

· 论著 · 一次研究 ·

饮食质量与肌少症性肥胖的关联研究： 基于NHANES数据库

冯 芸¹, 郭鉴葵², 龚 杰², 周子琪³, 张誉滢¹, 柳 园²

1. 无锡市锡山人民医院/东南大学附属中大医院无锡分院营养科 (江苏无锡 214105)

2. 四川大学华西医院临床营养科 (成都 610041)

3. 深圳市第三人民医院临床营养科 (广东深圳 518112)

【摘要】目的 探讨饮食质量与肌少症性肥胖 (SO) 之间的关联。**方法** 基于 2011—2018 年美国国家健康与营养调查数据, 采用加权多元 Logistic 回归分析健康饮食指数 2020 (HEI-2020) 与 SO 之间的关联及交互作用, 并分析炎症、代谢、营养状况在 HEI-2020 与 SO 关系中的中介效应。**结果** 共纳入 8 602 名调查对象, SO 患者 504 例, SO 加权患病率约为 5.33%, SO 组 HEI-2020 评分偏低。多元 Logistic 回归分析表明, 在调整年龄、性别、生活方式、相关合并症、能量摄入等因素后, 与低 HEI-2020 评分相比, 中 HEI-2020 评分 [OR=0.73, 95%CI (0.54, 0.99)]、高 HEI-2020 评分 [OR=0.50, 95%CI (0.35, 0.72)] 与 SO 呈负相关。亚组分析显示, 除低收入水平、久坐时间 ≥ 8 h 人群外, 高 HEI-2020 评分均与 SO 呈负相关。未发现年龄、性别、受教育程度、收入水平、久坐时间对 HEI-2020 和 SO 的关联存在交互作用。中介分析显示, 全身炎症反应指数 (SIRI)、糖化血红蛋白、非高密度脂蛋白胆固醇与高密度脂蛋白胆固醇之比 (NHHR)、白蛋白、血浆维生素 D 在 HEI-2020 与 SO 之间负向介导。**结论** 饮食质量与 SO 呈负相关, HEI-2020 能通过 SIRI、糖化血红蛋白、NHHR、白蛋白、血浆维生素 D 的中介效应影响 SO, 应加强饮食健康宣教, 提高居民饮食质量, 促进健康老龄化。

【关键词】 饮食质量; 肌少症性肥胖; 健康饮食指数; 中介分析**【中图分类号】** R151.4+1; R589.2 **【文献标识码】** A

Association between dietary quality and sarcopenic obesity: based on the NHANES database

FENG Yun¹, GUO Jiankui², GONG Jie², ZHOU Ziqi³, ZHANG Yuying¹, LIU Yuan²

1. Department of Nutrition, Wuxi Xishan People's Hospital/Zhongda Hospital of Southeast University, Wuxi Branch, Wuxi 214105, Jiangsu Province, China

2. Department of Clinical Nutrition, West China Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, China

3. Department of Clinical Nutrition, Shenzhen Third People's Hospital, Shenzhen 518112, Guangdong Province, China

Corresponding author: LIU Yuan, Email: liuyuan_7502@163.com

【Abstract】Objective To explore the association between dietary quality and sarcopenic obesity (SO). **Methods** Based on data from the National Health and Nutrition Examination

DOI: 10.12173/j.issn.1004-5511.202505030

基金项目: 国家重点研发计划“老年人群营养健康食品创制和产业化示范”专项 (2023YFF1104405); 广东省重点领域研发计划 (2019B020213002)

通信作者: 柳园, 副教授, 副主任技师, Email: liuyuan_7502@163.com

Survey (NHANES) in the United States from 2011 to 2018, participants in four survey cycles were selected as the study subjects. Weighted multivariate Logistic regression analysis was used to explore the association and interaction between Healthy Eating Index 2020(HEI-2020) and SO, and the mediating effects of inflammation, metabolism, and nutritional status on the relationship between HEI-2020 and SO were analyzed. **Results** A total of 8,602 participants were included, of whom 504 had SO, with a weighted prevalence of approximately 5.33%. The SO group had lower HEI-2020 scores. Multivariate Logistic regression analysis showed that, after adjusting for age, sex, lifestyle, related comorbidities, and energy intake, compared with low HEI-2020 scores, medium HEI-2020 scores [OR=0.73, 95%CI (0.54, 0.99)] and high HEI-2020 scores [OR=0.50, 95%CI (0.35, 0.72)] were negatively correlated with SO. Subgroup analysis showed that, except for low-income groups and those with sedentary time ≥ 8 hours, high HEI-2020 scores were negatively correlated with SO. No interaction was found between age, sex, education level, income level, or sedentary time on the association between HEI-2020 and SO. Mediation analysis showed that systemic inflammatory response index (SIRI), glycated hemoglobin, non-HDL cholesterol to HDL cholesterol ratio (NHHR), albumin, and plasma vitamin D negatively mediated the relationship between HEI-2020 and SO. **Conclusion** Dietary quality is negatively correlated with SO. HEI-2020 can affect SO through the mediating effects of SIRI, glycated hemoglobin, NHHR, albumin, and plasma vitamin D. We should strengthen dietary health education, improve the dietary quality of residents, and promote healthy aging.

【Keywords】 Dietary quality; Sarcopenic obesity; Healthy eating index; Mediation analysis

肌少症性肥胖 (sarcopenic obesity, SO) 是一种肌肉减少症和肥胖同时存在的疾病状态, 临床表现为肌肉质量衰减伴肌肉功能减退和体内脂肪过度堆积并存^[1]。随着年龄的增长, 人体新陈代谢逐渐减缓, SO 对老年人群的健康威胁程度显著提升^[2-3]。既往研究显示, SO 与认知减退、心血管疾病等多种疾病的发生、发展及预后密切相关^[4-5]。因此, 识别和预防 SO 相关风险因素对预防 SO, 促进健康老龄化具有重要意义。饮食是生活方式干预的重要组成部分, 已有研究证明维生素 D、蛋白质等营养素摄入与 SO 之间存在关联^[6-7]。但饮食是一个整体, 而目前的研究多聚焦于某种营养素, 尚缺乏整体饮食质量与 SO 之间关系的研究。健康饮食指数 2020 (Healthy Eating Index 2020, HEI-2020) 是由美国国家癌症研究所和美国农业部开发并更新的饮食质量评估工具, 旨在评估饮食摄入与《2020—2025 年美国居民膳食指南》的一致程度^[8]。HEI 与包括骨质疏松症、衰弱在内的多种疾病和死亡相关, 但其与 SO 之间的关联尚未充分探索^[9-11]。此外, 既往研究显示, 炎症、代谢 (血糖、血脂) 及营养状况 (白蛋白、维生素 D) 与肌肉减少症或肥胖相关, 但与饮食质量和 SO 之间的关系尚未明确^[12-15]。因此, 鉴于全球老龄化趋势及 SO 的潜

