

老年肌少症的运动干预

卢冬磊¹, 冯展鹏², 曹立全², 唐毅³, 谭思洁², 俞中涛⁴<https://doi.org/10.12307/2024.597>

投稿日期: 2023-12-04

采用日期: 2024-01-08

修回日期: 2024-01-17

在线日期: 2024-01-30

中图分类号:

R459.9; R318; R455

文章编号:

2095-4344(2024)35-05723-09

文献标识码: A

文章快速阅读: 不同运动方式对老年肌少症的改善作用

文章特点

- 系统总结了适合老年肌少症患者的4种运动形式,包括抗阻运动、有氧运动、全身振动训练、多组分运动,并对各种运动形式的作用效果及研究证据进行了分析与总结;
- 探寻了老年肌少症患者不同运动形式的干预策略,为老年肌少症患者设计、实施和评估运动锻炼计划提供参考和依据。

研究思路

老年肌少症的致病因素

抗阻运动对老年肌少症患者的影响及干预方案建议

有氧运动对老年肌少症患者的影响及干预方案建议

全身振动训练对老年肌少症患者的影响及干预方案建议

多组分运动对老年肌少症患者的影响及干预方案建议

文题释义:

肌少症: 或称“肌肉减少症”,源于希腊语,“sarx”意为肌肉,“penia”意为减少或丢失。肌少症是指与增龄相关的进行性、全身肌量减少和/或肌强度下降或肌肉生理功能减退。

全身振动训练: 是利用特定的振动平台通过一定频率和时间的振动达到刺激神经肌肉的运动方式。

摘要

背景: 肌少症是指与增龄相关的进行性、全身肌量减少和/或肌强度下降或肌肉生理功能减退,该病症与老年人多种不良结局的发生有关。运动被认为是老年人对抗肌少症的主要策略之一,但当前缺乏对不同运动方式干预肌少症的具体干预方式研究。

目的: 阐述肌少症的主要影响因素和不同运动方式改善老年肌少症的研究进展,为老年人对抗肌少症提供参考和依据。

方法: 英文检索词为“sarcopenia, sport, exercise intervention, resistant training, aerobic exercise, whole body vibration training, mixed training, physical performance, muscle strength, muscle mass等”;中文检索词为“肌少症、运动、运动干预、抗阻运动、有氧运动、全身振动训练、多组分运动、身体表现、肌肉力量、肌肉质量等”,分别检索Web of Science、PubMed、中国知网、维普、万方数据库,检索时限为2000年1月至2023年10月,对入选的126篇文献进行归纳总结。

结果与结论: ①抗阻运动仍是防治老年肌少症的最有效运动方式,且高强度抗阻运动效果更为显著,但在实际应用中应注意训练负荷强度的循序渐进;②有氧运动结合抗阻运动对老年人肌肉质量和功能的改善相对于单一运动模式效果更好,建议老年人前期可以进行低强度有氧运动过渡,后期可以个体化增加抗阻运动;③全身振动训练是一种新兴的防治老年肌少症的治疗方法,但在实际应用过程中要尤其注意频率、振幅、持续时间对患者的影响;④多组分运动结合了不同运动方式,可以最大程度发挥各自的优势,从而对其进行个性化运动干预。

关键词: 老年人;肌少症;抗阻运动;有氧运动;全身振动疗法;多组分运动

Exercise intervention methods for senile sarcopenia

Lu Donglei¹, Feng Zhanpeng², Cao Liquan², Tang Yi³, Tan Sijie², Yu Zhongtao⁴¹School of Sports Training, ²School of Sports and Health, ³School of Physical Education, Tianjin University of Sport, Tianjin 301617, China; ⁴Tianjin Sports Comprehensive Support Center, Tianjin 300193, China

Lu Donglei, Master candidate, School of Sports Training, Tianjin University of Sport, Tianjin 301617, China

Corresponding author: Tan Sijie, Professor, School of Sports and Health, Tianjin University of Sport, Tianjin 301617, China

Abstract

BACKGROUND: Sarcopenia refers to age-related progressive, systemic muscle mass reduction and/or muscle strength decline or muscle physiological function decline, which is related to the occurrence of a variety of adverse outcomes in older adults. Exercise is considered to be one of the main strategies for combating sarcopenia in older adults, but there is a lack of specific intervention methods of different exercise patterns to intervene in sarcopenia.

OBJECTIVE: To elaborate the main influencing factors of sarcopenia and the research progress of different exercise methods to improve sarcopenia in older adults, providing reference and basis for combating sarcopenia in older adults.

