

• 营养与食品卫生 •

中国健康饮食指数与中老年人群肌骨生物年龄加速的关联

陈子岚¹, 夏茂瑶¹, 钟扬丹¹, 庞玉琦¹, 胡雯², 张韬¹, 龙璐¹, 樊萌语¹, 李佳圆¹, 姜侠¹

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. 四川大学华西医院临床营养科

摘要: **目的** 本研究旨在探讨中老年人群饮食质量对肌骨生物年龄加速的影响, 为通过膳食营养策略干预肌骨衰老提供科学依据。 **方法** 对纳入华西健康增龄队列及华西骨健康队列基线调查数据 3 765 名 45 岁及以上中老年人开展横断面研究, 采用简化食物频率问卷计算中国健康饮食指数(the Chinese Healthy Eating Index, CHEI)以评估饮食质量。以通过临床指标预测的肌骨生物年龄与实际年龄差值表征肌骨生物年龄加速, 控制人口学特征、生活方式、慢性病等潜在混杂因素, 采用多元线性回归分析 CHEI 与肌骨生物年龄加速的关联, 并进行亚组分析。 **结果** CHEI 总分与肌骨生物年龄加速呈负相关($r_s=-0.09$), 与 CHEI 得分最低组相比, 得分最高组肌骨生物年龄加速值降低 0.31 岁($\beta=-0.31$, 95% CI : $-0.51 \sim -0.10$)。亚组分析显示, 在男性、身体质量指数(body mass index, BMI) $>24 \text{ kg/m}^2$ 及不吸烟者中, 提高膳食质量能更有效延缓肌骨衰老 ($P_{交互作用}$ 均 <0.05)。 **结论** 遵循中国居民膳食指南的健康饮食模式可减缓肌骨生物年龄加速, 降低肌骨衰老相关疾病风险。

关键词: 中国健康饮食指数; 肌骨生物年龄加速; 横断面研究

中图分类号: R15; R181.3 文献标志码: A 文章编号: 1003-8507(2026)15-2739-07

DOI: 10.20043/j.cnki.MPM.202603128

Association of the Chinese Healthy Eating Index with musculoskeletal age acceleration in middle-aged and older adults

CHEN Zi-lan*, XIA Mao-yao, ZHONG Yang-dan, PANG Yu-qi, HU Wen, ZHANG Tao, LONG Lu, FAN Meng-yu, LI Jia-yuan, JIANG Xia

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

Abstract: **Objective** This study aims to investigate the impact of dietary quality on musculoskeletal age acceleration (MuscAgeAccel) in middle-aged and older adults, providing a scientific basis for dietary interventions to slow musculoskeletal aging. **Methods** A cross-sectional study was conducted involving 3 765 adults aged 45 years and above from the West China Health and Aging Cohort Study and the West China Bone Health Cohort. Diet quality was assessed by calculating the Chinese Healthy Eating Index (CHEI), using a simplified food frequency questionnaire (FFQ-25). MuscAgeAccel was calculated as the difference between musculoskeletal biological age predicted from clinical indicators and chronological age. Multiple linear regression models were used to examine the association between the CHEI and MuscAgeAccel, while adjusting for demographic characteristics, lifestyle factors, and chronic diseases. Subgroup analyses were then conducted. **Results** The CHEI score was negatively associated with MuscAgeAccel ($r_s=-0.09$). Compared with participants in the lowest CHEI score group, those in the highest score group exhibited a 0.31-year reduction in MuscAgeAccel ($\beta=-0.31$, 95% CI : $-0.51 \sim -0.10$). Subgroup analyses revealed that the beneficial effect of higher dietary quality on slowing musculoskeletal aging was more pronounced in males, those with body mass index (BMI) $>24 \text{ kg/m}^2$, and non-smokers (all P for interaction <0.05). **Conclusion** Adherence to the healthy dietary pattern recommended by the Chinese Dietary Guidelines may attenuate musculoskeletal age acceleration and reduce the risk of diseases related to musculoskeletal aging.

Keywords: Chinese Healthy Eating Index; Musculoskeletal age acceleration; Cross-sectional study

基金项目: 国家重点研发计划(2023YFC3606300); 四川省科技厅自然科学基金创新研究群体(2024NSFTD0030); 四川大学华西公共卫生学院(华西第四医院)实验学科振兴计划(2023SY-03)

作者简介: 陈子岚(2003—), 女, 硕士在读, 研究方向: 营养与食品卫生学

通信作者: 姜侠, E-mail: xiajiang@scu.edu.cn

相较于时序年龄, 生物年龄(biological age)作为一种综合多种衰老相关标志物的指标, 能更准确地反映个体实际衰老状态, 已广泛用于年龄相关疾病的风险预测^[1]。由于不同器官系统衰老程度存在异质性, 近年来研究开始关注器官特异性生物年龄的构建, 如肌骨生物年龄(musculoskeletal age)^[2]。相较于单一的