在严重影响, 本研究基于美国国家健康与营养检查研究 (National Health and Nutrition Examination Survey, NHANES), 探究饮食质量 (HEI-2020) 与 SO 的关联, 并探索潜在中介机制, 为降低 SO 风险, 推动健康老龄化提供参考。

1 资料与方法

1.1 研究对象

NHANES 是由美国疾病预防控制中心国家卫生统计中心开展的多阶段、概率抽样研究, 旨在评估美国居民的健康和营养状况。NHANES 每两年更新一次, 收集了有关社会人口学、健康状况、健康指标、生活方式、环境暴露等健康信息。NHANES 已获得美国国家卫生统计中心伦理审查委员会的批准, 所有参与者均签署了知情同意书。

本研究纳入了 4 个 NHANES 调查周期 (2011—2012、2013—2014、2015—2016、2017—2018 年) 的 39 156 名参与者。排除标准: ①年龄 < 20 岁; ②饮食、SO 诊断和重要协变量缺失。

1.2 膳食摄入及饮食质量评估

NHANES 使用 24 h 膳食回顾法调查参与者的膳食摄入情况。参与者面对面进行第一次膳食调查, 并在第 3~10 d 内通过电话完成第二次调查。

根据美国农业部膳食研究食品和营养数据库处理膳食数据。对于完成两次调查的参与者,纳入两次膳食调查数据分析,只完成一次调查的参与者则纳入第一次调查数据分析。采用 HEI-2020 评估参与者饮食质量^[8]。HEI-2020 由 13 个成分构成,包括 9 个充足性评分(总水果、完整水果、总蔬菜、绿色蔬菜和豆类、全谷物、乳制品、总蛋白质食品、海鲜和植物蛋白、脂肪酸)和 4 个适度性评分(精制谷物、钠、添加糖、饱和脂肪),评分标准见附表 1^[8]。HEI-2020 总分范围为 0~100,分数越高表示饮食质量越好,饮食摄入与《2020—2025 年美国居民膳食指南》的一致程度越高。HEI-2020 根据加权三分位数分为三个等级:低(< 44.290)、中($44.290 \sim < 55.296$)、高(≥ 55.296)。

1.3 SO 定义

NHANES 采用双能 X 射线吸收法测定参与者肌肉质量,计算四肢瘦体重(appendicular lean mass, ALM), $ALM = \text{手臂及腿部瘦体重总和}(\text{kg})$,并使用电子数字秤及测距仪测量参与者体重和身高,计算体重指数(body mass index, BMI), $BMI = \text{体重} / \text{身高}^2 (\text{kg}/\text{m}^2)$ 。

SO 的诊断包括肌肉减少症和肥胖两部分,同时满足肌肉减少症和肥胖才能诊断为 SO^[1]。其中,肌肉减少症根据美国国立卫生研究院标准,采用根据 BMI 校正的 ALM 进行定义,即肌肉减少症定义为男性 $ALM/BMI < 0.789$,女性 $ALM/BMI < 0.512$ ^[16];肥胖根据世界卫生组织标准,采用 BMI 进行定义, $BMI \geq 30 \text{ kg}/\text{m}^2$ 则归为肥胖^[17]。根据肌肉减少症和肥胖诊断情况将参与者分为两组:SO 组、非 SO 组(包括肥胖但无肌少症、肌少症但无肥胖、两者均无即健康状态)。

1.4 协变量

通过问卷访谈收集以下重要协变量:年龄、性别、种族、收入水平(根据家庭收入贫困比率划分, < 1.3 为低收入、 $1.3 \sim < 3.5$ 为中等收入、 ≥ 3.5 为高收入)、受教育程度、久坐时间、吸烟、饮酒、糖尿病(糖尿病、糖尿病前期、健康)、高血压。从实验室数据中提取单核细胞计数、中性粒细胞计数、淋巴细胞计数、总胆固醇(total cholesterol, TC)、高密度脂蛋白胆固醇(high-density lipoprotein cholesterol, HDL-C)、糖化血红蛋白、血浆维生素 D 及白

蛋白数据。采用全身炎症反应指数(systemic inflammatory response index, SIRI)评估参与者炎症状态^[12, 18],采用非 HDL-C 与 HDL-C 比值(non-high-density lipoprotein cholesterol to high-density lipoprotein cholesterol ratio, NHHR)评估参与者脂肪代谢情况^[19]。