METHODS: Web of Science, PubMed, CNKI, VIP, WanFang databases were retrieved for relevant literature published from January 2000 to October 2023 using the keywords of “sarcopenia, sport, exercise intervention, resistant training, aerobic exercise, whole body vibration training, mixed training, physical performance, muscle strength, muscle mass” in Chinese and English, respectively. A total of 126 articles were included for review.

天津体育学院, ¹运动训练学院, ²运动健康学院, ³体育教育学院, 天津市 301617; ⁴天津市体育综合保障中心, 天津市 300193

第一作者: 卢冬磊, 男, 1999年生, 山东省高青县人, 汉族, 天津体育学院在读硕士, 主要从事体适能与健康促进方面的研究。

通讯作者: 谭思洁, 教授, 天津体育学院运动健康学院, 天津市 301617

<https://orcid.org/0009-0003-3643-9293> (卢冬磊)

基金资助: 科技部国家重点研发计划(2020YFC2006704), 项目参与者: 谭思洁; 天津市体育科学学会社科一般项目(22SK12), 项目负责人: 俞中涛

引用本文: 卢冬磊, 冯展鹏, 曹立全, 唐毅, 谭思洁, 俞中涛. 老年肌少症的运动干预[J]. 中国组织工程研究, 2024, 28(35):5723-5731.



RESULTS AND CONCLUSION: Resistance exercise is still the most effective way to prevent and treat senile sarcopenia, and the effect of high-intensity resistance exercise is more significant. However, in practical application, we should pay attention to the gradual increase of training load intensity. Aerobic exercise combined with resistance exercise is more effective to improve muscle mass and function in the elderly than a single exercise mode. It is suggested that older adults can carry out the transition of low-intensity aerobic exercise in the early stage and increase resistance exercise individually in the late stage. Whole body vibration training is a new treatment method for the prevention and treatment of senile sarcopenia, but particular attention should be paid to the effects of frequency, amplitude, and duration on patients during practical application. Multicomponent exercise combines different exercise modes, which can give full play to their respective advantages, so as to personalize exercise interventions.

Key words: older adults; sarcopenia; resistance exercise; aerobic exercise; whole body vibration training; multicomponent exercise

Funding: National Key Research and Development Program of the Ministry of Science and Technology, No. 2020YFC2006704 (to TSJ [project participant]); General Project of Social Science of Tianjin Sports Science Society, No. 22SK12 (to YZT)

How to cite this article: LU DL, FENG ZP, CAO LQ, TANG Y, TAN SJ, YU ZT. Exercise intervention methods for senile sarcopenia. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu. 2024;28(35):5723-5731.

0 引言 Introduction

肌少症是一种随年龄增加而出现的“年龄依赖性”老年综合类病症^[1]。2018年欧洲老年肌少症工作组对肌少症进行了新的定义，其特征表现在肌量减少、肌力下降和肌功能减退3个方面^[1-3]。国内社区居民肌少症的患病率为17%^[4]，且有逐年增加的趋势^[5]。研究表明，肌少症老年人发生继发性骨折^[6]、慢性阻塞性肺病^[7]、失眠^[8]、认知障碍^[9]、摔倒的风险显著高于普通老年人^[10]，这将引起老年人身体功能、生活质量的下降。

肌少症的发病机制较为复杂，身体活动量^[11]、神经肌肉功能^[11]、激素水平等均是重要的影响因素^[12]。目前，运动干预仍是预防和治疗肌少症的首选措施^[13-14]，其中抗阻运动对于改善肌内量、肌力具有优势^[15-17]，一项针对41例老年人的研究显示，持续6个月的抗阻训练能够显著提高握力和增加瘦体质量^[18]。也有研究发现，短期抗阻训练能够显著提高老年人的蛋白质合成率和神经适应性^[19]。此外，有氧运动可以增强肌肉毛细血管化，促进营养物质运输，从而推动肌原纤维蛋白合成和提高肌肉质量^[20]。新出现的运动形式对老年肌少症也有较好的干预效果^[21]，例如全身振动训练对于改善老年人平衡能力、下肢肌力和位置觉^[22]、提高老年人动静平衡能力及增强核心稳定性效果显著^[23]；多组分运动（抗阻运动结合有氧运动、抗阻运动结合有氧操等）因其较好的全面性、依从性被逐渐应用于肌少症的防治之中^[24-25]。

