

# 血清维生素 C 水平对成人代谢综合征的影响研究

张吕宁<sup>1</sup>, 汪晓语<sup>2</sup>, 陈梦雪<sup>2</sup>, 李蕊瑞<sup>1</sup>, 熊静远<sup>1</sup>, 成果<sup>2,3</sup>

1. 四川大学华西公共卫生学院 / 华西第四医院, 四川 成都 610041;

2. 四川大学华西第二医院妇儿营养中心, 四川 成都 610041; 3. 四川大学华西护理学院, 四川 成都 610041

**摘要:** **目的** 基于 NHANES 2017—2018 数据探讨血清维生素 C 水平对成年人代谢综合征的影响。**方法** 以来自 NHANES 2017—2018 数据集中的 2 094 名成年人为研究对象, 以血清维生素 C 水平为主要暴露变量, 以国际糖尿病联盟和美国心脏协会的标准诊断的代谢综合征为结局变量, 采用多变量 logistic 回归模型分析二者的关联, 并对性别、年龄等进行亚组分析。**结果** 代谢综合征风险随着血清维生素 C 水平升高而降低( $P_{趋势} < 0.001$ ), 与血清维生素 C 水平最低四分位数(Q1)组相比, 最高四分位数(Q4)组的代谢综合征风险相对较低( $OR=0.66$ ,  $95\%CI: 0.48 \sim 0.92$ )。性别和年龄亚组分析表明: 女性和 50 岁以下年龄组人群中保护效应更明显; 血清维生素 C 水平最高组的女性代谢综合征风险较低(Q4 组:  $OR=0.42$ ,  $95\%CI: 0.28 \sim 0.63$ ); 血清维生素 C 水平次高和最高的 50 岁以下年龄组人群的代谢综合征风险较低(Q3 组:  $OR=0.41$ ,  $95\%CI: 0.25 \sim 0.68$ ; Q4 组:  $OR=0.19$ ,  $95\%CI: 0.13 \sim 0.30$ )。**结论** 本研究表明, 较高的血清维生素 C 水平可能与较低的成年人代谢综合征风险相关, 该效应在女性和 50 岁以下群体中更为明显。

**关键词:** 血清维生素 C; 代谢综合征; NHANES; 相关性研究

中图分类号: R589 文献标志码: A 文章编号: 1003-8507(2025)05-795-06

DOI: 10.20043/j.cnki.MPM.202411508

## Study on the impact of serum vitamin C levels on metabolic syndrome in adults

ZHANG Lv-ning\*, WANG Xiao-yu, CHEN Meng-xue, LI Rui-rui, XIONG Jing-yuan, CHENG Guo

\*West China School of Public Health, Sichuan University / West China Fourth Hospital, Chengdu, Sichuan 610041, China

**Abstract:** **Objective** To investigate the impact of serum vitamin C levels on metabolic syndrome in adults based on NHANES 2017–2018 data. **Methods** A total of 2 094 adults from the NHANES 2017–2018 dataset were included, with serum vitamin C levels as the primary exposure variable and metabolic syndrome, diagnosed according to the standards of the International Diabetes Federation and the American Heart Association, as the outcome variable. A multivariable logistic regression model was utilized to analyze the association between these variables, with subgroup analyses conducted for gender, age, and other factors. **Results** The risk of metabolic syndrome decreased with increasing serum vitamin C levels ( $P_{trend} < 0.001$ ). Compared to the lowest quartile of serum vitamin C levels (Q1), the highest quartile (Q4) exhibited a relatively lower risk of metabolic syndrome ( $OR=0.66$ ,  $95\%CI: 0.48-0.92$ ). Subgroup analyses by gender and age indicated a more pronounced protective effect in women and individuals under 50 years of age; women in the highest serum vitamin C level group had a lower risk of metabolic syndrome (Q4 group:  $OR=0.42$ ,  $95\%CI: 0.28-0.63$ ). Additionally, individuals under 50 years of age in the second and highest serum vitamin C level groups also had reduced risks of metabolic syndrome (Q3 group:  $OR=0.41$ ,  $95\%CI: 0.25-0.68$ ; Q4 group:  $OR=0.19$ ,  $95\%CI: 0.13-0.30$ ). **Conclusion** This study suggests that higher serum vitamin C levels may be associated with a lower risk of metabolic syndrome in adults, with a more pronounced effect observed in women and individuals under 50 years of age.