1.5 统计学分析

鉴于 NHANES 的复杂概率抽样设计,根据 NHANES 分析指南,纳入并调整第一天 24 h 膳食回顾权重(WTDRD1)进行分析。满足正态分布的计量资料以加权均数和加权标准差($\bar{x} \pm s$)表示,组间比较采用加权 t 检验;非正态分布的计量资料以加权中位数和加权四分位数 $[M(P_{25}, P_{75})]$ 表示,组间比较采用加权 Wilcoxon 检验。计数资料以例数和加权百分比($n, \%$)表示,组间比较采用加权 χ^2 检验。采用加权多元 Logistic 回归分析探讨 HEI-2020 与 SO 之间的相关性,计算比值比(odds ratio, OR)和 95% 置信区间(confidence interval, CI)。以 SO 为因变量,以 HEI-2020 分组为自变量构建了三组模型:模型 1 为未经调整的粗模型;模型 2 调整了人口统计学信息(年龄、性别、种族、收入水平、受教育程度)和生活方式(久坐时间、吸烟、饮酒);模型 3 在模型 2 的基础上进一步调整了相关合并症(糖尿病、高血压)及能量摄入。同时,按年龄、性别、受教育程度、收入水平及久坐时间分层进行亚组分析,并将相关变量与 HEI-2020 分组的乘积纳入回归模型,进行相乘交互作用分析。此外,采用 R 软件 Mediation 包使用类贝叶斯蒙特卡洛近似法进行 1 000 次重复抽样,分析 SIRI、糖化血红蛋白、NHHR、白蛋白及血浆维生素 D 在 HEI-2020 与 SO 关系中的中介效应。为进一步验证结果稳定性,研究筛选出不伴有肌少症及肥胖的健康人群为对照组,采用加权多元 Logistic 回归分析探索 HEI-2020 与 SO 之间的关系,同时排除能量摄入不合理($< 500 \text{ kcal}/\text{d}$ 或 $> 5 000 \text{ kcal}/\text{d}$)的样本进行敏感性分析^[20]。所有统计分析均使用 R 4.5.1 软件进行,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般情况

纳入 8 602 名参与者,SO 患者为 504 例,SO

加权患病率约为 5.33%。非 SO 组与 SO 组在年龄、受教育程度、收入水平、饮酒频率、糖尿病、高血压、NHHR、糖化血红蛋白、SIRI、能量摄入、HDL-C、血浆维生素 D、白蛋白、HEI-2020 总分及不同等级方面存在统计学差异 ($P < 0.05$) (表1)。

在充足性评分中, SO 组总水果、完整水果、海鲜和植物蛋白、乳制品评分显著低于非 SO 组 ($P < 0.05$) ; 在适度性评分中, SO 组精制谷物评分及添加糖评分显著低于非 SO 组 ($P < 0.05$) (附表 2)。

2.2 饮食质量与SO的关联分析

HEI-2020 与 SO 之间的关联见表 2。在未调整的模型 1 中, 与低 HEI-2020 评分组相比,

HEI-2020 评分与 SO 负相关。在调整了人口统计学信息、生活方式的模型 2 和进一步调整了合并症及能量摄入的模型 3 中, HEI-2020 依旧与 SO 负相关, 其中与低 HEI-2020 评分组相比, 高 HEI-2020 评分组的 OR 分别为 0.50[95%CI (0.35, 0.72)]、0.50[95%CI (0.35, 0.72)]。

2.3 亚组分析及交互作用分析

亚组分析显示, 除低收入水平、久坐时间 ≥ 8 h 的人群外, 高 HEI-2020 均与低 SO 相关, 特别是在 45 岁以上、本科以下及久坐时间 < 8 h 的人群中, 中 HEI-2020 评分依旧与低 SO 相关。交互作用结果显示, 年龄、性别、受教育程度、收入水平和久坐时间对 HEI-2020 和 SO 的关联不存在交互作用 ($P > 0.05$) , 见附件图 1。

表1 纳入参与者基本情况及总体饮食质量 (n, %)

Table 1. Basic information and general dietary quality of the included participants (n, %)

特征	总体 (n=8 602)	非SO组 (n=8 098)	SO组 (n=504)	Z/t/ χ^2 值	P值
年龄 (岁) *	39.0 (29.0, 50.0)	39.0 (28.0, 49.0)	45.0 (32.0, 55.0)	4.83	<0.001
年龄分组 (岁)				23.81	<0.001
<45	5 465 (61.83)	5 224 (62.60)	241 (48.05)		
≥ 45	3 137 (38.17)	2 874 (37.40)	263 (51.95)		
性别				0.08	0.780
男性	4 285 (50.50)	4 054 (50.45)	231 (51.38)		
女性	4 317 (49.50)	4 044 (49.55)	273 (48.62)		
种族				36.35	<0.001
墨西哥裔美国人	1 257 (10.52)	1 070 (9.62)	187 (26.40)		
非西班牙裔白人	3 222 (62.14)	3 063 (62.73)	159 (51.72)		
非西班牙裔黑人	1 745 (10.59)	1 701 (10.93)	44 (4.59)		
其他西班牙裔	847 (6.91)	771 (6.67)	76 (11.06)		
其他种族	1 531 (9.84)	1 493 (10.04)	38 (6.23)		
受教育程度				17.55	<0.001
本科以下	3 293 (33.70)	3 018 (32.99)	275 (46.28)		
本科及以上	5 309 (66.30)	5 080 (67.01)	229 (53.72)		
收入水平				15.41	<0.001
低收入	2 730 (23.91)	2 522 (23.35)	208 (33.84)		
中等收入	3 124 (34.37)	2 928 (34.05)	196 (39.94)		
高收入	2 748 (41.73)	2 648 (42.60)	100 (26.22)		
吸烟				0.42	0.644
从不吸烟	5 192 (58.64)	4 881 (58.60)	311 (59.24)		
曾经吸烟	1 474 (19.64)	1 373 (19.54)	101 (21.28)		
正在吸烟	1 936 (21.73)	1 844 (21.85)	92 (19.47)		
饮酒				10.57	<0.001
从不饮酒	1 049 (9.26)	960 (8.95)	89 (14.85)		
过去一年未饮酒	999 (10.47)	908 (10.20)	91 (15.31)		
每月1杯及以下	2 679 (28.45)	2 507 (28.20)	172 (32.92)		
每月1杯以上	3 875 (51.81)	3 723 (52.65)	152 (36.92)		
糖尿病				38.00	<0.001
正常	7 804 (92.65)	7 414 (93.46)	390 (78.23)		
糖尿病前期	160 (1.56)	143 (1.47)	17 (3.10)		
糖尿病	638 (5.79)	541 (5.07)	97 (18.67)		