尽管不同运动形式对于改善老年肌少症均有效果，但是针对不同年龄、性别的老年肌少症患者采用何种运动强度、时间、频率未统一，因而此次研究旨在梳理老年肌少症的影响因素，辨析不同运动干预模式对老年肌少症患者的改善效果，为不同运动干预措施改善老年人肌肉减少症患者的肌肉质量和力量提供理论依据和实践参考。

1 资料和方法 Data and methods

1.1 资料来源

1.1.1 检索人及检索时间 第一作者于2023年8-10月进行检索。

1.1.2 检索文献时限 2000年1月至2023年10月。

1.1.3 检索数据库 中国知网、维普、万方、Web of Science、PubMed。

1.1.4 检索词 英文检索词: aging, sarcopenia, sport, exercise intervention, resistant training, aerobic exercise, whole body vibration training, mixed training, physical performance, muscle strength, muscle mass等; 中文检索词: 肌少症、运动、运动干预、抗阻运动、有氧运动、全身振动训练、多组分运动、身体表现、肌肉力量、肌肉质量等。

1.1.5 检索文献类型 综述报告、研究原著、基础实验和临床应用研究。

1.1.6 文献检索策略 以Web of Science数据库检索策略为例，见图1。

#1 TS=(sarcopenia)
#2 TS=(sport OR exercise intervention OR resistant training OR aerobic exercise OR whole body vibration training OR mixed training)
#3 TS=(physical performance OR muscle strength OR muscle mass)
#4 TS=#1 AND #2 AND #3

图1 | Web of Science 数据库文献检索策略图

1.1.7 检索文献量 计算机初筛共检索文献2715篇，其中英文文献1817篇（Web of science检索到903篇、PubMed检索到914篇）；中文文献898篇（中国知网364篇、万方287篇、维普247篇）。

1.2 入组标准

1.2.1 纳入标准 ①文章探究运动与肌少症的关系；②研究对象为60岁以上老年肌少症患者；③运动干预方式为抗阻运动、有氧运动、全身振动训练、多组分运动的相关文献；④与此次研究目的相关，质量高、权威性高的文献。

1.2.2 排除标准 ①重复性文献；②无同行评审的文献；③无法获取全文的文献。

1.3 文献质量评价 数据库共检索到文献2715篇，严格按照纳入和排除标准进行筛选，最终纳入文献126篇进行综述，文献筛选流程图见图2。

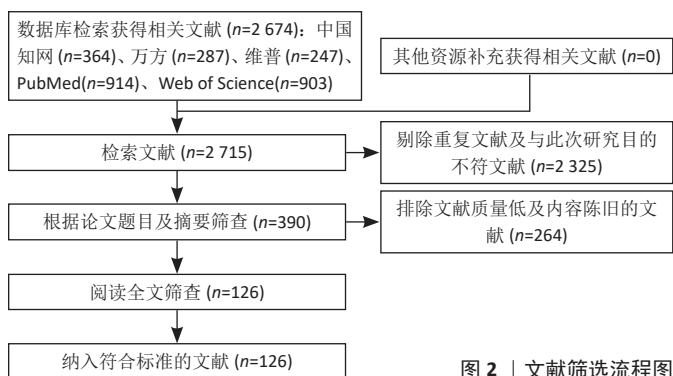


图2 | 文献筛选流程图

2 结果 Results

2.1 肌少症的演进历程 自1989年，美国塔芙茨大学教授ROSENBERG^[26]根据1988年在新墨西哥州阿布奎基召开的关于老龄人群健康和营养评估的会议精神，结合近10年相关研究的测量结果，正式定义了“骨骼肌减少症”（简称肌少症）。经过30余年的科研探索，肌少症的定义描述、内涵解读、诊断方法、诊断指标、诊断阈值以及诊断流程等逐步完善，形成了较为系统的评估体系^[27-29]。国内对于肌少症的研究起步较晚。1997年，国内学者王福彭在《世界科学》期刊发表了一篇科普性译文；一直到2007年，学者李海鹏^[30]、刘宇等^[31]研究团队在《体育科学》杂志发表的2篇论文才揭开国内肌少症学术研究的序幕。

SGRÒ等^[32]提出，运动、营养和药物是预防、延缓和治疗肌少症“三架马车”。然而目前，仍未有针对肌少症有效的治疗药物，非药物干预成为治疗肌少症的主要干预策略，而运动干预更是以其独特的性价比优势成为非药物干预的最佳方式^[33]。现已公认，抗阻运动是治疗肌少症最有效的运动干预手段^[14]，但鉴于身体状况条件限制或担心不良反应及损伤发生以至于不能参与抗阻运动治疗的肌少症人群，可结合个人情况及特点推荐一些可替代的运动干预手段如有氧运动、全身振动训练、多组分运动等^[34-41]，见表1。