肌骨疾病临床指标,肌骨生物年龄以年龄为标尺,通过整合临床影像学与人体测量指标,能更精准地反映肌肉骨骼系统的生物衰老程度。肌骨生物年龄加速(musculoskeletal age acceleration)作为肌骨生物年龄与实际年龄的差值,量化了个体相较于同龄人肌肉骨骼系统的相对衰老水平,为肌肉骨骼疾病的早期评估与风险预测提供了新视角。

生物衰老进程在一定程度上可通过早期干预加以调节。膳食作为可干预的核心生活方式因素,在调控衰老相关机制中发挥着重要作用^[3]。已有研究表明,地中海饮食、得舒饮食等膳食模式可通过抗炎、抗氧化、维持代谢稳态及改善肠道微生态等途径,对全身生物衰老产生积极影响^[4]。然而,适用于中国人群的膳食模式与基于生物年龄的肌骨衰老之间的关联尚未得到系统探讨。为此,本研究基于中国本土人群数据,采用中国健康饮食指数(Chinese Healthy Eating Index, CHEI)评估饮食质量,分析 CHEI 及其各组分与肌骨生物年龄加速之间的关联,以期通过膳食干预延缓肌肉骨骼系统衰老提供基于中国人群的科学依据。

1 对象与方法

1.1 研究对象 数据来源于华西健康增龄队列(原华西老年人群健康队列)^[5]及华西骨健康队列基线调查^[6]。华西健康增龄队列基线评估于 2022 年 5 月—2023 年 12 月进行,包括 10 626 名年龄在 54 岁及以上的社区居民。华西骨健康队列基线调查于 2023 年 5 月启动,包括 1 518 名年龄在 25 岁及以上的门诊参与者。数据采集均涵盖问卷调查、体格检查、影像学检查及生物标志物检测等多个方面。在这两项队列的参与者中,3 878 名有完整膳食数据及肌骨生物年龄计算指标。排除 45 岁以下 24 名、合并恶性肿瘤 52 名、报告极端能量摄入 37 名,最终确定 3 765 名参与者纳入研究,研究经伦理委员会批准(HXSY-EC-2025057, HXSY-EC-2025059)。完整筛选流程见图 1。

1.2 饮食评估及 CHEI 计算 饮食信息由受过培训的调查员采用经验证的简化食物频率问卷(food frequency questionnaire, FFQ25)通过面对面访谈收集^[7]。该问卷详细记录了调查对象过去一年内各类食物的消费频率(包括每日、每周、每月摄入次数)及单次摄入量。

CHEI 是根据中国居民膳食指南建立的膳食评价工具^[8-9],通过换算每类食物的摄入量及份数,并依据推荐摄入量计算 17 个条目的得分,包括膳食指南建议的 12 类“适宜量”摄入的食物(谷物、全谷物、薯类、

蔬菜、深绿色蔬菜、水果、奶制品、豆类、水产品、禽肉、蛋类、坚果)和五类限制摄入的食物(红肉、食用油脂、钠、添加糖、酒精)。对于每一类食物,零摄入或达到推荐值将分别得 0 分或最高分,而介于 0 和推荐值之间的摄入量则按比例进行赋分。由于本研究未收集食用油脂、钠及添加糖的摄入信息,故这 3 个条目未纳入总分计算,因此本研究的 CHEI 最高可能得分为 75 分,分数越高代表对中国居民膳食指南的依从性越高。除酒精外,所有食物摄入量均按能量密度(每 1 000 kcal)进行调整。评分标准见表 1。