**Keywords:** Serum vitamin C; Metabolic syndrome; NHANES; Correlation study

代谢综合征(metabolic syndrome, MS)是一类以腹部肥胖、高血糖、高血压和异常脂质代谢为主要临床表现的代谢性疾病, 与心血管疾病、2 型糖尿病及其

他代谢相关疾病的风险显著相关<sup>[1]</sup>。其发病率逐年上升, 给全球医疗体系带来了沉重的经济负担<sup>[2]</sup>, 为此, 探索行之有效的营养干预策略具有重要的公共卫生学意义。

维生素 C(抗坏血酸)是一种膳食来源的强效抗氧化剂<sup>[3]</sup>。多项研究表明, 维生素 C 在维持代谢健康方面可能发挥重要作用<sup>[4]</sup>。尽管已有研究发现膳食维

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(82173512)

作者简介: 张吕宁(1999—), 男, 硕士在读, 研究方向: 营养与食品卫生学

通信作者: 成果, E-mail: ehw\_cheng@126.com

生素 C 与 MS 风险之间存在关联<sup>[5-6]</sup>,但与膳食数据相比,血清维生素 C 水平更能准确反映体内的实际维生素 C 水平,更能反映其与疾病的真实关联。因此,本研究旨在利用 NHANES 2017—2018 数据,探讨血清维生素 C 水平与成年人 MS 的相关性,以期为 MS 的防控提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究人群

本研究采用 2017—2018 年美国国家健康与营养调查 (National Health and Nutrition Examination Survey, NHANES) 数据,数据可以在 NHANES 官方网站 (<http://www.cdc.gov/nchs/nhanes.htm>) 免费获取。其中包含 9 254 名完成访谈和体检的参与者的数据,排除年龄小于 18 岁、血清维生素 C 数据或 MS 有关数据缺失的研究对象后,共纳入 2 094 名符合条件的研究对象,筛选流程见图 1。

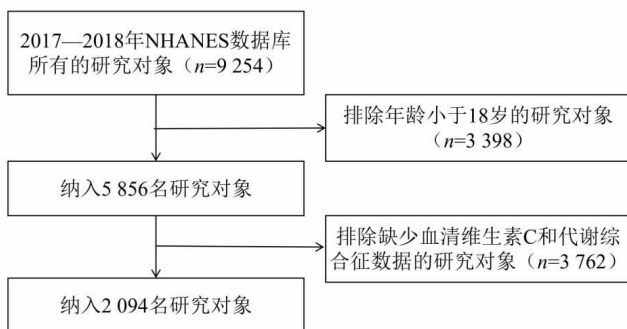


图 1 样本筛选流程

Figure 1 Sample screening flow chart

### 1.2 研究变量

NHANES 调查通过问卷调查、体格检查、血液样本分析收集了研究对象的腰围、血压、空腹血糖以及血脂水平(甘油三酯和高密度脂蛋白胆固醇)信息。MS 的诊断依据国际糖尿病联盟和美国心脏协会联合制定的诊断标准,具体为满足以下 5 项条件中的 3 项及以上:(1)腰围 $\geq 102$  cm(男性)或 $\geq 88$  cm(女性);(2)血压 $\geq 130/85$  mm Hg;(3)空腹血糖 $\geq 5.6$  mmol/L;(4)甘油三酯 $\geq 1.7$  mmol/L;(5)高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C) $< 1.0$  mmol/L(男性)或 $< 1.3$  mmol/L(女性)<sup>[7]</sup>。

血清维生素 C 测定采用等度超高效液相色谱(UPLC)结合电化学检测法,全部样品均由标准化方法采集和检测。

### 1.3 协变量评估

本研究中纳入的协变量包括性别、年龄、婚姻状况、种族、教育水平、家庭每月贫困水平类别、是否患有糖尿病、是否患有高血压、是否吸烟、身体质量指数(body mass index, BMI)、体力活动以及饮酒情况。