2.2 肌少症的致病因素 肌少症是由众多因素重叠混杂导致，目前影响肌少症的主要发病因素是身体活动量的减少、营养状况、慢性炎症、激素水平的变化。

2.2.1 身体活动量较低的老年人罹患肌少症的风险会明显增加^[42] 随着年龄的增加，机体功能的不断衰退，老年人肌肉质量、肌肉力量等指标明显下降，其身体活动能力受限，长此以往将造成健康的恶化以及功能的受损。MEIER等^[43]调查了304名老年人，探讨身体活动与肌少症的关系，发现身体活动水平与肌少症患病风险呈显著负相关（ $r=-0.61$ ，

表 1 | 运动干预肌少症研究时间脉络表

发表年份	第一作者	研究类型	主要结果	研究意义
1994	FIATARONE ^[34]	随机对照研究	抗阻训练可以提高老年人骨骼肌力量和生活质量	首次提出体育运动、特别是力量性运动可以改善老年人肌肉力量及身体功能
1997	ROSENBERG ^[26]	回顾性研究	美国塔夫茨大学教授 Rosenberg 根据 1988 年在新墨西哥州阿布奎基召开的关于老年人健康及营养评估的会议精神, 结合近 10 年相关研究的测量结果, 正式定义了“骨骼肌减少症”(简称肌少症)	首次定义了肌少症, 认为肌少症是随年龄增长的骨骼肌质量的减少及其功能减退, 并提出体力活动对于治疗肌少症有积极影响
1998	BAUMGARTNER ^[35]	横断面研究	采用双能 X 射线吸收检测法等进行肌肉含量检测, 率先提出以四肢肌肉含量除以身高平方 (kg/m ²) 作为诊断指标, 参照 18-40 岁青年对照人群 2xSD 的下限作为诊断阈值 (cut-off points)	首次提出肌少症诊断标准且至今沿用最广
2010	CRUZ-JENTOFT ^[36]	回顾性研究	将低肌肉质量、肌肉力量和身体活动能力作为肌少症的综合诊断标准	第一个国际共识, 明确肌少症的临床定义和共识诊断
2014	CHEN ^[37]	回顾性研究	结合亚洲人体征, 确定亚洲人肌少症诊断标准: 男性低于 7.0 kg/m ² , 女性低于 5.4 kg/m ²	第一个亚洲共识, 明确亚洲人肌少症诊断标准
2015	HASSAN ^[38]	随机对照研究	抗阻运动对养老院高龄肌少症患者具有积极作用	第一项严格参照各项国际共识标准开展肌少症“确诊后再运动干预”的抗阻运动对肌少症影响的随机对照研究
2015	孙建琴 ^[16]	回顾性研究	针对国内老年肌少症的运动干预提出了专家共识	国内第一项针对老年肌少症患者的运动干预共识
2019	CRUZ-JENTOFT ^[28]	回顾性研究	明确临床可操作的肌少症评价指标。包括: 肌肉力量(握力), 肌肉数量/质量(评估附肢瘦质量或骨骼肌质量)和运动表现(评估步态速度或身体功能表现)	形成目前较为完整的肌少症评估体系
2019	BECKWÉE ^[39]	回顾性研究	提出肌少症主要干预手段有抗阻运动、有氧运动、血流限制训练、多组分运动干预、抗阻联合营养干预, 上述手段均对肌肉力量或身体功能两个维度表现出积极的改善效果	第一次围绕肌少症的干预效果做了伞形综述 (umbrella review)
2020	CHEN ^[40]	回顾性研究	根据亚洲人体征进一步修改男性握力(握力 < 28 kg)肌少症判定标准, 以及完善身体功能评价指标	形成目前针对亚洲人群较为完整的肌少症评估体系
2021	IZQUIERDO ^[41]	回顾性研究	提出针对老年肌少症患者的不同类型运动干预建议	该共识生命为使用运动和不同类型体力活动促进老年人健康以及慢性疾病预防和治疗提供了循证理由