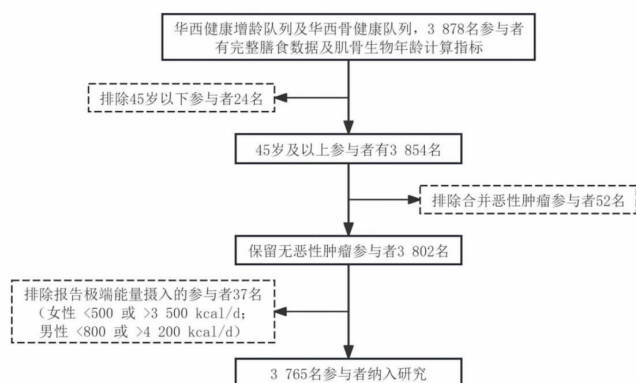


图 1 研究对象筛选流程图

Figure 1 The flowchart of participants selection

表 1 CHEI 评分标准

Table 1 CHEI scoring criteria

食物组	最高分	最高分标准	最低分标准
谷物	5	≥2.5 标准份/1 000 kcal	无摄入
全谷物	5	≥0.6 标准份/1 000 kcal	
薯类	5	≥0.3 标准份/1 000 kcal	
蔬菜	5	≥1.9 标准份/1 000 kcal	
深色蔬菜	5	≥0.9 标准份/1 000 kcal	
水果	10	≥1.1 标准份/1 000 kcal	
奶类	5	≥0.5 标准份/1 000 kcal	
豆类	5	≥0.4 标准份/1 000 kcal	
水产类	5	≥0.6 标准份/1 000 kcal	
禽类	5	≥0.3 标准份/1 000 kcal	
蛋类	5	≥0.5 标准份/1 000 kcal	
坚果类	5	≥0.4 标准份/1 000 kcal	
红肉类	5	≤0.4 标准份/1 000 kcal	≥3.5 标准份/1 000 kcal
酒精	5	≤25 g(男)/15 g(女)	≥60 g(男)/40 g(女)

1.3 肌骨生物年龄加速的计算 本研究首先在华西健康增龄队列中选取了 25 个肌肉骨骼相关指标,包括影像学、功能学和血液生化、激素等指标,采用机器学习方法构建了一个性别特异的多模态肌骨衰老时钟,并在独立的华西骨健康队列及苏州骨质疏松症预防项目(osteoporosis preventive project, OPP)^[10]中进行

了验证。最终男性与女性的肌骨衰老时钟模型分别包含 14 项和 9 项指标,包括双能 X 射线吸收法测定的股骨颈骨密度、腰椎骨密度、握力、6 m 步行时间、体重、身高、腰围、臀围、上臂围、小腿围、上臂肌围、去脂体重、骨骼肌质量、骨骼肌指数、骨矿物质含量。通过该肌骨衰老时钟计算的肌骨生物年龄对常见的衰老相关肌肉骨骼疾病都有更强的诊断能力,比实际年龄更能反映个体肌肉骨骼系统的实际衰老状态。肌骨生物年龄加速计算为实际年龄回归肌骨生物年龄的残差,可用于衡量个体肌肉骨骼系统的老化速度。

1.4 协变量 协变量的选择基于可能影响膳食行为的常规因素以及潜在混杂因素:人口统计学因素(年龄、性别、受教育水平、个人可支配收入、婚姻状况)、身体测量指标[身体质量指数(body mass index,BMI), kg/m^2]、健康相关行为(吸烟史、体力活动、钙、维生素 D、复合维生素等补充剂的使用)、慢性疾病(高血压、糖尿病)、骨质疏松或脆性骨折家族史及数据来源。

1.5 统计学方法 使用 Shapiro-Wilk 检验评估连续变量的正态性,对于不符合正态分布的连续变量以中位数(四分位数间距)表示,使用 Kruskal-Wallis 秩和检验评估组间差异;分类变量以频数(百分比)描述,使用 χ^2 检验评估组间差异。连续变量缺失值采用中位数填补,分类变量缺失值则处理成单独的一类(不清楚)。统计分析前,对连续变量(CHEI 总分、年龄、BMI)进行 Z-score 标准化(均值为 0,标准差为 1)。

采用 Spearman 相关分析 CHEI 及其各组分与肌骨生物年龄加速的关联。采用多元线性回归模型逐步控制混杂因素,以分析 CHEI 总分对肌骨生物年龄

加速的独立效应。模型 1 调整年龄、性别、最高教育学历、个人可支配收入、婚姻状况、骨质疏松及脆性骨折家族史、数据来源;模型 2 在模型 1 基础上进一步调整吸烟史、BMI、体力活动、钙补充剂、维生素 D 补充剂、复合维生素补充剂使用情况;模型 3 在模型 2 基础上进一步调整糖尿病、高血压患病情况。为探索人群特征对 CHEI 总分与肌骨生物年龄加速之间关系的潜在影响,按年龄、性别、BMI、吸烟史、体力活动、糖尿病、高血压患病状况进行亚组分析。交互作用检验采用乘法交互项法进行评估,即在模型中分别引入 CHEI 总分与分组变量的乘积项,并对交互项系数进行 Wald 检验以判断统计学显著性。采用 R 软件(4.4.2 版)进行数据处理和统计分析,显著性水平设为双侧检验,检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 研究对象基本特征 研究最终纳入 3 765 名中老年人,年龄中位数为 66.0(61.0, 70.0)岁,女性占比 67.4%。其中肌骨生物年龄加速 >0 和 <0 分为肌骨生物年龄加速组和非加速组,分别为 1 946(51.7%)和 1 819 人(48.3%)。与肌骨生物年龄非加速组相比,加速组人群年龄更小,男性、低学历、已婚、现在吸烟及低体力活动的比例更高,两组上述差异具有统计学意义($P<0.05$),见表 2。为评估选择偏倚,本研究进一步比较了纳入研究对象($n=3\ 765$)与排除研究对象($n=8\ 379$)的基本特征。结果显示,纳入人群的年龄更小,女性、高学历、已婚、从不吸烟的比例更高,BMI 及高血压、糖尿病的患病率更低,差异均具有统计学意义($P<0.05$)。