### 1.4 统计分析

本研究采用 R 软件的 Mice 包,用随

机森林法插补缺失值(本研究的各变量的缺失数据占比均小于 12%),将研究对象按照血清维生素 C 水平的四分位数值划分为四组,计算了不同血清维生素 C 水平组中 MS 的患病率。连续资料若符合正态分布则以 $(\bar{x} \pm s)$ 表示,使用单因素方差分析或 *t* 检验比较组间差异,对不符合正态分布的连续资料采用 $[M(P_{25}, P_{75})]$ 进行描述;分类变量用频率频数和构成比表示,并使用  $\chi^2$  检验或 Fisher 确切概率法进行比较;等级资料采用 Wilcoxon 秩和检验分析。采用多变量 logistic 回归模型探讨血清维生素 C 水平与 MS 之间的关联,以最低四分位数组为参照。模型 1 未做协变量调整;模型 2 调整了性别、年龄、种族、教育水平、体力活动、吸烟状况、饮酒情况和 BMI;模型 3 在模型 2 的基础上进一步调整了糖尿病和高血压。进一步对性别、年龄、BMI 做了亚组分析,其中,以年龄中位数分年龄亚组,其年龄范围分别是 18~50 岁和 51~80 岁;参考世界卫生组织提出的 BMI 标准进行分组,由于体重过轻组人数较少(29 人),遂以  $25 \text{ kg/m}^2$  和  $30 \text{ kg/m}^2$  为分界值,以  $\text{BMI} < 25 \text{ kg/m}^2$ 、 $25 \text{ kg/m}^2 \leq \text{BMI} < 30 \text{ kg/m}^2$ 、 $\text{BMI} \geq 30 \text{ kg/m}^2$  分为三组。本研究还进行了敏感性分析以评估结果的稳定性。所有分析均在 R 软件 4.3.1 版中进行,检验水准  $\alpha=0.05$ 。

## 2 结果

### 2.1 纳入对象基线特征

本研究共纳入 2 094 名研究对象,年龄范围为 18~80 岁,中位年龄为 50 岁,女性 1 067 人(50.96%),男性 1 027 人(49.04%),其中有 782 人(37.34%)被诊断为 MS。MS 患者的血清维生素 C 水平(8.07 mg/L)显著低于非 MS 组(9.06 mg/L),年龄显著高于未患组( $P < 0.001$ ),高血压和糖尿病的患病率高于未患组(均  $P < 0.001$ ),BMI、吸烟状况低于未患组(均  $P < 0.001$ )。见表 1。

### 2.2 血清中维生素 C 水平对成年人 MS 影响的多因素 logistic 回归分析

与血清维生素 C 最低四分位数(Q1)组相比,模型 1 中,最高四分位数(Q4)组的成年人 MS 的 OR 值为 0.50 (95% CI: 0.39~0.65,  $P < 0.001$ ),模型 2 中,Q4 组的成年人 MS 的 OR 值为 0.63(95% CI: 0.46~0.86,  $P=0.004$ ),模型 3 中,Q4 组的成年人 MS 的 OR 值为 0.66 (95% CI: 0.48~0.92,  $P=0.014$ )。趋势性检验结果表明血清维生素 C 水平越高,MS 的风险越低。见表 2。

### 2.3 亚组分析

亚组分析发现,与血清维生素 C Q1 组相比,性别分层中,女性 Q4 组显著降低 MS 风险( $OR=0.42$ , 95% CI: 0.28~0.63,  $P=0.001$ )。年龄分层中,50 岁以下组中,Q3 和 Q4 组分别显著降低 MS 风险(Q3 组  $OR=0.41$ , 95% CI: 0.25~0.68,  $P < 0.001$ ; Q4 组

OR=0.19, 95%CI: 0.13 ~ 0.30, P<0.001)。交互作用分析结果显示,年龄可影响对血清维生素 C 水平与 MS 风险之间的关联。见表 3。

表 1 研究人群特征 [M(P<sub>25</sub>, P<sub>75</sub>), n(%)]

Table 1 Characteristics of the study population [M(P<sub>25</sub>, P<sub>75</sub>), n(%)]

