0.001
OBS3	84	18	0.054(0.025~0.115)	0.001

注:OR 对下列可能影响机体氧化状态的其他因素进行了校正:年龄、性别、健身情况、甘油三酯、总胆固醇、低密度脂蛋白、高密度脂蛋白、收缩压、舒张压、心血管疾病和糖尿病等。

2.4 机体氧化状态对血管内皮功能的影响

由于 FIP 是评估机体 OS 水平的金标准,因此以受试人群 FIP 的平均值为界,将其氧化状态分为两个水平:低于平均值者归为低 FIP 组,代表氧化水平较低;高于平均值者归为高 FIP 组,代表氧化水平较高。反映血管内皮结构与功能的指标包括:NO、eNOS、ET-1、FMD 和 CMT。

不同 FIP 水平人群的血管内皮指标比较结果见表 7 和图 1。与低 FIP 组相比,高 FIP 组的 FMD 和 NO/ET-1 比值分别降低 18.93% 和 15.94%($P<0.05$ 或 $P<0.01$);高 FIP 组的 CMT 和 ET-1 分别升高 43.08% 和 14.30%(均 $P<0.01$);两组间的 NO 和 eNOS 水平差异无统计学意义(均 $P>0.05$)。

表 7. 不同 FIP 水平人群血管内皮指标测试结果
Table 7. Test results of vascular endothelial indicators among subjects with different FIP levels

血管内皮指标	高 FIP 组 ($n=180$)	低 FIP 组 ($n=159$)	<i>P</i>
FMD/%	9.51±2.68	11.73±3.32	0.022
CMT/mm	0.93±0.25	0.65±0.18	0.001
NO/(μ mol/L)	54.54±6.81	56.78±4.94	0.080
eNOS/(U/L)	10.31±2.13	11.15±2.03	0.059
ET-1/(ng/L)	48.11±5.53	42.09±5.65	0.001
NO/ET-1	1.16±0.23	1.38±0.26	0.001

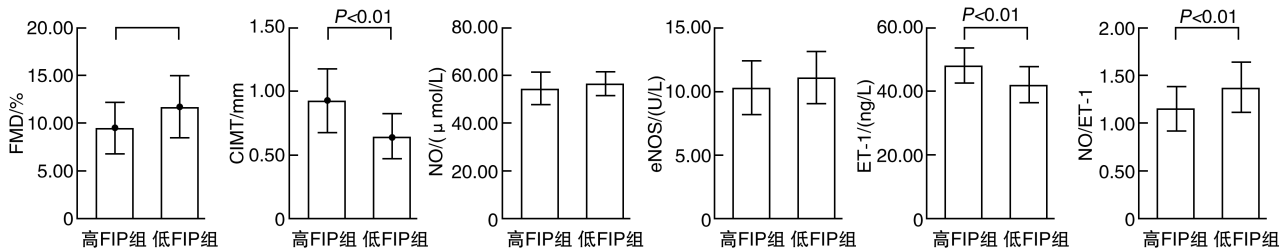


图 1. 不同 FIP 水平血管内皮指标比较($n=339$)

Figure 1. Comparison of vascular endothelial indicators among subjects with different FIP levels($n=339$)

此外,本研究还对 FIP 和血管内皮功能进行了 Logistic 回归分析。以 FMD 作为反映血管内皮功能的指标,按受试人群 FMD 的平均值将其分为高 FMD 组(>均值,代表内皮功能正常,赋值为 0)和低 FMD 组($\leq$ 均值,代表内皮功能低下,赋值为 1)。以 FMD 为因变量,FIP 两个组别为自变量,分析 FIP 组别变化对 FMD 的影响。结果如表 8 所示,低 FIP 组发生内皮功能低下的风险显著低于高 FIP 组($P<0.05$)。