表 2 研究对象的基本特征 [$M(P_{25}, P_{75}), n(\%)$]

Table 2 Baseline characteristics of study participants [$M(P_{25}, P_{75}), n(\%)$]

变量	总人群($n=3\ 765$)	肌骨生物年龄非加速 ($n=1\ 819$)	肌骨生物年龄加速 ($n=1\ 946$)	H/χ^2 值	P 值
年龄(岁)	66.0 (61.0, 70.0)	67.0 (62.0, 70.0)	65.0 (60.0, 69.0)	38.032	<0.001
性别				64.370	<0.001
女性	2 538 (67.4)	1 342 (73.8)	1 196 (61.5)		
男性	1 227 (32.6)	477 (26.2)	750 (38.5)		
民族				0.000	1.000
汉族	3 728 (99.0)	1 801 (99.0)	1 927 (99.0)		
其他	37 (1.0)	18 (1.0)	19 (1.0)		
最高教育学历				12.912	0.012
未正规上学	730 (19.4)	316 (17.4)	414 (21.3)		
小学	578 (15.4)	278 (15.3)	300 (15.4)		
初中	885 (23.5)	427 (23.5)	458 (23.5)		
高中及以上	1 562 (41.5)	795 (43.7)	767 (39.4)		
不清楚	10 (0.3)	3 (0.2)	7 (0.4)		
婚姻状况				9.122	0.010
已婚	3 145 (83.5)	1 488 (81.8)	1 657 (85.1)		

(续表)

变量	总人群(<i>n</i> =3 765)	肌骨生物年龄非加速 (<i>n</i> =1 819)	肌骨生物年龄加速 (<i>n</i> =1 946)	<i>H</i> / χ^2 值	<i>P</i> 值
其他	611 (16.2)	328 (18.0)	283 (14.5)	3.317	0.345
不清楚	9 (0.2)	3 (0.2)	6 (0.3)		
个人可支配收入					
低收入	1 104 (29.3)	508 (27.9)	596 (30.6)		
中等收入	1 445 (38.4)	713 (39.2)	732 (37.6)	0.853	0.653
高收入	1 128 (30.0)	555 (30.5)	573 (29.4)		
不清楚	88 (2.3)	43 (2.4)	45 (2.3)		
骨质疏松家族史					
是	407 (10.8)	189 (10.4)	218 (11.2)	19.784	<0.001
否	3 199 (85.0)	1 550 (85.2)	1 649 (84.7)		
不清楚	159 (4.2)	80 (4.4)	79 (4.1)		
数据来源					
华西骨健康队列	1 457 (38.7)	637 (35.0)	820 (42.1)	44.298	<0.001
华西健康增龄队列	2 308 (61.3)	1 182 (65.0)	1 126 (57.9)		
吸烟史					
从不吸烟	3 029 (80.5)	1 542 (84.8)	1 487 (76.4)		
曾经吸烟	418 (11.1)	168 (9.2)	250 (12.8)	3.642	0.056
现在吸烟	318 (8.4)	109 (6.0)	209 (10.7)		
BMI(kg/m ²)	23.9 (22.1, 26.0)	23.9 (22.2, 26.1)	23.9 (22.0, 25.9)		
体力活动					
低强度	883 (23.5)	363 (20.0)	520 (26.7)	28.035	<0.001
中等强度	1 349 (35.8)	656 (36.1)	693 (35.6)		
高强度	1 480 (39.3)	770 (42.3)	710 (36.5)		
不清楚	53 (1.4)	30 (1.6)	23 (1.2)		
复合维生素补充剂				0.357	0.550
是	481 (12.8)	239 (13.1)	242 (12.4)		
否	3 284 (87.2)	1 580 (86.9)	1 704 (87.6)		
维生素 D 补充剂					
是	500 (13.3)	256 (14.1)	244 (12.5)	1.793	0.181
否	3 265 (86.7)	1 563 (85.9)	1 702 (87.5)		
钙补充剂					
是	1 469 (39.0)	713 (39.2)	756 (38.8)		
否	2 296 (61.0)	1 106 (60.8)	1 190 (61.2)	0.344	0.853
糖尿病					
有	498 (13.2)	237 (13.0)	261 (13.4)		
无	3 258 (86.5)	1 579 (86.8)	1 679 (86.3)		
不清楚	9 (0.2)	3 (0.2)	6 (0.3)	0.943	0.624
高血压					
有	1 241 (33.0)	592 (32.5)	649 (33.4)		
无	2 514 (66.8)	1 224 (67.3)	1 290 (66.3)		
不清楚	10 (0.3)	3 (0.2)	7 (0.4)	1.669	0.434