特征	总计 (n=2 094)	是否患有 MS		统计量	P 值
		否 (n=1 312)	是 (n=782)		
年龄 (岁)	50 (33.62)	46 (30.59)	56 (44.68)	15.20	<0.001
性别				16.80	<0.001
男性	1 027 (49.04)	657 (50.10)	370 (47.31)		
女性	1 067 (50.96)	655 (49.90)	412 (52.69)		
种族				24.39	<0.001
墨西哥裔美国人	314 (15.00)	172 (13.11)	142 (18.16)		
其他西班牙裔	186 (8.88)	103 (7.85)	83 (10.61)		
非西班牙裔黑人	470 (22.45)	325 (24.77)	145 (18.54)		
非西班牙裔白人	718 (34.29)	441 (33.62)	277 (35.42)		
其他种族	406 (19.38)	271 (20.65)	135 (17.26)		
婚姻状况				35.60	<0.001
已婚 / 同居	1 249 (59.65)	780 (59.48)	469 (59.85)		
丧偶 / 离婚 / 分居	451 (21.54)	241 (18.37)	210 (26.86)		
未婚	394 (18.81)	291 (22.18)	103 (13.18)		
教育程度				44.02	<0.001
高中以下	341 (16.29)	209 (15.93)	132 (16.88)		
高中	474 (22.64)	285 (21.72)	189 (24.17)		
高中以上	1 279 (61.07)	818 (62.34)	461 (59.08)		
家庭每月贫困水平				4.49	0.106
≤1.3	600 (28.66)	358 (27.29)	242 (30.95)		
1.3 ~ 1.85	346 (16.52)	212 (16.16)	134 (17.13)		
>1.85	1 148 (54.82)	742 (56.55)	406 (51.92)		
BMI (kg/m <sup>2</sup> )				19.54	<0.001
<25	534 (25.52)	377 (28.75)	157 (20.08)		
25 ~ 30	789 (37.69)	497 (37.89)	292 (37.35)		
≥30	771 (36.79)	438 (33.36)	333 (42.58)		
吸烟状况				23.62	<0.001
是	1 212 (57.87)	813 (61.97)	399 (51.02)		
否	882 (42.13)	499 (38.03)	383 (48.98)		
饮酒状况				0.32	0.850
是	1 809 (86.39)	1 130 (86.12)	679 (86.83)		
否	285 (13.61)	190 (13.88)	103 (13.17)		
体力活动				83.73	<0.001
有	532 (25.42)	422 (32.18)	110 (14.07)		
无	1 562 (74.58)	890 (67.82)	672 (85.93)		
高血压				187.11	<0.001
是	465 (22.21)	165 (12.58)	300 (38.39)		
否	1 629 (77.79)	1 147 (87.42)	482 (61.61)		
糖尿病				196.91	<0.001
是	398 (19.01)	127 (9.68)	271 (34.65)		
糖尿病前期	1 287 (61.47)	829 (63.20)	458 (58.57)		
否	409 (19.52)	356 (27.12)	53 (6.78)		
血清维生素 C 水平 (mg/L)				40.99	<0.001
Q1 (0.30 ~ 5.17)	524 (25.02)	288 (21.95)	236 (30.18)		
Q2 (5.17 ~ 8.81)	524 (25.02)	299 (22.79)	225 (28.78)		
Q3 (8.81 ~ 11.40)	523 (24.97)	355 (27.07)	168 (21.49)		
Q4 (11.40 ~ 63.20)	523 (24.97)	370 (28.20)	153 (19.56)		

**表 2** 血清中维生素 C 水平与成年人 MS 的 logistic 回归分析  
**Table 2** Logistic analysis of serum vitamin C level and metabolic syndrome in adults

变量	模型 1		模型 2		模型 3	
	OR (95%CI)	P 值	OR (95%CI)	P 值	OR (95%CI)	P 值
Q1	ref		ref		ref	
Q2	0.92 (0.72 ~ 1.17)	0.494	1.06 (0.79 ~ 1.43)	0.705	1.00 (0.73 ~ 1.36)	0.982
Q3	0.58 (0.45 ~ 0.74)	<0.001	0.69 (0.51 ~ 0.93)	0.017	0.69 (0.51 ~ 0.95)	0.023
Q4	0.50 (0.39 ~ 0.65)	<0.001	0.63 (0.46 ~ 0.86)	0.004	0.66 (0.48 ~ 0.92)	0.014
P 趋势	<0.001		<0.001		0.002	

注：模型 1 未做协变量调整；模型 2 调整了性别、年龄、种族、婚姻、教育水平、体力活动、吸烟状况、饮酒情况和 BMI；模型 3 在模型 2 的基础上进一步调整了糖尿病高血压。