续表1

特征	总体 (n=8 602)	非SO组 (n=8 098)	SO组 (n=504)	Z/t/ χ^2 值	P值
高血压				24.90	<0.001
否	6 582 (77.46)	6 261 (78.27)	321 (62.94)		
是	2 020 (22.54)	1 837 (21.73)	183 (37.06)		
久坐时间 (h)				1.63	0.207
<8	5 353 (60.58)	5 029 (60.81)	324 (56.37)		
≥8	3 249 (39.42)	3 069 (39.19)	180 (43.63)		
能量摄入 (kcal) *	2 037 (1 590, 2 615)	2 050 (1 599, 2 625)	1 881 (1 451, 2 487)	-2.90	0.005
TC (mmol/L) *	4.89 (4.24, 5.59)	4.86 (4.24, 5.59)	4.99 (4.42, 5.74)	1.83	0.072
HDL-C (mmol/L) *	1.29 (1.09, 1.58)	1.32 (1.09, 1.60)	1.16 (0.98, 1.37)	-6.52	<0.001
NHHR*	2.67 (1.91, 3.66)	2.64 (1.88, 3.62)	3.25 (2.49, 4.11)	7.06	<0.001
糖化血红蛋白 (%) *	5.40 (5.10, 5.60)	5.30 (5.10, 5.60)	5.60 (5.30, 6.10)	8.63	<0.001
血浆维生素D (nmol/L) *	64.50 (49.00, 80.90)	65.00 (49.60, 81.20)	54.20 (39.70, 70.40)	-6.02	<0.001
白蛋白 (g/L) #	43.37 ± 3.37	43.48 ± 3.34	41.45 ± 3.21	-8.17	<0.001
单核细胞计数 (× 10 ³ 个/μL) *	0.50 (0.40, 0.70)	0.50 (0.40, 0.70)	0.60 (0.50, 0.70)	2.20	0.031
中性粒细胞计数 (× 10 ³ 个/μL) *	4.10 (3.20, 5.20)	4.00 (3.10, 5.10)	4.90 (4.00, 6.30)	9.34	<0.001
淋巴细胞计数 (× 10 ³ 个/μL) *	2.10 (1.70, 2.60)	2.10 (1.70, 2.60)	2.30 (1.90, 2.90)	4.83	<0.001
SIRI*	1.02 (0.72, 1.47)	1.01 (0.71, 1.45)	1.22 (0.86, 1.71)	5.19	<0.001
HEI-2020总分#	50.51 ± 12.20	50.69 ± 12.22	47.36 ± 11.27	-4.53	<0.001
HEI-2020分组				8.84	<0.001
低	2 936 (32.94)	2 726 (32.33)	210 (43.77)		
中	2 838 (33.02)	2 672 (33.06)	166 (32.24)		
高	2 828 (34.04)	2 700 (34.61)	128 (23.99)		

注：*不符合正态分布的连续变量以中位数和四分位数[M (P₂₅, P₇₅)]表示；#符合正态分布的连续变量以均数和标准差($\bar{x} \pm s$)表示；SO.肌少症性肥胖；TC.总胆固醇；HDL-C.高密度脂蛋白胆固醇；NHHR.非高密度脂蛋白胆固醇与高密度脂蛋白胆固醇比值；SIRI.全身炎症反应指数；HEI-2020.健康饮食指数2020。

表2 HEI-2020与SO之间的关联

Table 2. Association between HEI-2020 and SO

模型	OR值 (95%CI)	P值
模型1		
低	Ref.	
中	0.72 (0.55, 0.95)	0.021
高	0.51 (0.36, 0.72)	<0.001
模型2		
低	Ref.	
中	0.71 (0.52, 0.95)	0.023
高	0.50 (0.35, 0.72)	<0.001
模型3		
低	Ref.	
中	0.73 (0.54, 0.99)	0.041
高	0.50 (0.35, 0.72)	<0.001

注：低、中、高指HEI-2020的三个分组；模型1为未经调整的粗模型；模型2调整了人口统计学信息（年龄、性别、种族、收入水平、受教育程度）和生活方式（久坐时间、吸烟、饮酒）；模型3在模型2基础上进一步调整了相关合并症（糖尿病、高血压）及能量摄入；SO.肌少症性肥胖；HEI-2020.健康饮食指数2020；OR.比值比；CI.置信区间。

2.4 中介效应分析

中介效应分析显示，HEI-2020 对 SO 具有直接的负向影响作用，且 SIRI、糖化血红蛋白、NHHR、白蛋白及血浆维生素 D 部分介导了 HEI-2020 和 SO 间的关联，中介效应比例分别为 4.41%、2.23%、8.17%、23.36% 及 16.58% (P < 0.05)，见附件图 2。

2.5 敏感性分析

筛选不伴有肌少症及肥胖的健康人群为对照组作为参照进行敏感性分析，结果保持一致，与低 HEI-2020 组相比，高 HEI-2020[OR=0.38, 95%CI (0.25, 0.57)]及中 HEI-2020[OR=0.65, 95%CI (0.47, 0.89)]与 SO 呈负相关 (表 3)。此外，剔除能量摄入不合理的样本后，结果保持稳定 (表 3)。同时，将年龄、久坐时间作为连续性变量纳入模型进行分析，结果依旧稳定 (附表 3)。敏感性分析结果显示，高 HEI-2020 评分与 SO 呈负相关。

表3 敏感性分析结果
Table 3. Results of sensitivity analysis

模型	HEI-2020分组	SO与健康对照组		SO与非SO组 (剔除能量摄入不合理样本)		SO与健康对照组 (剔除能量摄入不合理样本)	
		OR值 (95%CI)	P值	OR值 (95%CI)	P值	OR值 (95%CI)	P值
模型1	低	Ref.		Ref.		Ref.	
	中	0.73 (0.55, 0.97)	0.032	0.70 (0.52, 0.93)	0.014	0.71 (0.53, 0.95)	0.022
	高	0.42 (0.29, 0.62)	<0.001	0.51 (0.36, 0.71)	<0.001	0.42 (0.29, 0.61)	<0.001
模型2	低	Ref.		Ref.		Ref.	
	中	0.67 (0.49, 0.91)	0.013	0.69 (0.50, 0.93)	0.018	0.65 (0.47, 0.90)	0.011
	高	0.41 (0.27, 0.61)	<0.001	0.50 (0.35, 0.72)	<0.001	0.41 (0.27, 0.61)	<0.001
模型3	低	Ref.		Ref.		Ref.	
	中	0.65 (0.47, 0.89)	0.008	0.71 (0.52, 0.97)	0.031	0.63 (0.46, 0.87)	0.006
	高	0.38 (0.25, 0.57)	<0.001	0.50 (0.34, 0.72)	<0.001	0.38 (0.25, 0.57)	<0.001