2.5 OBS 对血管内皮功能的影响

不同 OBS 组别内皮功能生化指标的检测结果见表 9 和图 2。OBS3 组的 NO 水平略高于前两组,但差异无统计学意义($P>0.05$);OBS3 组的 ET-1 水平比 OBS1 组低 14.51% ($P<0.01$);OBS3 组的

eNOS 水平比 OBS1 组低 16.23% ($P<0.01$);OBS3 组的 NO/ET-1 比值比 OBS1 组高 19.31% ($P<0.01$)。

表 8. FIP 与 FMD 间关系的 Logistic 回归分析
Table 8. Logistic regression analysis of the relationship between FIP and FMD

	高 FMD 组 (<i>n</i> = 147)	低 FMD 组 (<i>n</i> = 192)	OR(95% CI)	<i>P</i>
高 FIP 组	61	119	1.000	—
低 FIP 组	86	73	0.575 (0.345 ~ 0.959)	0.034

注:OR 对下列可能影响血管内皮功能的因素进行了校正:年龄、性别、健身情况、甘油三酯、总胆固醇、低密度脂蛋白、高密度脂蛋白、收缩压、舒张压、心血管疾病和糖尿病等。

表 9. 不同 OBS 组别内皮功能生化指标检测结果(*n* = 339)
Table 9. Test results of endothelial biochemical indicators among different OBS groups(*n* = 339)

分组	NO/(μ mol/L)	ET-1/(ng/L)	eNOS/(U/L)	NO/ET-1
OBS1	55.15 $\pm$ 5.93	47.55 $\pm$ 3.77	11.34 $\pm$ 2.06	1.17 $\pm$ 0.18
OBS2	54.10 $\pm$ 5.99	47.25 $\pm$ 7.00	11.36 $\pm$ 1.73	1.18 $\pm$ 0.26
OBS3	57.60 $\pm$ 5.94	40.65 $\pm$ 5.62	9.50 $\pm$ 2.01	1.45 $\pm$ 0.27
<i>P</i>	0.079	0.001	0.001	0.001

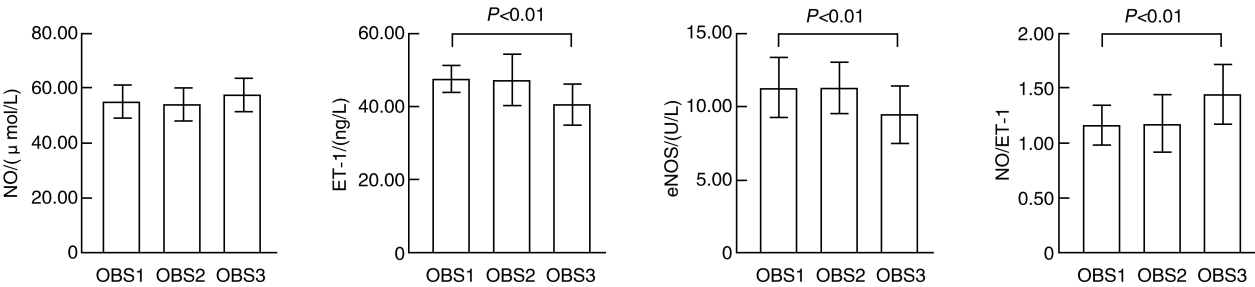


图 2. 不同 OBS 组别血管内皮生化指标比较(*n* = 339)
Figure 2. Comparison of vascular endothelial biochemical indicators among different OBS groups(*n* = 339)

不同 OBS 组别间 CIMT 和 FMD 的检测结果见表 10 和图 3。随着 OBS 值增加,CIMT 逐渐降低,OBS3 组的 CIMT 比 OBS1 组低 24.73% ($P<0.01$);同时,CIMT 异常(CIMT>1.00 mm)的发生比例逐渐下降,OBS3 组 CIMT 异常比例比 OBS1 组低 67.96% ($P<0.01$)。随着 OBS 值增加,FMD 呈升高趋势,OBS3 组的 FMD 比 OBS1 组高 17.15% ($P<0.05$);FMD 异常(FMD<6%)的发生比例逐渐降低,OBS3 组 FMD 异常比例比 OBS1 组低 61.85% ($P<0.01$)。