**表 3** 不同性别、年龄、BMI 血清维生素 C 与 MS 的相关性分析

**Table 3** Analysis of the correlation between serum vitamin C and metabolic syndrome in different gender, age and BMI

分组	Q1	Q2 OR(95%CI)	P 值	Q3 OR(95%CI)	P 值	Q4 OR(95%CI)	P 值	交互作用 P 值
性别								0.117
男性	ref	0.73 (0.49 ~ 1.08)	0.647	0.56 (0.39 ~ 1.81)	0.817	0.72 (0.43 ~ 1.21)	0.259	
女性	ref	1.01 (0.68 ~ 1.50)	0.976	0.78 (0.54 ~ 1.13)	0.994	0.42 (0.28 ~ 0.63)	0.001	
年龄(岁)								<0.001
<50	ref	0.71 (0.48 ~ 1.04)	0.382	0.41 (0.25 ~ 0.68)	<0.001	0.19 (0.13 ~ 0.30)	<0.001	
≥50	ref	1.85 (1.19 ~ 2.86)	0.003	1.46 (0.92 ~ 2.33)	0.275	0.86 (0.52 ~ 1.42)	0.403	
BMI(kg/m <sup>2</sup> )								0.091
<25	ref	0.57 (0.30 ~ 1.07)	0.082	0.68 (0.37 ~ 1.21)	0.190	1.40 (0.81 ~ 2.40)	0.227	
25 ~ 30	ref	0.72 (0.36 ~ 1.41)	0.346	0.69 (0.34 ~ 1.35)	0.285	0.60 (0.29 ~ 1.18)	0.143	
≥30	ref	0.68 (0.46 ~ 1.01)	0.060	0.96 (0.66 ~ 1.40)	0.835	1.06 (0.74 ~ 1.52)	0.749	

注：性别亚组调整了年龄、种族、婚姻、教育程度、BMI、家庭每月贫困水平、体力活动、吸烟状况、饮酒状况、糖尿病、高血压；年龄亚组调整了性别、种族、婚姻、教育程度、BMI、家庭每月贫困水平、体力活动、吸烟状况、饮酒状况、糖尿病、高血压；BMI 亚组调整了年龄、性别、种族、婚姻、教育程度、家庭每月贫困水平、体力活动、吸烟状况、饮酒状况、糖尿病、高血压。

**2.4 敏感性分析** 结果显示,增加慢性肾病变量后, Q4 组的 OR 值为 0.66(95%CI: 0.48 ~ 0.92, P=0.014)。去除饮酒变量后,Q3、Q4 组 OR 值分别为 0.69(95%CI: 0.50 ~ 0.95, P=0.026)、0.66(95%CI: 0.48 ~ 0.92, P=

0.015)。同时调整这两变量后,Q4 组与最低组相比, MS 风险降低 34%(95%CI: 0.48 ~ 0.92, P=0.015), 上述证据支持本研究结果的稳健性。见表 4。

**表 4** 血清维生素 C 与 MS 关联的敏感性分析

**Table 4** Sensitivity analysis of the association between serum vitamin C and metabolic syndrome

分组	增加慢性肾病变量		去除饮酒变量		增加慢性肾病变量和去除饮酒变量	
	OR (95%CI)	P 值	OR (95%CI)	P 值	OR (95%CI)	P 值
Q1	ref		ref		ref	
Q2	0.99(0.73 ~ 1.35)	0.982	0.99(0.73 ~ 1.35)	0.961	0.60(0.41 ~ 0.87)	0.960
Q3	0.70(0.50 ~ 0.96)	0.024	0.69(0.50 ~ 0.95)	0.026	0.62(0.44 ~ 0.89)	0.026
Q4	0.66(0.48 ~ 0.92)	0.014	0.66(0.48 ~ 0.92)	0.015	0.66(0.48 ~ 0.92)	0.015

注：均在模型 3 的基础上(年龄、性别、种族、婚姻、教育程度、BMI、家庭每月贫困水平、体力活动、吸烟状况、饮酒状况、糖尿病、高血压)增减变量。

### 3 讨论

本研究结果表明,较高的血清维生素 C 水平与 MS 风险显著降低相关,尤其在女性和 50 岁以下群体中更为明显。这一发现进一步支持了维生素 C 作为抗氧化剂在防控 MS 风险中的重要意义<sup>[8]</sup>。Sunmin