2.2 CHEI 与肌骨生物年龄加速的关联

2.2.1 单因素分析 Spearman 相关性分析结果显示, CHEI 总分与肌骨生物年龄加速呈负相关, 其中全谷物、蔬菜、深色蔬菜、水果、水产类、坚果类均与肌骨生物年龄加速呈负相关; 谷物与肌骨生物年龄加速呈正相关。结果见表 3。

2.2.2 多因素回归分析 *F* 检验结果显示, 3 个模

型均具有统计学意义 (以模型 3 为例: $F=26.969, P<0.001$)。模型调整 R^2 为 0.157, 表明该模型中自变量能够解释因变量中约 15.7% 的变异。此外, 所有模型中方差膨胀因子均小于 5, 不存在严重的共线性, 结果较为可靠。在调整所有上述协变量后, 结果显示 CHEI 总分每增加 1 个标准差, 肌骨生物年龄加速值降低 0.10 岁。与 CHEI 得分最低四分位数组相比,

CHEI 得分最高四分位数组降低肌骨生物年龄加速值的效应更强($P_{趋势}=0.003$),见表 4。敏感性分析表明,剔除协变量缺失的个体后,上述关联保持稳健。

2.3 亚组分析与交互作用检验 按年龄、性别、BMI、吸烟史、体力活动强度、糖尿病及高血压患病状况进行亚组分析,调整协变量与模型 3 相同。CHEI 与肌骨生物年龄加速的负相关在不同亚组中总体保持一致,尽管某些亚组中未达到统计学显著性,见表 5。交互作用检验显示,CHEI 对肌骨生物年龄加速的影响在男性、BMI $>24\text{ kg/m}^2$ 、从不吸烟者中更强($P_{交互作用}$ 均 <0.05)。

3 讨论

本研究基于中国西南地区中老年人群,探讨了 CHEI 及其各组分与肌骨生物年龄加速之间的关联。主要发现如下:(1)遵循中国居民膳食指南的饮食模式(即较高的 CHEI 总分)与更慢的肌骨生物衰老相关,其中全谷物、蔬菜(特别是深色蔬菜)、水果、水产品 & 坚果的充足摄入是构成这一保护作用的关键组分;(2)上述关联存在人群异质性,CHEI 的保护作用在男性、超重/肥胖(BMI $>24\text{ kg/m}^2$)及从不吸烟者中

更为显著。

表 3 CHEI 及不同食物组与肌骨生物年龄加速的关联性分析结果(r_s)

Table 3 Results of correlation analysis of CHEI and different food groups with musculoskeletal age acceleration (r_s)

指标	肌骨生物年龄加速
CHEI	-0.09***
谷物	0.05**
全谷物	-0.04*
薯类	-0.02
蔬菜	-0.05**
深色蔬菜	-0.07***
水果	-0.08***
奶类	0.00
豆类	-0.02
水产类	-0.07***
禽类	0.02
蛋类	0.00
坚果类	-0.07***
红肉类	-0.02
酒精	-0.02

注:*表示经 FDR 校正 $P<0.05$; **表示 $P<0.01$; ***表示 $P<0.001$ 。

表 4 CHEI 与肌骨生物年龄加速的多元线性回归分析

Table 4 Multiple linear regression analysis of CHEI and MuscAgeAccel

变量	模型 1 ^a		模型 2 ^b		模型 3 ^c	
	$\beta(95\%CI)$	P 值	$\beta(95\%CI)$	P 值	$\beta(95\%CI)$	P 值
CHEI 总分	-0.13 (-0.20 ~ -0.06)	0.001	-0.10 (-0.17 ~ -0.03)	0.008	-0.10 (-0.17 ~ -0.03)	0.008
Q1 (<42.92)	参照组		参照组		参照组	
Q2 (42.92~47.50)	-0.21 (-0.40 ~ -0.02)	0.033	-0.18 (-0.38 ~ 0.01)	0.060	-0.19 (-0.38 ~ 0.00)	0.052
Q3 (47.50~51.76)	-0.29 (-0.49 ~ -0.10)	0.003	-0.25 (-0.44 ~ -0.05)	0.013	-0.24 (-0.44 ~ -0.05)	0.014
Q4 (>51.76)	-0.37 (-0.58 ~ -0.17)	<0.001	-0.31 (-0.51 ~ -0.10)	0.003	-0.31 (-0.51 ~ -0.10)	0.003
$P_{趋势}$ 值	<0.001		0.002		0.003	