表 10. 不同 OBS 组别 CIMT 和 FMD 检测结果(*n* = 339)
Table 10. Test results of CIMT and FMD among different OBS groups(*n* = 339)

分组	CIMT/mm	CIMT>1 mm/ [例(%)]	FMD/%	FMD<6%/ [例(%)]
OBS1	0.93 $\pm$ 0.21	40(36.70)	9.37 $\pm$ 2.71	28(25.69)
OBS2	0.82 $\pm$ 0.20	25(19.53)	9.50 $\pm$ 2.81	21(16.41)
OBS3	0.70 $\pm$ 0.21	12(11.76)	11.31 $\pm$ 3.32	10(9.80)
<i>P</i>	0.001	0.001	0.015	0.009

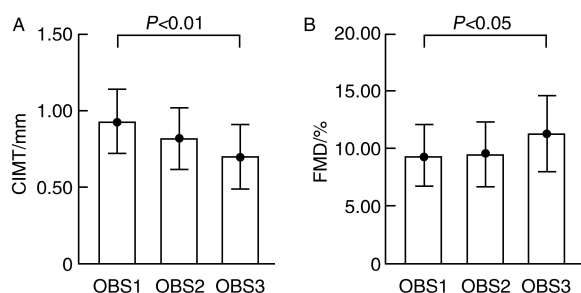


图 3. 不同 OBS 组别 CIMT(A) 和 FMD(B) 比较($n=339$)

Figure 3. Comparison of CIMT (A) and FMD (B) among different OBS groups($n=339$)

在进行 OBS 与血管内皮功能关系的 Logistic 回归分析时,以 FMD 作为反映血管内皮功能的指标,将低 FMD 赋值为 1,高 FMD 赋值为 0,以 FMD 为因变量,OBS 三个组别为自变量,分析 OBS 组别变化对血管内皮功能指标 FMD 的影响。结果如表 11 所示,随着 OBS 值增加,发生内皮功能低下的可能性降低,OBS2 组和 OBS3 组发生内皮功能低下的风险均显著低于 OBS1 组(均 $P<0.05$)。

表 11. OBS 与 FMD 间关系的 Logistic 回归分析($n=339$)

Table 11. Logistic regression analysis of the relationship between OBS and FMD ($n=339$)

	高 FMD 组 ($n=147$)	低 FMD 组 ($n=192$)	OR(95% CI)	P
OBS1	32	77	1.000	—
OBS2	60	68	0.535 (0.289 ~ 0.992)	0.047
OBS3	55	47	0.397 (0.206 ~ 0.766)	0.006

注:OR 对下列可能影响血管内皮功能的因素进行了校正:年龄、性别、健身情况、甘油三酯、总胆固醇、低密度脂蛋白、高密度脂蛋白、收缩压、舒张压、心血管疾病和糖尿病等。

3 讨论

OBS 是通过综合计算多种促氧化与抗氧化因素的作用,所获得的反映机体氧化状态的一项综合指标。其数值大小首先取决于参与计算的构成成分(即促氧化因素和抗氧化因素)的种类和数量。不同研究中,OBS 构成成分的数量和类型存在差异。例如,Annor 等^[11]开展的关于 OBS 与高血压关系的研究中,OBS 的构成成分有 13 项,包括血浆玉米黄质、隐黄质、番茄红素、 α -生育酚、 α -胡萝卜素、 β -胡萝卜素、血清 Fe、体力活动、饮酒、吸烟、阿司匹林服用、NSAID 的服用以及 BMI。而 Kong 等^[15,22]