Park 等<sup>[9]</sup>在韩国的一项包含 12 317 名成人的横断面研究中发现,较高的维生素 C 水平,特别是在女性中,与较低的 MS 患病率相关。一项在新西兰进行的随机对照研究发现,持续两周额外补充维生素 C 1 000 mg/d 能改善 MS 患者的代谢指标,提高 MS 患者的免

疫力<sup>[10]</sup>。本研究基于美国 NHANES 数据库,利用血清学检测数据,纳入了多元种族样本,在理化检验水平上直观反映出维生素 C 的水平,进一步支持了维生素 C 在降低代谢综合征风险中的作用,尤其在女性和 50 岁以下群体中效果显著。

已有研究显示,维生素 C 不仅能通过清除体内自由基来减轻氧化应激,还能通过增强细胞的抗氧化能力来改善胰岛素敏感性,从而降低 MS 的发生风险<sup>[11]</sup>。氧化应激是 MS 的核心病理机制之一<sup>[12]</sup>。Swastika 等<sup>[13]</sup>的研究指出,维生素 C 能够通过抑制活性氧(reactive oxygen species, ROS)的生成,降低脂质过氧化和低密度脂蛋白的氧化,从而预防血脂异常和动脉硬化,降低 MS 的发生风险。此外,维生素 C 在减轻慢性低度炎症方面也显示出积极作用。研究显示,维生素 C 可改善肠道屏障功能,减少内毒素(Lipopolysaccharide, LPS)的吸收,通过抑制核因子激活的 B 细胞  $\kappa$ -轻链增强(nuclear Factor kappa-light-chain-enhancer of activated B cells, NF- $\kappa$ B) 通路,降低炎症因子如肿瘤坏死因子- $\alpha$ (tumor necrosis factor- $\alpha$ , TNF- $\alpha$ ) 和白细胞介素-6(IL-6)的表达,从而减轻炎症反应<sup>[14]</sup>。维生素 C 可通过减轻慢性炎症,改善胰岛素抵抗、脂肪组织炎症和内脏脂肪蓄积等 MS 的关键病理过程,调节代谢平衡,降低血糖、血脂及血压水平,从而有效降低代谢综合征的发生风险<sup>[15]</sup>。

本研究的亚组分析发现,维生素 C 的保护作用在女性和 50 岁以下人群中更为显著。女性体内的雌激素具备显著的抗炎保护作用,可以有效减轻由氧化应激引起的炎症反应<sup>[16]</sup>。雌激素可上调超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)和谷胱甘肽过氧化物酶(glutathione peroxidase, GSH-Px)的表达,从而减少氧化应激对细胞的损伤,这些机制可能间接增强了维生素 C 等抗氧化剂的效果<sup>[17]</sup>。Khaw 等人<sup>[18]</sup>也发现年轻人体内的维生素 C 水平与代谢健康的关联更为明显。这可能是因为年轻人的基础代谢率和细胞修复能力更强,因此维生素 C 在年轻人中的生物利用度和健康效果更明显<sup>[19]</sup>。

增加慢性肾病变量和去除饮酒情况的敏感性分析发现,在排除饮酒变量后,血清维生素 C 与 MS 的负相关性依然显著,血清维生素 C 的保护作用依旧明显,表明本研究结果具有稳健性。既往研究表明,慢性肾病患者的氧化应激水平显著升高,补充维生素 C 可以显著降低氧化应激标志物,从而对这些患者产生更强的保护作用<sup>[20]</sup>。此外,饮酒会显著消耗体内的维生素 C 储备,增加氧化应激负担<sup>[21]</sup>。

本研究的优点在于其基于有代表性的全国性数

据,调整了多种潜在的混杂因素,增强了研究结果的可靠性和外部效度。但是本研究仍存在一些局限性。首先,由于本研究为横断面设计,无法确立因果关系,未来需要进行前瞻性研究对结果进一步验证。其次,尽管考虑了多种潜在混杂因素,但仍可能存在未调整的偏倚影响结果的准确性。最后,本研究结果主要基于美国人群,未来在不同地区人群中验证发现的普遍性也是必要的。

综上所述,本研究结果支持维生素 C 在改善代谢健康中的重要作用。未来的研究应进一步探讨血清维生素 C 降低 MS 风险的具体机制,以及其在不同人群中的影响,以期从营养角度制定防控 MS 的公共健康策略提供参考。