注:^a模型 1 调整了年龄、性别、最高教育学历、个人可支配收入、婚姻状况、骨质疏松及脆性骨折家族史、数据来源;^b模型 2 在模型 1 基础上进一步调整了吸烟史、BMI、体力活动、钙补充剂、维生素 D 补充剂、复合维生素补充剂;^c模型 3 在模型 2 基础上进一步调整了糖尿病、高血压患病情况。

表 5 CHEI 与肌骨生物年龄加速的亚组分析结果

Table 5 Results of subgroup analysis of CHEI and MuscAgeAccel

变量	样本量	$\beta(95\%CI)$	P 值	$P_{交互作用}$
年龄(岁)				
45 ~ 60	656	-0.12 (-0.28 ~ 0.04)	0.133	0.883
>60	3 109	-0.09 (-0.18 ~ -0.01)	0.022	
性别				0.002
女性	2 538	-0.06 (-0.15 ~ 0.02)	0.164	
男性	1 227	-0.13 (-0.23 ~ -0.02)	0.021	
BMI (kg/m^2)				0.009
≤ 24	1 819	-0.06 (-0.16 ~ 0.05)	0.298	
>24	1 741	-0.10 (-0.20 ~ 0.01)	0.070	
吸烟史				0.003
从不吸烟	3 029	-0.10 (-0.18 ~ -0.02)	0.015	
曾经或现在吸烟	736	-0.05 (-0.19 ~ 0.08)	0.414	
体力活动				0.163
低强度	883	-0.07 (-0.22 ~ 0.08)	0.351	
中高强度	2 829	-0.10 (-0.19 ~ -0.02)	0.017	
糖尿病				0.800
无	3 258	-0.09 (-0.17 ~ -0.01)	0.025	
有	498	-0.15 (-0.37 ~ 0.07)	0.177	
高血压				0.711
无	2 514	-0.09 (-0.18 ~ -0.01)	0.040	
有	1 241	-0.11 (-0.25 ~ 0.02)	0.096	

仅关注单一食物成分可能难以全面捕捉整体饮食模式对健康的更广泛益处,因为多种食物成分往往共同摄入且相互关联^[11]。因此,本研究聚焦于基于中国人群膳食特点构建的综合健康饮食指数 CHEI,并发现其与肌骨生物年龄加速存在稳健的负相关。这一发现与地中海饮食、得舒饮食等国际公认的膳食模式在促进健康衰老、降低肌骨疾病风险方面的证据相一致^[12-14]。与地中海饮食类似,高 CHEI 饮食模式也强调全谷物、蔬菜(尤其是深色蔬菜)、水果、水产品、奶类、豆类和坚果等食物组的充足摄入。这些食物组富含优质蛋白、钙、镁、维生素 D、维生素 K 等与肌肉骨骼健康密切相关的营养素,为骨骼与肌肉的合成与维持提供重要营养支撑^[15-18]。

尽管 CHEI 总分呈现保护效应,但各食物组分与肌骨生物年龄加速的关联存在一定差异。值得注意的是,谷物组分显示出微弱的正相关。这可能主要反映了当前我国居民以精制谷物为主的摄入模式,全谷物、杂豆及薯类的摄入仍普遍偏低^[19]。精制谷物加工过程中损失了麸皮和胚芽中富含的膳食纤维、B 族维生素、矿物质及植物化学物^[20],且升糖指数较高,长期过量摄入可能促进慢性低度炎症和氧化应激^[21]。因此,鼓励以全谷物替代部分精制谷物摄入对我国中老年人肌骨健康至关重要。此外,奶类作为钙与维生素 D 的良好来源^[22],在本研究中并未显示出与肌骨衰老加速的关联,这可能与本研究中老年人群奶类摄入量普遍较低有关,难以检测到与结局的真实关联。在实际膳食指导中,仍应强调中老年人摄入足量乳制品以维持肌骨健康。

亚组分析进一步揭示了膳食效应的人群异质性。男性因肌肉与骨量基数较大,可能对营养干预产生更为显著的绝对反应;而在女性中,健康膳食带来的潜在收益可能尚不足以完全抵消因雌激素水平变化而加剧的肌骨生物衰老进程^[23]。超重/肥胖人群则可能通过改善代谢状态、减轻系统性炎症而增强饮食的抗衰老作用。吸烟作为一种强烈的外源性氧化应激源^[24],可能掩盖或削弱膳食抗氧化成分的保护效应,这进一步凸显了全面健康生活方式的重要性。上述发现提示,未来在制定膳食干预策略时,应充分考虑不同人群的特征,以制定更具针对性的措施,从而最大化干预效果。