注：模型1为未经调整的粗模型；模型2调整了人口统计学信息（年龄、性别、种族、收入水平、受教育程度）和生活方式（久坐时间、吸烟、饮酒）；模型3在模型2基础上进一步调整了相关合并症（糖尿病、高血压）、能量摄入；SO.肌少症性肥胖；HEI-2020.健康饮食指数2020；OR.比值比；CI.置信区间。

3 讨论

本研究利用 NHANES 2011—2018 年数据，探讨饮食质量与 SO 之间的关系。结果显示，SO 加权患病率约为 5.33%，且 SO 组 HEI-2020 评分偏低。在调整人口统计学信息、生活方式、合并症及能量摄入后，饮食质量（HEI-2020）与 SO 呈负相关。同时，除低收入水平、久坐时间 ≥ 8 h 的人群外，在不同亚组中，高 HEI-2020 均与低 SO 相关。此外，HEI-2020 能通过 SIRI、糖化血红蛋白、NHHR、白蛋白及血浆维生素 D 的中介效应影响 SO。

SO 作为肌少症和肥胖的结合，其形成机制较复杂。除增龄性原因导致的代谢异常外，脂-肌之间相互影响的双向致病性协同作用也是导致 SO 的重要原因 [21-23]。既往研究表明，过量脂肪堆积会促进炎症因子的表达和氧化应激，从而影响肌肉氨基酸平衡及蛋白质代谢，引起肌肉衰减；同时，肌肉流失会降低机体基础代谢率，加剧胰岛素抵抗，进一步促进代谢紊乱和脂肪堆积，形成恶性循环 [23-24]。这一机制可以解释研究中 SO 患者 SIRI、糖化血红蛋白、NHHR 偏高，白蛋白及血浆维生素 D 偏低的结果。

研究发现，SO 患者饮食质量低于非 SO 人群，且高 HEI-2020 评分与 SO 呈负相关，与既往研究一致 [25]。高质量饮食可以通过多种机制影响脂-肌的恶性循环过程：第一，抑制炎症和氧化应激，改善机体代谢。HEI-2020 提倡充足果蔬摄入，并

建议限制精制谷物和添加糖的摄入。果蔬摄入不足会导致维生素 C 等抗氧化剂缺乏，无法有效抑制氧化应激和炎症因子，导致肌肉萎缩及脂肪组织炎症反应 [26-27]。Wang 等 [28] 也发现，抗氧化指数评分较高的饮食与肌肉减少症风险降低相关。而精制谷物和添加糖摄入过多会进一步激活促炎通路，降低肌肉对氨基酸的摄取能力并促进脂肪组织增生 [29-30]。同时，精制谷物摄入过多和水果摄入不足也会导致膳食纤维摄入不足，不利于激活 AMPK 通路，影响骨骼肌脂肪酸氧化及脂肪炎症抑制 [31-32]。第二，促进肌肉合成，维持肌肉功能。HEI-2020 强调适量优质蛋白质（如鱼类、豆类、乳制品）的摄入。优质蛋白质食物中富含亮氨酸、乳清蛋白等成分，能够激活 mTOR 通路，刺激肌肉合成 [33-34]。而乳制品摄入不足则可能导致钙和维生素 D 缺乏，影响肌肉功能 [35]。

中介分析发现，HEI-2020 可通过 SIRI、糖化血红蛋白、NHHR、白蛋白及血浆维生素 D 的中介效应影响 SO。值得注意的是，白蛋白和血浆维生素 D 表现出较高的中介比例，凸显了其在 SO 发病机制中的重要作用。白蛋白作为一种多维生物标志物，与机体营养状况、氧化应激及炎症状态等相关，可以通过激活磷脂酰肌醇 3 激酶通路促进肌肉肥大，而低白蛋白会加剧氧化损伤，加速肌肉分解代谢 [36-38]。维生素 D 则通过其受体在肌肉组织中的广泛表达，直接调节肌肉蛋白合成、肌细胞增殖分化及钙稳态，对维持肌肉质量和功能至关重要，其缺乏会削弱免疫调节功能，加剧

慢性炎症状态, 并可能影响胰岛素敏感性^[39-41]。

此外, HEI-2020 与 SO 的负相关在低收入水平和久坐时间 ≥ 8 h 的人群中不显著。与既往研究一致^[42]。较差的社会经济地位往往意味着健康知识薄弱、健康资源匮乏、健康行为欠缺, 从而导致膳食摄入不足, 饮食质量不高, 肥胖、肌少症等慢性疾病的发生风险增加^[43-44]。而久坐行为也是促炎和致胰岛素抵抗的重要因素, 与肥胖、代谢综合征等多种慢性疾病相关, 会加速肌肉流失和脂肪堆积, 削弱高质量饮食的保护作用^[45-46]。运动不足而单独限制能量摄入不仅无法缓解肥胖, 反而可能增加 SO 风险, 老年群体尤为显著^[47]。这一发现凸显了 SO 防控中多维度干预的重要性。因此, 针对不同人群, 需要采取综合性策略, 提高饮食质量, 丰富食物种类, 平衡营养素数量及比例, 确保适当运动, 以有效预防和管理 SO^[2, 48]。

本研究也存在一定局限性。首先, NHANES 使用 24 h 膳食回顾法进行膳食调查, 尽管其膳食调查数据已被既往研究证明是可靠的, 但回忆偏倚难以避免^[49]; 其次, 本研究为横断面研究, 无法论证饮食质量与 SO 之间的因果关系; 最后, 研究对象为美国居民, HEI-2020 基于《2020—2025 年美国居民膳食指南》评估饮食质量, 而中美饮食习惯存在一定差异, 结果外推性受限。