开展的关于 OBS 与结直肠癌关系,以及 OBS 与全因死亡率和癌症死亡率预测的研究中,OBS 的构成成分包括 14 项因素,涵盖多不饱和脂肪酸、血清 Fe、VitC、 α -胡萝卜素、 β -胡萝卜素、叶黄素、番茄红素、 β -隐黄质、 α -生育酚、硒、吸烟、饮酒、阿司匹林和 NSAID 的服用。从上述研究中可以发现,OBS 的构成成分主要分为两大类:一类是通过饮食摄入的与氧化状态有关的营养素,包括抗氧化营养素和促氧化营养素;另一类是通过生活方式影响机体氧化状态的因素,如吸烟、饮酒、体力活动和药物服用等,这些因素同样兼具促氧化和抗氧化两种作用。在选择 OBS 构成成分时,首先应选取经研究证实对机体氧化状态具有显著影响的因素,其次还需考虑所选因素在拟研究疾病的发生发展中是否发挥作用。

基于现有 OBS 相关文献及对血管内皮功能影响的考量,本研究所构建的 OBS,其构成成分如前文表 4 所示,共计 16 项。其中,发挥抗氧化作用的成分包括:VitC、 α -胡萝卜素、 β -胡萝卜素、 β -隐黄质、 α -生育酚、 γ -生育酚、玉米黄质、 ω -3、规律服用阿司匹林和 NSAID;发挥促氧化作用的成分包括: ω -6、血清 Fe、吸烟、过量饮酒、低体力活动和肥胖。通过分析受试人群以上构成成分的水平,对 OBS 的每一项构成成分进行赋值(0、1 或 2),具体赋值方法前文已详细说明。

此外,在计算 OBS 时,还应考虑不同构成成分对机体氧化状态影响的差异性,即不同成分其权重应有所不同。然而,目前多数研究采用等权重法,即所有构成成分权重相同,均为 1。部分研究则对 OBS 构成成分进行了加权计算,并据此形成 OBS 值。例如,Dash 等^[12]在进行 OBS 与结直肠癌关系的研究中,采用了四种加权方法:等权重法、基于文献分析的加权法、后验法和贝叶斯法。Kong 等^[15]在利用 OBS 预测全因死亡、癌症死亡和非癌症死亡的研究中,也采用了三种加权方法:等权重法、基于文献分析的加权法、基于构成成分与 OS 产物——FIP 关系的加权法。研究结果表明,不同加权方法所得结论类似,OBS 与机体氧化状态及所研究疾病之间均存在显著关联。因此,本研究在确定各构成成分权重时,亦采用等权重法。

由表 5 和表 6 可知,OBS2 组和 OBS3 组的 FIP 水平显著低于 OBS1 组,且随着 OBS 值的升高,发生高 FIP 的风险呈下降趋势。上述结果表明,采用本研究方法计算的 OBS 值能够有效反映机体氧化状态,其影响方向与预期一致,即 OBS 值越高,抗氧化成分对机体的保护作用越强,机体出现高氧化水平

(高 FIP)的可能性越低。该结论与既往其他学者所做研究的结论一致。因此,采用本研究方法所确定的 OBS 值,用于探讨机体氧化状态与血管内皮功能之间的关系是可行的。

血管内皮为覆于血管内膜表面的单层扁平细胞,其结构和功能的完整性对维持血管正常生理功能具有重要意义。OS 是导致血管内皮损伤的重要机制。OS 可通过改变内皮细胞通透性、刺激内皮细胞分泌促血管收缩因子、诱导促炎性细胞因子表达及调控内皮细胞凋亡等途径,引发内皮细胞的氧化损伤。因此,当机体 OS 水平升高后,血管内皮的结构和功能必然受到影响,相关指标也会随之改变。李月云等^[23]研究发现,氧化型低密度脂蛋白通过 OS 作用诱导体外培养的主动脉内皮细胞发生氧化损伤后,促进了血管内皮细胞 ET-1 mRNA 的表达与 ET-1 的释放。另有研究表明,血脂异常大鼠的 OS 指标丙二醛(malondialdehyde,MDA)水平较对照组大鼠显著升高,超氧化物歧化酶(superoxide dismutase,SOD)和 NO 水平显著降低;对肥胖性高血压患者进行葛根素联合替米沙坦治疗后,MDA 水平显著下降,SOD 和 NO 水平显著升高,ET-1 水平显著下降,FMD 较治疗前显著改善^[24-25]。