本研究的优势在于首次采用符合国家膳食指南的饮食质量评价指标 CHEI,从生物年龄的维度探讨其对肌骨生物衰老的影响,为膳食干预延缓肌骨衰老提供了基于中国人群的见解。然而,研究还存在一些局限性。第一,横断面设计无法推断因果关系。第二,膳食数据基于参与者回顾,存在一定的回忆偏倚。同

时,简化 FFQ 仅 25 个食物组条目,份量估算存在主观差异,可能存在测量误差。此外,受数据可及性限制,CHEI 评分未能纳入食用油、添加糖和钠的评估。第三,尽管本研究已尽可能控制潜在的混杂因素,但仍可能存在未测量混杂。第四,本研究还存在一定的选择偏倚,纳入人群相较于基线总人群更年轻,有更优势的社会人口学特征及更健康的生活方式和身体状况,通常也伴随着更高的膳食质量,可能导致 CHEI 与肌骨生物年龄加速的关联强度被低估,外推需谨慎。未来研究可采用纵向设计,在更具代表性的人群中验证本研究的发现,并进一步完善对食用油、添加糖和钠等膳食组分的评估,为肌肉骨骼健康的预防与干预提供更全面的证据支持。

中老年人群中,遵循中国居民膳食指南的健康饮食模式,特别是保证充足的全谷物、深色蔬菜、水果、水产品、坚果摄入,有助于延缓肌肉骨骼系统的生物衰老,尤其对男性、超重/肥胖及不吸烟者更有益。建议进一步推广中国居民膳食指南,加强居民营养教育,并结合其他健康生活方式干预,共同助力健康老龄化。

利益冲突声明 本研究不存在任何利益冲突

参考文献

- [1] Li Z, Zhang W, Duan Y, et al. Progress in biological age research[J]. Front Public Health, 2023, 11: 1074274.
- [2] Tian YE, Cropley V, Maier AB, et al. Heterogeneous aging across multiple organ systems and prediction of chronic disease and mortality[J]. Nature Medicine, 2023, 29(5): 1221-1231.
- [3] Hastaoglu F, De pascual-Teresa S. Linking nutrition and aging: A cross-domain analysis of Mediterranean Diet Adherence Screener components[J]. Mechanisms of Ageing and Development, 2025, 228: 112119.
- [4] Wang XY, Yan XM, Zhang J, et al. Associations of healthy eating patterns with biological aging: National health and nutrition examination survey (NHANES) 1999-2018 [J]. Nutrition Journal, 2024, 23(1): 112.
- [5] 李佳圆,龙璐,廖加强,等. 华西老年人群健康队列研究总体方案[J]. 现代预防医学,2023,50(6):961-966,980.
Li JY, Long L, Liao JQ, et al. The protocol for the West China Health and Aging Cohort Study [J]. Modern Preventive Medicine, 2023, 50(6): 961-966, 980.(In Chinese)
- [6] 朱江波,赵润颖,邹雁秋,等. 华西骨健康队列总体研究方案[J]. 中华流行病学杂志,2025,46(10):1857-1862.
Zhu JB, Zhao XY, Zou YQ, et al. The overall study protocol for the West China Bone Health Cohort[J]. Chinese Journal of Epidemiology, 2025, 46(10): 1857-1862.(In Chinese)
- [7] 高键,费嘉庆,姜立经,等. 应用于膳食模式研究的简化膳食频率问卷信度和效度评价[J]. 营养学报,2011,33(5):452-456.
Gao J, Fei JQ, Jiang LJ, et al. Assessment of the reproducibility and validity of a simple food-frequency questionnaire used in dietary patterns studies[J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2011, 33(5): 452-456.