综上所述, SO 患者饮食质量评分偏低, 饮食质量与 SO 呈负相关, HEI-2020 会通过 SIRI、糖化血红蛋白、NHHR、白蛋白及血浆维生素 D 的中介效应影响 SO。因此, 未来需开展基于中国人群的前瞻性研究, 验证饮食质量对 SO 的长期影响, 并加强饮食健康教育, 探索适用于我国的健康饮食促进体系, 改善居民饮食结构, 降低 SO 发生风险, 推动健康老龄化。

附件见《医学新知》官网附录 (<https://yxxz.whuznhmedj.com/futureApi/storage/appendix/202505030.pdf>)

伦理声明: 不适用

作者贡献: 研究设计、数据分析和论文撰写: 冯芸、郭鉴葵、龚杰; 文献检索和资料整理: 周子琪、张誉滢; 基金支持、论文选题、指导和审订: 柳园

数据获取: 本研究中使用和 (或) 分析的数据可在 NHANES 官网公开数据库 (<https://wwwn.cdc.gov/nchs/nhanes/default.aspx>) 获取

利益冲突声明: 无

致谢: 不适用

参考文献

- 1 Donini LM, Busetto L, Bischoff SC, et al. Definition and diagnostic criteria for sarcopenic obesity: ESPEN and EASO consensus statement[J]. *Obes Facts*, 2022, 15(3): 321-335. DOI: [10.1159/000521241](https://doi.org/10.1159/000521241).
- 2 Batsis JA, Villareal DT. Sarcopenic obesity in older adults: aetiology, epidemiology and treatment strategies[J]. *Nat Rev Endocrinol*, 2018, 14(9): 513-537. DOI: [10.1038/s41574-018-0062-9](https://doi.org/10.1038/s41574-018-0062-9).
- 3 Kong HH, Won CW, Kim W. Effect of sarcopenic obesity on deterioration of physical function in the elderly[J]. *Arch Gerontol Geriatr*, 2020, 89: 104065. DOI: [10.1016/j.archger.2020.104065](https://doi.org/10.1016/j.archger.2020.104065).
- 4 Veronese N, Ragusa FS, Pegreffi F, et al. Sarcopenic obesity and health outcomes: an umbrella review of systematic reviews with Meta-analysis[J]. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*, 2024, 15(4): 1264-1274. DOI: [10.1002/jcsm.13502](https://doi.org/10.1002/jcsm.13502).
- 5 陈长, 刘辉, 蔺阳刚, 等. 肌少症在老年动脉粥样硬化性心血管疾病发病中的作用研究进展 [J]. *解放军医学杂志*, 2021, 46(5): 512-517. [Chen Z, Liu H, Lin YG, et al. Research progress on the role of sarcopenia in the pathogenesis of atherosclerotic cardio-cerebrovascular disease in the elderly[J]. *Medical Journal of Chinese People's Liberation Army*, 2021, 46(5): 512-517.] DOI: [10.11855/j.issn.0577-7402.2021.05.14](https://doi.org/10.11855/j.issn.0577-7402.2021.05.14).
- 6 Jia S, Zhao W, Hu F, et al. Sex differences in the association of physical activity levels and vitamin D with obesity, sarcopenia, and sarcopenic obesity: a cross-sectional study[J]. *BMC Geriatr*, 2022, 22(1): 898. DOI: [10.1186/s12877-022-03577-4](https://doi.org/10.1186/s12877-022-03577-4).
- 7 Cheah KJ, Cheah LJ. Benefits and side effects of protein supplementation and exercise in sarcopenic obesity: a scoping review[J]. *Nutr J*, 2023, 22(1): 52. DOI: [10.1186/s12937-023-00880-7](https://doi.org/10.1186/s12937-023-00880-7).
- 8 Shams-White MM, Pannucci TE, Lerman JL, et al. Healthy eating index-2020: review and update process to reflect the dietary guidelines for americans, 2020-2025[J]. *J Acad Nutr Diet*, 2023, 123(9): 1280-1288. DOI: [10.1016/j.jand.2023.05.015](https://doi.org/10.1016/j.jand.2023.05.015).
- 9 Wang K, Wu J, Deng M, et al. Associations of healthy eating index-2015 with osteoporosis and low bone mass density in postmenopausal women: a population-based study from NHANES 2007-2018[J]. *Front Nutr*, 2024, 11: 1388647. DOI: [10.3389/fnut.2024.1388647](https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1388647).
- 10 He T, Yan Y, Wang D, et al. Association of dietary health indices with frailty[J]. *BMC Public Health*, 2025, 25(1): 1068. DOI: [10.1186/s12889-025-22245-x](https://doi.org/10.1186/s12889-025-22245-x).
- 11 Hao X, Li D. The healthy eating index-2015 and all-cause/cause-specific mortality: a systematic review and dose-response