**利益冲突声明** 本研究不存在任何利益冲突

#### 参考文献

- [1] Obesity EM, Disease C. And role of vitamin C on inflammation: a review of facts and underlying mechanisms [J]. *Inflammopharmacology*, 2017, 25(3): 313-328.
- [2] Mensah GA, Fuster V, Murray C, et al. Global burden of cardiovascular diseases and risks collaborators. global burden of cardiovascular diseases and risks, 1990-2022 [J]. *Journal of the American College of Cardiology*, 2023, 82(25): 2350-2473.
- [3] Carr AC, Maggini S. Vitamin C and immune function [J]. *Nutrients*, 2017, 9(11): 1211.
- [4] Wong SK, Chin KY, Ima-Nirwana S. Vitamin C: A review on its role in the management of metabolic syndrome [J]. *International Journal of Medical Sciences*, 2020, 17(11): 1625-1638.
- [5] 陈轶虹, 邓美芳, 陈献红. 膳食维生素 C 与 MS 风险的 meta 分析 [J]. *实用预防医学*, 2022, 29(6): 667-671. Chen YH, Deng MF, Chen XH. Meta-analysis of dietary vitamin C and risk of metabolic syndrome [J]. *Pract Prev Med*, 2022, 29(6): 667-671. (In Chinese)
- [6] Kim J, Choi YH. Physical activity, dietary vitamin C, and metabolic syndrome in the Korean adults: the Korea National Health and Nutrition Examination Survey 2008 to 2012 [J]. *Public Health*, 2016, 135: 30-37.
- [7] Alberti KGMM, Eckel RH, Grundy SM, et al. Harmonizing the metabolic syndrome: a joint interim statement of the International Diabetes Federation Task Force on Epidemiology and Prevention; National Heart, Lung, and Blood Institute; American Heart Association; World Heart Federation; International Atherosclerosis Society; and International Association for the Study of Obesity [J]. *Circulation*, 2009, 120(16): 1640-1645.
- [8] Mumtaz S, Ali S, Tahir HM, et al. Aging and its treatment with vitamin C: a comprehensive mechanistic review [J]. *Molecular Biology Reports*, 2021, 48(12): 8141-8153.
- [9] Park S, Kim K, Lee BK, et al. A healthy Diet rich in Calcium and vitamin C is inversely associated with metabolic syndrome risk in Korean adults from the KNHANES 2013-2017 [J]. *Nutrients*, 2021, 13(4): 1312.
- [10] Vlasniuk E, Zawari SS, Whitehead R, et al. A high vitamin C

- m micronutrient supplement is unable to attenuate inflammation in People with metabolic syndrome but May improve metabolic health indices: a randomised controlled trial [J]. *Antioxidants*, 2024, 13(4): 404.
- [ 11 ] Njus D, Kelley PM, Tu YJ, et al. Ascorbic acid: The chemistry underlying its antioxidant properties [J]. *Free Radical Biology & Medicine*, 2020, 159: 37–43.
- [ 12 ] Vona R, Gambardella L, Cittadini C, et al. Biomarkers of oxidative stress in metabolic syndrome and associated diseases [J]. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2019, 2019: 8267234.
- [ 13 ] Das S, Reddy RC, Chadchan KS, et al. Nickel and oxidative stress: cell signaling mechanisms and protective role of vitamin C [J]. *Endocrine, Metabolic & Immune Disorders Drug Targets*, 2020, 20(7): 1024–1031.
- [ 14 ] Traber MG, Buettner GR, Bruno RS. The relationship between vitamin C status, the gut–liver axis, and metabolic syndrome [J]. *Redox Biology*, 2019, 21: 101091.
- [ 15 ] Saltiel AR, Olefsky JM. Inflammatory mechanisms linking obesity and metabolic disease[J]. *Journal of Clinical Investigation*, 2017, 127(1): 1–4.
- [ 16 ] Xiang D, Liu Y, Zhou SJ, et al. Protective effects of estrogen on cardiovascular disease mediated by oxidative stress [J]. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2021, 2021: 5523516.
- [ 17 ] Unfer TC, Figueiredo CG, Zanchi MM, et al. Estrogen plus progesterone increase superoxide dismutase and total antioxidant capacity in postmenopausal women[J]. *Climacteric*, 2015, 18(3): 379–388.
- [ 18 ] Takalani NB, Monageng EM, Mohlala K, et al. Role of oxidative stress in male infertility[J]. *Reprod Fertil*, 2023, 4(3): e230024.
- [ 19 ] Hermsdorff HHH, Barbosa KBF, Volp ACP, et al. Vitamin C and fibre consumption from fruits and vegetables improves oxidative stress markers in healthy young adults[J]. *British Journal of Nutrition*, 2012, 107(8): 1119–1127.
- [ 20 ] Daenen K, Andries A, Mekahli D, et al. Oxidative stress in chronic kidney disease[J]. *Pediatric Nephrology*, 2019, 34(6): 975–991.
- [ 21 ] Sönmez MF, Narin F, Balcioglu E. Melatonin and vitamin C attenuates Alcohol–Induced oxidative stress in aorta [J]. *Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology*, 2009, 105(6): 410–415.