$P < 0.001$), 这是由于随着老年人身体活动量的减少, 增龄相关的肌肉失用性萎缩加速肌肉退化, 从而引起肌肉力量迅速下降^[44]。张浩等^[45]利用中国健康与养老追踪调查 2015 年数据, 采用 logistic 回归分析可能发生肌少症的影响因素, 结果表明除年龄 ($OR=2.72, P < 0.001$) 外, 低身体活动 ($OR=1.65, P < 0.001$) 可能为肌少症发生的第二大危险因素。HAMER 等^[46]调查了英国 6 228 名老年人, 探讨两种注视屏幕久坐类型与握力之间的关系, 结果显示, 在调整了年龄、体力活动、吸烟、饮酒、慢性疾病等混杂因素后, 每天观看电视时长大于 6 h 的人与较低的握力相关 (男性, $B=-1.20 \text{ kg}, 95\%CI: -2.26, -0.14$; 女性, $B=-0.75 \text{ kg}, 95\%CI: -1.48, -0.03$), 提示长时间久坐可能会导致老年肌肉力量的下降。王坤等^[47]认为, 较低的体力活动水平会导致肌肉力量降低及肌肉萎缩, 从而使得基础代谢率和运动代谢率降低, 进而加重久坐的习惯, 使体质量恶性循环地增加。低体力活动水平会损伤肌细胞代谢功能, 导致肌肉质量及力量下降, 而高体力活动水平则可通过促进蛋白质合成、改善机体低水平慢性炎症状态以及增加抗氧化作用来保持中老年人肌肉力量^[45]。

2.2.2 不良的营养状况是导致肌少症的重要危险因素^[48] 老年人身体活动量的减少通常伴随着高脂肪的不均衡饮食^[49], 这使肌肉和肝脏中的脂肪沉积, 高脂肪会影响骨骼肌和卫星细胞的组成和结构, 从而影响运动后的肌肉修复和再生过程^[50]。老年人生活习惯、饮食习惯的改变可能会导致蛋白质摄入不足, 再加上肌肉纤维逐渐纤维化被脂肪组织代替, 从而导致肌少症的发病率明显增加^[51], 同时, 老年人体内泛素-蛋白酶系统平衡会随着年龄的增大被打破, 泛素-蛋白酶系统是调节蛋白质平衡、保持蛋白质稳态的重要途径, 随着年龄的增加, 泛素-蛋白酶系统中的肌萎缩素和肌环指蛋白 1 表达水平显著增加, 进而促进蛋白质的降解^[52]。蛋白质的合成代谢与分解代谢平衡决定了肌肉量的多少, 当老年人摄入蛋白质不足时会导致体内蛋白质的分解代谢速率超过合成代谢速率^[53], 从而使得肌肉质量下降。老年人由于室外活动较少、营养摄入及吸收降低和体内维生素 D 羟化酶活性降低等因素, 往往存在维生素 D 缺乏的现象^[16]。维生素 D 的摄入不足会导致线粒体活性氧产生过多从而加剧肌肉萎缩、氧化损伤和 ATP 降低, 使老年人肌力下降增大患肌少症的风险^[54-55]。研究表明, 严重缺乏维生素 D 可导致肌肉萎缩现象, 且补充维生素 D 可逆转这一现象^[56]。此外, 蛋白质的合成和调节钙转运这一过程也会受到维生素 D 的调节, 包括细胞增殖分化^[57]、肌肉收缩功能^[58]、改善肌力及肌肉生理功能^[59]。因此, 蛋白质和维生素 D 也是影响肌肉合成代谢的关键因素。

2.2.3 慢性炎症几乎是所有已知疾病的潜在致病因素 随着年龄的增加, 老年人机体衰老过程中通常伴随炎症标志物及其相关因子的增加, 与骨骼肌代谢相关的促炎细胞因子如白细胞介素 6、肿瘤坏死因子 α 及 C-反应蛋白等水平的升高会导致肌细胞减少, 导致肌少症患病风险增加^[60]。生长激素 (growth hormone, GH)/ 胰岛素样生长因子 1 (insulinlike growthfactors 1, IGF-1) 轴是骨骼肌生长和适应的关键介质, 自分泌 / 旁分泌 IGF-1 已被证明可调节骨骼肌的代偿性适应以及肌肉的生长和发育, 已经有研究表明, 白细胞介素 6 过表达可以干扰 GH/IGF-1 轴从而导致骨骼肌萎缩^[61]。BIAN 等^[62]探讨了老年肌少症与炎症因子白细胞介素 6 和肿瘤坏死因子 α 之间的关系, 指出肌少症患者血清中白细胞介素 6 和肿瘤坏死因子 α 的水平显著高于健康人。同时, VISSER 等^[63]的研究表明, 血清中肿瘤坏死因子 α 值的标准差每增加一个, 握力则会降低 1.2-1.3 kg。此外, 老年人由于功能衰退、免疫力下降, 机体更容易处于慢性炎症状态, 尤其是血清中 C-反应蛋白含量大量积聚时, 则会导致肌肉蛋白质合成减少、分解代谢增加, 从而使肌肉质量下降, 增加罹患肌少症的风险^[64]。