- Meta-analysis[J]. *Adv Nutr*, 2024, 15(3): 100166. DOI: [10.1016/j.advnut.2023.100166](https://doi.org/10.1016/j.advnut.2023.100166).
- 12 Guo B, Liu X, Si Q, et al. Associations of CBC-derived inflammatory indicators with sarcopenia and mortality in adults: evidence from NHANES 1999~2006[J]. *BMC Geriatr*, 2024, 24(1): 432. DOI: [10.1186/s12877-024-05012-2](https://doi.org/10.1186/s12877-024-05012-2).
- 13 Lou Y, Xie Y, Jiang Q, et al. The effect of sarcopenic obesity on glycaemic status based on fasting plasma glucose and glycated haemoglobin: a prospective cohort study[J]. *Diabetes Obes Metab*, 2025, 27(1): 291–299. DOI: [10.1111/dom.16016](https://doi.org/10.1111/dom.16016).
- 14 Picca A, Coelho-Junior HJ, Calvani R, et al. Biomarkers shared by frailty and sarcopenia in older adults: a systematic review and Meta-analysis[J]. *Ageing Res Rev*, 2022, 73: 101530. DOI: [10.1016/j.arr.2021.101530](https://doi.org/10.1016/j.arr.2021.101530).
- 15 卢姝妤, 陈国婷, 毛志锦, 等. 老年住院患者握力和骨骼肌量与营养状况的相关性研究 [J]. 数理医药学杂志, 2023, 36(1): 30–35. [Lu SY, Chen GT, Mao ZJ, et al. A study of the correlation between handgrip strength and skeletal muscle mass and nutritional status in elderly hospitalized patients[J]. *Journal of Mathematical Medicine*, 2023, 36(1): 30–35.] DOI: [10.12173/j.issn.1004-4337.202211012](https://doi.org/10.12173/j.issn.1004-4337.202211012).
- 16 Studenski SA, Peters KW, Alley DE, et al. The FNIH sarcopenia project: rationale, study description, conference recommendations, and final estimates[J]. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 2014, 69(5): 547–558. DOI: [10.1093/gerona/glu010](https://doi.org/10.1093/gerona/glu010).
- 17 Wang ZZ, Xu Q, Zhang YH, et al. Oxidative balance score is associated with increased risk of sarcopenia and sarcopenic obesity in non-elderly adults: results from NHANES 2011–2018[J]. *Nutr Metab (Lond)*, 2025, 22(1): 23. DOI: [10.1186/s12986-025-00914-3](https://doi.org/10.1186/s12986-025-00914-3).
- 18 Kong F, Huang J, Xu C, et al. System inflammation response index: a novel inflammatory indicator to predict all-cause and cardiovascular disease mortality in the obese population[J]. *Diabetol Metab Syndr*, 2023, 15(1): 195. DOI: [10.1186/s13098-023-01178-8](https://doi.org/10.1186/s13098-023-01178-8).
- 19 Zhang L, Lai Y, Yan L, et al. The joint and interactive effects of the non-high-density lipoprotein cholesterol to high-density lipoprotein cholesterol ratio (NHHR) and body mass index on the risk of depression, as well as the mediating role of NHHR: results from NHANES 2005–2023[J]. *Lipids Health Dis*, 2025, 24(1): 77. DOI: [10.1186/s12944-025-02493-x](https://doi.org/10.1186/s12944-025-02493-x).
- 20 Howarth NC, Murphy SP, Wilkens LR, et al. Dietary energy density is associated with overweight status among 5 ethnic groups in the multiethnic cohort study12[J]. *J Nutr*, 2006, 136(8): 2243–2248. DOI: [10.1093/jn/136.8.2243](https://doi.org/10.1093/jn/136.8.2243).
- 21 钟文, 方传明, 杨燕, 等. 增龄性脂代谢异常与肌少症 [J]. 中国老年学杂志, 2022, 42(13): 3340–3344. [Zhong W, Fang CM, Yang Y, et al. Age-increasing lipid metabolism abnormalities and sarcopenia[J]. *Chinese Journal of Gerontology*, 2022, 42(13): 3340–3344.] DOI: [10.3969/j.issn.1005-9202.2022.13.061](https://doi.org/10.3969/j.issn.1005-9202.2022.13.061).
- 22 Kalinkovich A, Livshits G. Sarcopenic obesity or obese sarcopenia: a cross talk between age-associated adipose tissue and skeletal muscle inflammation as a main mechanism of the pathogenesis[J]. *Ageing Res Rev*, 2017, 35: 200–221. DOI: [10.1016/j.arr.2016.09.008](https://doi.org/10.1016/j.arr.2016.09.008).
- 23 Park MJ, Choi KM. Interplay of skeletal muscle and adipose tissue: sarcopenic obesity[J]. *Metabolism*, 2023, 144: 155577. DOI: [10.1016/j.metabol.2023.155577](https://doi.org/10.1016/j.metabol.2023.155577).
- 24 Hong SH, Choi KM. Sarcopenic obesity, insulin resistance, and their implications in cardiovascular and metabolic consequences[J]. *Int J Mol Sci*, 2020, 21(2): 494. DOI: [10.3390/ijms21020494](https://doi.org/10.3390/ijms21020494).
- 25 Abete I, Konieczna J, Zulet MA, et al. Association of lifestyle factors and inflammation with sarcopenic obesity: data from the PREDIMED-Plus trial[J]. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*, 2019, 10(5): 974–984. DOI: [10.1002/jcsm.12442](https://doi.org/10.1002/jcsm.12442).
- 26 Li P, Zhang X, Tian L, et al. Vitamin C promotes muscle development mediated by the interaction of CSRP3 with MyoD and MyoG[J]. *J Agric Food Chem*, 2022, 70(23): 7158–7169. DOI: [10.1021/acs.jafc.2c02432](https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c02432).
- 27 Ellulu MS. Obesity, cardiovascular disease, and role of vitamin C on inflammation: a review of facts and underlying mechanisms[J]. *Inflammopharmacology*, 2017, 25(3): 313–328. DOI: [10.1007/s10787-017-0314-7](https://doi.org/10.1007/s10787-017-0314-7).
- 28 Wang K, Zhou Q, Jiang Z, et al. The inverse associations between composite-dietary-antioxidant-index and sarcopenia risk in US adults[J]. *Front Endocrinol (Lausanne)*, 2024, 15: 1442586. DOI: [10.3389/fendo.2024.1442586](https://doi.org/10.3389/fendo.2024.1442586).
- 29 Softic S, Stanhope KL, Boucher J, et al. Fructose and hepatic insulin resistance[J]. *Crit Rev Clin Lab Sci*, 2020, 57(5): 308–322. DOI: [10.1080/10408363.2019.1711360](https://doi.org/10.1080/10408363.2019.1711360).
- 30 Taskinen RE, Hantunen S, Tuomainen TP, et al. The associations between whole grain and refined grain intakes and serum C-reactive protein[J]. *Eur J Clin Nutr*, 2022, 76(4): 544–550. DOI: [10.1038/s41430-021-00996-1](https://doi.org/10.1038/s41430-021-00996-1).
- 31 Li Q, Chen H, Zhang M, et al. Altered short chain fatty acid profiles induced by dietary fiber intervention regulate AMPK levels and intestinal homeostasis[J]. *Food Funct*, 2019, 10(11): 7174–7187. DOI: [10.1039/c9fo01465a](https://doi.org/10.1039/c9fo01465a).
- 32 Nani A, Murtaza B, Sayed KA, et al. Antioxidant and anti-inflammatory potential of polyphenols contained in mediterranean diet in obesity: molecular mechanisms[J]. *Molecules*, 2021, 26(4): 985. DOI: [10.3390/molecules26040985](https://doi.org/10.3390/molecules26040985).
- 33 Adeva-Andany MM, Fernández-Fernández C, López-Pereiro Y, et al. The effects of glucagon and the target of rapamycin (TOR) on skeletal muscle protein synthesis and age-dependent sarcopenia in humans[J]. *Clin Nutr ESPEN*, 2021, 44: 15–25. DOI: [10.1016/j.clnesp.2021.06.025](https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2021.06.025).
- 34 Chang MC, Choo YJ. Effects of whey protein, leucine, and vitamin D supplementation in patients with sarcopenia: a systematic review and Meta-analysis[J]. *Nutrients*, 2023, 15(3): 521. DOI: [10.3390/nu15030521](https://doi.org/10.3390/nu15030521).
- 35 Agoncillo M, Yu J, Gunton JE. The role of vitamin D in skeletal muscle repair and regeneration in animal models and humans: a