收稿日期: 2024–11–27

## 第 778 页)

- characteristics and changing trends of malaria in Guiping city, Guangxi from 1986 to 2022 [J]. *Journal of Tropical Medicine*, 2023, 23(9): 1314–1317. (In Chinese)
- [ 18 ] Rogerson SJ, Aitken EH. Malaria in pregnancy: baby steps[J]. *Current Opinion in Infectious Diseases*, 2024, 37(5): 320–326.
- [ 19 ] 田睿, 张奕, 田祎, 等. 2014–2023 年北京市疟疾入境病例的流行病学特征分析 [J/OL]. *寄生虫与医学昆虫学报*: 1–11 [2025–01–26]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3158.R.202412.12.1149.002.html>.  
Tian R, Zhang Y, Tian Y, et al. Epidemiological characteristics analysis of imported malaria cases in Beijing from 2014 to 2023 [J/OL]. *Journal of Parasites and Medical Entomology*: 1–11 [2025–01–26]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3158.R.202412.12.1149.002.html>. (In Chinese)
- [ 20 ] Ashton RA, Chanda B, Chishya C, et al. Why does malaria transmission continue at high levels despite Universal vector control? Quantifying persistent malaria transmission by *Anopheles funestus* in Western Province, Zambia[J]. *Parasites & Vectors*, 2024, 17(1): 429.
- [ 21 ] GBD 2021 Causes of Death Collaborators. Global burden of 288 causes of death and Life expectancy decomposition in 204 countries and territories and 811 subnational locations, 1990–2021: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2021[J]. *Lancet*, 2024, 403(10440): 2100–2132.
- [ 22 ] 卢添欢, 宇传华. 基于全球视角的中国痴呆症疾病负担现状及趋势分析[J]. *中华疾病控制杂志*, 2022, 26(6): 684–690.  
Lu TH, Yu CH. Analysis on the status and trend of dementia burden in China based on the global perspective [J]. *Chinese Journal of Disease Control & Prevention*, 2022, 26(6): 684–690. (In Chinese)

收稿日期: 2024–11–25

## (上接第 794 页)

- [J]. *Psychiatry Research*, 1989, 28(2): 193–213.
- [ 22 ] Benjamini Y, Hochberg Y. Controlling the false discovery rate: a practical and powerful approach to multiple testing [J]. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 1995, 57(1): 289–300.
- [ 23 ] 张丽, 袁冠湘, 刘佩意, 等. 男性静坐时长与精液质量关联性 [J]. *中国公共卫生*, 2022, 38(12): 1549–1554.  
Zhang L, Yuan GX, Liu PY, et al. Association between sedentary time and semen quality in adult men: a hospital–based cross–sectional survey [J]. *Chinese Journal of Public Health*, 2022, 38(12): 1549–1554. (In Chinese)
- [ 24 ] Xu YN, Liang MJ, Ugbolue UC, et al. Effect of physical exercise under different intensity and antioxidative supplementation for plasma superoxide dismutase in healthy adults: systematic review and network Meta–Analysis [J]. *Frontiers in Physiology*, 2022, 13: 707176.
- [ 25 ] Lame–Jouybari AH, Abbasalizad–Farhangi M. Effects of eight–week regular high–intensity interval training and hemp (*Cannabis sativa* L.) seed on total testosterone level among sedentary young males: double–blind, randomized, controlled clinical trial [J]. *Endocrine*, 2024, 84(1): 273–286.

收稿日期: 2024–11–14