2.2.4 激素水平与肌少症的发生密切相关^[65] 激素水平 (生长激素、性激素、胰岛素等) 对人体维持肌肉的合成与降解平衡非常重要^[66]。BRIOCHE 等^[67]发现生长激素替代疗法可以增加骨骼肌蛋白质合成和线粒体生物的发生途径, 促进骨骼肌蛋白质的合成, 降低与年龄相关的氧化损伤, 从而促进骨骼肌肌肉质量增加及肌肉肥大。一项荟萃分析表明, 雌激素治疗可以改善绝经后女性的肌肉力量^[68] (相比对照组增加 5%); 而雌激素作为一种抗氧化剂和肌纤维膜稳定剂, 还可以维持骨骼肌收缩性及防治肌肉损伤^[69]。与雌激素类似, 雄激素 (如睾酮) 在骨骼肌生理学中起着至关重要的作用, 主要是促进蛋白质的合成和抑制肌肉蛋白的水解, 此外可以通过激活肌肉卫星细胞和增加 IGF-1 水平促进肌肉纤维的再生和修复^[70]。胰岛素也与肌肉合成与功能相关, 其通过增加氨基酸转运、蛋白质合成 [磷脂酰肌醇-3-激酶 (phosphatidylinositol 3-kinase, PI3K)、蛋白激酶 B (protein kinase B, Akt/PKB) 途径]^[71]、抑制蛋白质水解等, 在蛋白质代谢中发挥着重要作用。

除上述因素外, 肌少症还与肌肉线粒体功能障碍、慢性疾病、神经-肌肉功能紊乱、基因、肥胖等众多因素有关, 见图 3。

2.3 抗阻运动与老年肌少症

2.3.1 抗阻运动对老年肌少症患者的影响 抗阻运动目前是干预老年肌少症最有效的运动形式。有研究认为抗阻运动可降低血清 IGF-1 水平, 还发现在进行抗阻运动后血清中 IGF-1 浓度与骨骼肌质量呈负相关, 提示抗阻运动可以促进 IGF-1 在体内循环系统和骨骼肌组织之间的重新分布, 从而增加人体骨骼肌的合成代谢^[72]。当前对于抗阻运动促进骨骼肌合成代谢机制的主要观点为: 抗阻运动主要通过激活 IGF-1 下游蛋白 mTORC1, 进而磷酸化 eEF2、S6K1、4EBP1 等蛋白, 最后启动蛋白质翻

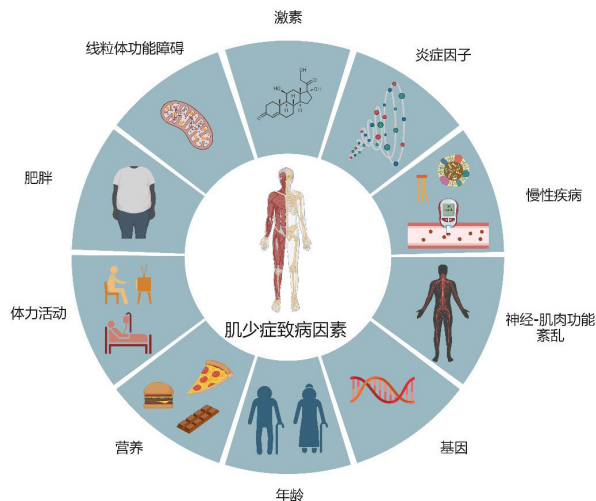


图3 | 肌少症致病因素

译与肽链延长过程，从而促进骨骼肌的合成代谢^[73]。多项研究证明，抗阻运动可以对抗和改善肌无力和身体虚弱，减轻与年龄相关的肌肉脂肪浸润^[74]，提高身体运动表现，增加肌纤维横断面面积及肌肉质量，提高胰岛素敏感性^[75]，降低老年人跌倒和骨折的风险^[76]。此外，抗阻运动可以通过改善体内葡萄糖稳态、防止肌肉脂质积聚、增加氧化和糖酵解酶能力、增强氨基酸摄取和蛋白质合成以及通过将合成代谢/分解代谢环境转向合成代谢来提高骨骼肌的合成代谢能力^[77]，从而改善肌肉质量。