本研究结果(表 7)表明,OS 对受试人群的血管内皮结构和功能产生了显著影响。与低 FIP 组(OS 水平低)相比,高 FIP 组(OS 水平高)的 ET-1 显著升高,NO/ET-1 比值显著下降,舒血管效应降低而缩血管效应增强,FMD 显著降低,CIMT 显著增厚,提示受试者发生动脉粥样硬化的风险增加。为进一步验证 OS 与血管内皮功能的关系,本研究还做了 FIP 与血管内皮功能关系的 Logistic 回归分析,结果表明,低 OS 组(即低 FIP 组)发生血管内皮功能低下的风险较高 OS 组(即高 FIP 组)显著下降,结果与预期一致。

自 OBS 提出以来,已开展多项关于 OBS 与 OS 相关疾病关系的研究。Annor 等^[11]发现 OBS 和高血压之间存在显著负相关,较高的 OBS 水平与较低的高血压风险相关。Kong 等^[22]关于 OBS 与结直肠腺瘤的研究表明,中、高水平的 OBS 组结直肠腺瘤的发病风险较低水平 OBS 组显著下降。Kong 等^[15]在不同种族人群的 OBS 与全因死亡关系的研究中发现,较高的 OBS 与较低的全因死亡率显著相关。此外,OBS 值较高者,慢性肾脏病的发病率较低,且 OBS 与蛋白尿呈显著负相关^[18]。然而,也有研究得出不同甚至相反的结论,加拿大一个关于饮食、生活方式与健康的队列研究发现,OBS 与前列腺癌之

间无显著关联;Lakkur 等^[13]在 OBS 与前列腺癌的研究中发现,随着 OBS 值升高,前列腺癌的发病风险反而增加。

在本研究中,OBS3 组的 ET-1 水平显著低于 OBS1 组和 OBS2 组,而 NO/ET-1 比值则显著高于 OBS1 组和 OBS2 组。这表明,OBS3 组中舒血管因子发挥主要作用,而 OBS1 组和 OBS2 组中缩血管因子作用更强。上述效应在 FMD 指标上也得到了验证,OBS3 组的 FMD 显著高于 OBS2 组和 OBS1 组,且随着 OBS 组别升高,FMD 降低的风险显著下降。上述研究结果表明,OBS 组别越低,内皮舒张功能受损越明显。其原因可能在于 OBS 分值高者,其构成成分对血管内皮主要发挥保护作用,而 OBS 分值低者的构成成分则以损伤作用为主,且这种损伤通过 OS 途径实现。研究还发现,随着 OBS 值降低,CIMT 呈增厚趋势,OBS1 组的 CIMT 厚度显著大于 OBS3 组。此结果表明,OBS 值降低不仅导致血管内皮的舒张功能下降,还会引起内皮结构的显著改变,从而增加动脉粥样硬化风险。

关于 OBS 与血管内皮功能关系的研究,本研究结果与既往多数研究一致,即随着 OBS 值升高,OS 相关疾病(如血管内皮功能异常)的发生风险下降。

本研究进一步验证了应用 OBS 这一工具进行 OS 相关疾病及其致病风险因素关系研究的可行性,为今后拓展 OBS 的应用范围以及针对性制定血管内皮功能障碍的预防策略提供了调查依据。本研究的局限性在于:受试人群样本量相对不足;OBS 的构成成分、赋值及权重确定方法均源于特定文献和假设,其在其他人群中的适用性有待进一步验证;此外,未对不同 OBS 组成成分对血管内皮功能影响的差异进行分析。上述问题将在后续研究中进一步完善和解决。

[参考文献]