- systematic review[J]. *Nutrients*, 2023, 15(20): 4377. DOI: [10.3390/nu15204377](#).
- 36 Silva-Fhon JR, Rojas-Huayta VM, Aparco-Balboa JP, et al. Sarcopenia and blood albumin: a systematic review with Meta-analysis[J]. *Biomedica*, 2021, 41(3): 590–603. DOI: [10.7705/biomedica.5765](#).
- 37 Liu X, Hao Q, Yue J, et al. Sarcopenia, obesity and sarcopenia obesity in comparison: prevalence, metabolic profile, and key differences: results from WCHAT study[J]. *J Nutr Health Aging*, 2020, 24(4): 429–437. DOI: [10.1007/s12603-020-1332-5](#).
- 38 Erdoğan K, Kara M, Şener FE, et al. Serum albumin as a biomarker of (nutritional status in) sarcopenia[J]. *J Bone Miner Metab*, 2025, 43(2): 108–113. DOI: [10.1007/s00774-024-01557-9](#).
- 39 Bollen SE, Bass JJ, Fujita S, et al. The vitamin D/vitamin D receptor (VDR) axis in muscle atrophy and sarcopenia[J]. *Cell Signal*, 2022, 96: 110355. DOI: [10.1016/j.cellsig.2022.110355](#).
- 40 Garbossa SG, Folli F. Vitamin D, sub-inflammation and insulin resistance. A window on a potential role for the interaction between bone and glucose metabolism[J]. *Rev Endocr Metab Disord*, 2017, 18(2): 243–258. DOI: [10.1007/s11154-017-9423-2](#).
- 41 桑德春. 老年肌少症研究进展[J]. *华西医学*, 2018, 33(10): 1219–1223. [Sang DC. Progress in the study of elderly sarcopenia[J]. *West China Medical Journal*, 2018, 33(10): 1219–1223.] DOI: [10.7507/1002-0179.201805182](#).
- 42 Lee H, Park S. Regional differences in the associations of diet quality, obesity, and possible sarcopenia using the seventh Korea National Health and Nutrition Examination Survey (2016–2018)[J]. *Epidemiol Health*, 2023, 45: e2023059. DOI: [10.4178/epih.e2023059](#).
- 43 Banerjee S. Determinants of rural–urban differential in healthcare utilization among the elderly population in India[J]. *BMC Public Health*, 2021, 21(1): 939. DOI: [10.1186/s12889-021-10773-1](#).
- 44 Shim JE, Hwang JY, Kim K. Objective and perceived food environment and household economic resources related to food insecurity in older adults living alone in rural areas[J]. *BMC Geriatr*, 2019, 19(1): 234. DOI: [10.1186/s12877-019-1231-y](#).
- 45 Hamilton MT, Hamilton DG, Zderic TW. Role of low energy expenditure and sitting in obesity, metabolic syndrome, type 2 diabetes, and cardiovascular disease[J]. *Diabetes*, 2007, 56(11): 2655–2667. DOI: [10.2337/db07-0882](#).
- 46 Owen N, Healy GN, Matthews CE, et al. Too much sitting: the population health science of sedentary behavior[J]. *Exerc Sport Sci Rev*, 2010, 38(3): 105–113. DOI: [10.1097/JES.0b013e3181e373a2](#).
- 47 Eglseer D, Traxler M, Embacher S, et al. Nutrition and exercise interventions to improve body composition for persons with overweight or obesity near retirement age: a systematic review and network Meta-analysis of randomized controlled trials[J]. *Adv Nutr*, 2023, 14(3): 516–538. DOI: [10.1016/j.advmnut.2023.04.001](#).
- 48 徐磊, 李春艳, 陈宁, 等. 老年人肌少性肥胖的机制与运动营养调控研究进展[J]. *食品科学*, 2017, 38(21): 279–286. [Xu L, Li CY, Chen N, et al. Exercise and nutrition interventions of sarcopenic obesity and underlying mechanisms[J]. *Food Science*, 2017, 38(21): 279–286.] DOI: [10.7506/spkx1002-6630-201721044](#).
- 49 Rhodes DG, Murayi T, Clemens JC, et al. The USDA automated multiple-pass method accurately assesses population sodium intakes[J]. *Am J Clin Nutr*, 2013, 97(5): 958–964. DOI: [10.3945/ajcn.112.044982](#).

收稿日期: 2025 年 05 月 09 日 修回日期: 2025 年 07 月 19 日

本文编辑: 李绪辉 曹越

引用本文: 冯芸, 郭鉴葵, 龚杰, 等. 饮食质量与肌少症性肥胖的关联研究: 基于NHANES数据库[J]. *医学新知*, 2025, 35(12): 1421–1429. DOI: [10.12173/j.issn.1004-5511.202505030](#).

Feng Y, Guo JK, Gong J, et al. Association between dietary quality and sarcopenic obesity: based on the NHANES database[J]. *Yixue Xinzhi Zazhi*, 2025, 35(12): 1421–1429. DOI: [10.12173/j.issn.1004-5511.202505030](#).