抗阻运动的形式主要包括自重训练、抗阻训练器械、弹力带、抗阻训练结合营养干预等。CEBRIÀ IRANZO等^[78]研究表明，为期12周、每周训练3次、单次干预时长40 min的中等强度抗阻训练提高了老年肌少症患者呼吸肌和骨骼肌的肌肉力量。此外，VIKBERG等^[79]针对老年肌少症前期患者，采用为期12周、每周干预3次、每次训练45 min、中等运动强度的简易家庭抗阻训练进行干预，结果显示，抗阻训练干预组的瘦体质量平均增加了(1 147±282) g，身体总脂肪量减少了(553±225) g；身体功能表现方面，椅站测试时间减少了(0.9±0.6) s。LICHTENBERG等^[80]对22例老年肌少症患者进行了为期36周、每周2次、每次60 min的高强度抗阻训练运动干预，结果显示，受试者骨骼肌质量指数、握力、步行速度均得到较好改善。FLOR-RUFINO等^[81]探讨了为期24周、每周干预2次、每次干预65 min的高强度(70% 1RM, RM为最大力量, 1 repetition maximum)抗阻训练对肌少症患者身体成分、身体功能表现及MRI生物标志物的影响，结果显示高强度抗阻训练运动干预降低了身体脂肪含量，并增强了上肢和下肢的肌肉力量，此外生物标志物影像学显示干预后肌肉水和作用水平保持不变，微观脂肪量减少。提示中高强度的抗阻训练可以有效提高肌肉质量并防止功能性力量的丧失。

弹力带抗阻训练也是一种干预老年肌少症的常用运动手段。LIAO等^[82]发现，借助弹力带进行为期12周渐进式抗阻训练对患有肌肉减少性肥胖症的女性老年人的身体成分(无脂肪质量和肌肉质量指数增加；绝对总脂肪质量降低)和身体功能表现方面(步速、椅站测试、握力等)有显著改善。SEO等^[83]基于自重和弹力带，采用渐进式抗阻训练对12例老年女性肌少症患者进行为期16周运动干预，结果表明，渐进式抗阻训练改善了受试者的功能适应性、步速及等长肌肉力量，此外肌肉生长因子如卵泡抑素水平在干预后得到增加。上述研究提示，弹力带抗阻训练可有效改善老年肌少症患者的功能表现。

抗阻训练联合营养干预对老年肌少症的影响也十分重要。CHANG等^[84]、MALTAIS等^[85]和LICHTENBERG等^[80]证实了抗阻训练联合蛋白质营养补充对老年肌少症患者的影响，结果表明抗阻训练联合蛋白质营养干预有助于提高老年人骨骼肌肌肉质量及功能表现。CHANG等^[84]还发现在设计肌少症患者康复计划时可以先进行有营养支持的抗阻训练以快速增大肌肉体积，随后进行系统、结构性的家庭锻炼来保持之前的康复效果。提示抗阻运动的同时补充充足的膳食蛋白质被视为建立和维持肌少正老年人肌肉质量、力量以及功能的有效方案。

血流限制联合低强度抗阻运动作为一种新兴的运动干预方法，近来备受关注。该训练方法是在肢体近心端使用弹性绑带施加压力阻止静脉

回流，通过限制血流量，刺激肌肉对于低强度运动的适应性反应，从而提高肌肉质量和力量^[86]。LETIERI等^[87]针对11例60岁以上女性老年肌少症患者进行为期16周的血流限制联合低强度抗阻运动干预，结果表明，实验组肌肉质量、握力、椅站测试、6 min步行测试、上肢柔韧性等指标均有显著改善，且并未出现不良反应，这提示血流限制联合低强度抗阻训练可以应用于老年肌少症患者，具有较高的安全性，可更有效地提高肌肉质量、肌肉力量及身体功能表现的训练效果。但目前关于血流限制联合低强度抗阻运动的相关文献较少，针对现有各项肌少症诊断标准确定的肌少症患者的血流限制联合低强度抗阻运动的治疗效果相关研究仅有一篇，未来应扩大血流限制联合低强度抗阻运动治疗老年肌少症的相关研究，以评估其适用性及安全性。