- [1] Mushuo Q, Tian Y H, Li J C, et al. Mitophagy and oxidative stress in chronic kidney disease (review) [J]. Mol Med Rep, 2026, 33 (2): 61.
- [2] 汪正宜,郭朝瑞. 心血管疾病相关的氧化应激生物标志物的研究进展[J]. 中南药学, 2025, 23(11): 3289-3297.
Wang Z Y, Guo C R. Progress in biomarkers for oxidative stress in cardiovascular diseases [J]. Cent South Pharm, 2025, 23 (11): 3289-3297.
- [3] Bilski R, Kupczyk D, Kaczorowska-Bilska K. Oxidative stress in multiple myeloma: pathogenic mechanisms, biomarkers, and redox-targeted therapeutic strategies[J]. Int J Mol Sci, 2026, 27(7): 3001.
- [4] Frankel R A, Michels K A, Kim K, et al. Serum antioxidant vitamin concentrations and oxidative stress markers associated with

- symptoms and severity of premenstrual syndrome: a prospective cohort study[J]. BMC Womens Health, 2021, 21(1): 49.
- [5] Shoaibinobarian N, Eslamian G, Noormohammadi M, et al. Dietary total antioxidant capacity and risk of polycystic ovary syndrome: a case-control study[J]. Int J Fertil Steril, 2022, 16(3): 200-205.
- [6] Trela-Makowej A, Leśkiewicz M, Kruk J, et al. Antioxidant and neuroprotective activity of vitamin E homologues; *in vitro* study[J]. Metabolites, 2022, 12(7): 608.
- [7] 尚彩霞, 贾会芳, 韩孟珂, 等. 维生素 E 对子痫前期高危孕妇胎儿发育水平、血管内皮功能及胎盘氧化应激水平的影响[J]. 滨州医学院学报, 2024, 47(3): 235-237.
- Shang C X, Jia H F, Han M K, et al. Effects of vitamin E on fetal development, vascular endothelial function and placental oxidative stress in high-risk pregnant women with preeclampsia[J]. J Binzhou Med Univ, 2024, 47(3): 235-237.
- [8] Jiang L, Yang K H, Tian J H, et al. Efficacy of antioxidant vitamins and selenium supplement in prostate cancer prevention: a meta-analysis of randomized controlled trials[J]. Nutr Cancer, 2010, 62(6): 719-727.
- [9] Van Hoydonck P G, Temme E H, Schouten E G. A dietary oxidative balance score of vitamin C, beta-carotene and iron intakes and mortality risk in male smoking Belgians[J]. J Nutr, 2002, 132(4): 756-761.
- [10] Lakkur S, Bostick R M, Roblin D, et al. Oxidative balance score and oxidative stress biomarkers in a study of whites, African Americans, and African immigrants[J]. Biomarkers, 2014, 19(6): 471-480.
- [11] Annor F B, Goodman M, Okosun I S, et al. Oxidative stress, oxidative balance score, and hypertension among a racially diverse population[J]. J Am Soc Hypertens, 2015, 9(8): 592-599.
- [12] Dash C, Goodman M, Flanders W D, et al. Using pathway-specific comprehensive exposure scores in epidemiology: application to oxidative balance in a pooled case-control study of incident, sporadic colorectal adenomas[J]. Am J Epidemiol, 2013, 178(4): 610-624.
- [13] Lakkur S, Goodman M, Bostick R M, et al. Oxidative balance score and risk for incident prostate cancer in a prospective U. S. cohort study[J]. Ann Epidemiol, 2014, 24(6): 475-478.