- (In Chinese)
- [8] Yuan YQ, Li F, Dong RH, et al. The development of a Chinese healthy eating index and its application in the general population[J]. *Nutrients*, 2017, 9(9): 977.
- [9] Wang AA, Xuan JQ, Chen H, et al. Eastern healthy dietary patterns in relation to all-cause mortality [J]. *European Journal of Nutrition*, 2025, 64(7): 286.
- [10] Guan Y, Lu YH, Lei SF. Physical activities mediate the correlations between serum creatinine and bone mineral density in Chinese[J]. *Clinica Chimica Acta*, 2022, 524: 25–33.
- [11] Dominguez LJ, Veronese N, Barbagallo M. Dietary patterns and healthy or unhealthy aging[J]. *Gerontology*, 2024, 70(1): 15–36.
- [12] Andreo-López MC, Contreras-Bolívar V, García-Fontana B, et al. The influence of the Mediterranean dietary pattern on osteoporosis and sarcopenia[J]. *Nutrients*, 2023, 15(14): 3224.
- [13] Schwenke DC. Dietary patterns to promote healthy aging [J]. *Current Opinion in Lipidology*, 2020, 31(4): 260–261.
- [14] 张彬, 许超, 彭翼, 等. 基于地中海饮食预防骨质疏松症研究进展[J]. *中华内分泌代谢杂志*, 2021, 37(6): 584–588.
- Zhang B, Xu C, Peng Y, et al. Progress on prevention of osteoporosis with Mediterranean diet [J]. *Chinese Journal of Endocrinology and Metabolism*, 2021, 37(6): 584–588.(In Chinese)
- [15] Ganapathy A, Nieves JW. Nutrition and Sarcopenia—What do we know?[J]. *Nutrients*, 2020, 12(6): 1755.
- [16] 中华医学会骨质疏松和骨矿盐疾病分会, 中国营养学会, 中国老年医学学会. 原发性骨质疏松症与肌少症的营养和运动管理专家共识(2025 年)[J]. *中华内分泌代谢杂志*, 2025, 41(5): 355–364.
- Chinese Society of Osteoporosis and Bone Mineral Research, Chinese Nutrition Society, Chinese Geriatrics Society. Expert consensus on the nutrition and exercise management for primary osteoporosis and sarcopenia (2025) [J]. *Chinese Journal of Endocrinology and Metabolism*, 2025, 41(5): 355–364.(In Chinese)
- [17] 陈昭燃, 全涛. 膳食组分改善骨骼肌功能的研究进展[J]. *食品安全质量检测学报*, 2025, 16(20): 288–295.
- Chen ZR, Tong T. Research progress on the improvement of skeletal muscle function by dietary components [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2025, 16(20): 288–295.(In Chinese)
- [18] Groenendijk I, van Delft M, Versloot P, et al. Impact of Magnesium on bone health in older adults: A systematic review and meta-analysis[J]. *Bone*, 2022, 154: 116233.
- [19] 张继国, 王惠君, 杜文雯, 等. 2022–2023 年中国十省(自治区)成年居民食物消费状况[J]. *卫生研究*, 2024, 53(6): 870–873.
- Zhang JG, Wang HJ, Du WW, et al. Food intake among adult residents in 10 provinces (autonomous regions) of China in 2022–2023[J]. *Journal of Hygiene Research*, 2024, 53(6): 870–873. (In Chinese)
- [20] Seal CJ, Nugent AP, Tee ES, et al. Whole-grain dietary recommendations: the need for a unified global approach [J]. *British Journal of Nutrition*, 2016, 115(11): 2031–2038.
- [21] 张伊, 向雪松, 高超, 等. 不同品种和加工精度谷物对大鼠血糖和血脂的影响 [J]. *Journal of Hygiene Research*, 2020, 49(3): 434–441.
- Zhang Y, Xiang XS, Gao C, et al. Effects of different varieties and processing degree grains on blood glucose and blood lipid in rats[J]. *Journal of Hygiene Research*, 2020, 49(3): 434–441.(In Chinese)
- [22] 王起山, 赵军英, 魏鑫越, 等. 乳制品对骨质疏松症的预防和干预作用研究进展[J]. *食品科学*, 2023, 44(9): 245–258.
- Wang QS, Zhao JY, Wei XY, et al. Research progress on preventive and interventional effects of dairy products on osteoporosis [J]. *Food Science*, 2023, 44(9): 245–258.(In Chinese)
- [23] Wright VJ, Schwartzman JD, Itinchoe R, et al. The musculoskeletal syndrome of menopause[J]. *Climacteric*, 2024, 27(5): 466–472.
- [24] Khan NA, Lawyer G, McDonough S, et al. Systemic biomarkers of inflammation, oxidative stress and tissue injury and repair among waterpipe, cigarette and dual tobacco smokers [J]. *Tobacco Control*, 2020, 29(Suppl 2): s102–s109.

收稿日期: 2026–03–10

读者·作者·编者

本刊对统计学符号的要求

按照 GB/T 3358.1 ~ 3–2009 《统计学术语》的有关规定, 统计学符号一律采用斜体排印。常用: (1) 样本的算术平均数用英文小写 $\bar{x}$ 或 mean (中位数英文叙述中用 M 或 median); (2) 标准差用英文小写 s 或大写 SD (限英文文献中); (3) 标准误用英文小写 $s_{\bar{x}}$ 或大写 SE (限英文文献中); (4) t 检验用英文小写 t ; (5) F 检验用英文大写 F ; (6) 卡方检验用希文小写 χ^2 ; (7) 相关系数用英文小写 r ; (8) 自由度用希文小写 ν 或 df (限英文文献中); (9) 概率用英文大写 P (P 值前应给出具体检验值, 如 t 值、 χ^2 值、 q 值等)。