- [14] Ilori T O, Sun Ro Y, Kong S Y, et al. Oxidative balance score and chronic kidney disease[J]. Am J Nephrol, 2015, 42(4): 320-327.
- [15] Kong S Y, Goodman M, Judd S, et al. Oxidative balance score as predictor of all-cause, cancer, and non-cancer mortality in a biracial US cohort[J]. Ann Epidemiol, 2015, 25(4): 256-262.
- [16] 刘晨, 成姣, 刘烨, 等. 内皮细胞衰老与血管功能障碍[J]. 中国动脉硬化杂志, 2024, 32(10): 916-920.
- Liu C, Cheng J, Liu Y, et al. Endothelial cell senescence and vascular dysfunction[J]. Chin J Arterioscler, 2024, 32(10): 916-920.
- [17] 乔莞宁, 陈虹印, 张 扬. 氧化应激与动脉粥样硬化[J]. 中国动脉硬化杂志, 2023, 31(4): 312-321.
- Qiao G N, Chen H Y, Zhang Y. Oxidative stress and atherosclerosis[J]. Chin J Arterioscler, 2023, 31(4): 312-321.
- [18] 屈宁宁, 李可基. 国际体力活动问卷中文版的信度和效度研究[J]. 中华流行病学杂志, 2004, 25(3): 265-268.
- Qu N N, Li K J. Study on the reliability and validity of international physical activity questionnaire (Chinese version, IPAQ)[J]. Chin J Epidemiol, 2004, 25(3): 265-268.
- [19] 陈冬东, 郗存显, 彭 涛, 等. 高效液相色谱-串联质谱法测定保健食品中的番茄红素[J]. 食品科学, 2012, 33(20): 206-211.
- Chen D D, Xi C X, Peng T, et al. Determination of lycopene in dietary supplements by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry[J]. Food Sci, 2012, 33(20): 206-211.
- [20] 孙秋愿. 脑立清胶囊联合比索洛尔对冠心病心力衰竭患者血管内皮功能及血清氧化应激指标的影响[J]. 药品评价, 2025, 22(2): 173-178.
- Sun Q Y. The effect of naoliqing capsules combined with bisoprolol on vascular endothelial function and serum oxidative stress indicators in patients with coronary heart disease with heart failure[J]. Drug Eval, 2025, 22(2): 173-178.
- [21] 黄宇理, 包宗明. 异构前列腺素与心血管相关疾病[J]. 心脏杂志, 2008, 20(6): 789-792.
- Huang Y L, Bao Z M. Isoprostanes and cardiovascular related diseases[J]. Chin Heart J, 2008, 20(6): 789-792.
- [22] Kong S Y, Bostick R M, Flanders W D, et al. Oxidative balance score, colorectal adenoma, and markers of oxidative stress and inflammation[J]. Cancer Epidemiol Biomarkers Prev, 2014, 23(3): 545-554.
- [23] 李月云, 王晓芳, 付 艳, 等. 黄芩苷调控氧化应激反应对糖尿病幼鼠血管内皮功能保护作用及机制的研究[J]. 中国糖尿病杂志, 2025, 33(6): 462-467.
- Li Y Y, Wang X F, Fu Y, et al. Protective effect and mechanism of baicalin on vascular endothelial function in young rats with diabetes mellitus by regulating oxidative stress response[J]. Chin J Diab, 2025, 33(6): 462-467.
- [24] 朱 叶. 贝那普利片与美托洛尔片联合治疗高血压合并心力衰竭患者临床疗效及对氧化应激水平、血管内皮功能的影响[J]. 青海医药杂志, 2024, 54(11): 7-9.
- Zhu Y. Clinical efficacy of benazepril tablets combined with metoprolol tablets in the treatment of hypertension complicated with heart failure and its effects on oxidative stress levels and vascular endothelial function[J]. Qinghai Med J, 2024, 54(11): 7-9.
- [25] 张 柠, 樊世明. 高海拔地区 H 型高血压患者血管内皮功能与氧化应激的研究进展[J]. 中国全科医学, 2024, 27(27): 3435-3439.
- Zhang N, Fan S M. Research progress on vascular endothelial function and oxidative stress in patients with H-type hypertension at high altitudes[J]. Chin Gen Pract, 2024, 27(27): 3435-3439.

(此文编辑 王颖)