综上，不同形式的抗阻运动对于改善老年肌少症患者的肌肉质量、肌肉力量及身体功能等具有重要作用，且高等强度的抗阻运动效果最佳，但需要注意的是老年肌少症患者因体质状况下降，骨质较弱，易发生骨折，因此干预运动强度需循序渐进，避免干预起始阶段采用大负荷高强度训练而产生不必要的运动损伤，见表2。

表2 | 抗阻运动对老年肌少症患者的影响

第一作者	研究对象	运动形式	时间	强度	结局指标及效应量	主要结论
CEBRIÀ IRANZO ^[78]	20例65岁以上老年肌少症患者	抗阻训练	12周，每周3次，每次40 min	40%–85% 1RM	四肢骨骼肌质量指数、膝伸力量、手臂屈曲力量、握力、最大吸气、呼气压力、步速	骨骼肌力量提高
VIKBERG ^[79]	36例(70.9±0.03)岁老年肌少症前期患者	抗阻训练	12周，每周3次，每次45 min	自感疲劳量表(RPE)为13, 14级的运动强度	骨骼肌质量指数、四肢骨骼肌质量指数、椅站测试、平衡能力、步速	肌肉质量提高，功能性肌肉力量得到改善
LICHTENBERG ^[80]	21例72岁以上老年肌少症患者	高强度抗阻训练+蛋白质补充	36周，每周2次，每次45 min	70%–85% 1RM	骨骼肌质量指数、步速、握力	肌肉质量提高，身体功能Z评分增加
FLOR-RUFINO ^[81]	20例(79.9±7.2)岁女性老年肌少症患者	高强度抗阻训练	24周，每周2次，每次65 min	70% 1RM	体质量指数、骨骼肌质量指数、体脂百分比、步速、膝伸最大力量、5次“起-坐”试验、绝对肌肉量、宏观脂肪浸润	肌肉质量提高，身体成分和肌肉功能得到改善，肌肉水合作用水平不变，微观脂肪量减少
LIAO ^[82]	25例(67.3±5.2)岁老年肌少症患者	弹力带	12周，每周3次，每次50 min	自感疲劳量表(RPE)为13级的运动强度	体质量指数、体脂百分比、步速、起立行走测试、骨骼肌质量指数	身体成分和身体功能得到改善
SEO ^[83]	12例(71.6±5.1)岁女性老年肌少症患者	抗阻训练	16周，每周3次，每次60 min	基于OMNI活动量表负荷渐进式进行抗阻训练	体质量、腰臀比、四肢骨骼肌质量指数、30 s椅站测试、步速、肌肉生长因子	肌肉质量和身体功能得到提高，卵泡抑素水平上升
CHANG ^[84]	57例(75.0±5.9)岁老年肌少症患者	抗阻训练+营养补充	12周，每周5次或增至80% 1RM，每次30 min	40% 1RM 随训练递进	骨骼肌质量指数、握力、步速、30 s坐站测试	肌肉质量增加，身体功能并无改善
MALTAIS ^[85]	26例60–75岁老年肌少症患者	抗阻训练+蛋白质补充	16周，每周3次，每次60 min	80% 1RM	体质量指数、骨骼肌质量指数、椅站测试、步态速度、握力	肌肉质量和身体功能得到改善
LETIERI ^[87]	11例(69.4±5.7)岁以上女性老年肌少症患者	血流限制联合低强度抗阻运动	16周，每周3次，单次训练3组，每组动作重复30、15、15次	20%–30% 1RM	肌肉质量、握力、椅站测试、6 min步行测试、上肢柔韧性	肌肉质量和身体功能得到改善

备注：RM为最大力量。

2.3.2 抗阻运动干预老年肌少症患者的方案建议 抗阻运动干预老年肌少症的效果受多方面因素的影响, 主要包括: 运动强度、运动频率和组间休息时间、运动形式。对此, 此次研究基于已有证据提出了抗阻运动干预老年肌少症效果的影响因素及建议方案。

(1) 运动强度: 抗阻运动中, 常用相对 1RM 的百分比或绝对值来表示训练负荷, 1RM 是指一个人在某个特定动作上在完整执行一次的情况下所能负荷的最大力量。多项研究证实中等到高等强度的抗阻运动可以改善老年肌少症患者的肌肉状况和功能表现^[74, 76]; 美国国家体能协会建议老年人进行抗阻运动锻炼时以 70%–85% 1RM 的运动强度肌肉状况改善效果较好^[88]。然而有研究指出老年人因增龄性退化并不推荐干预初期采用大强度抗阻训练, 推荐训练负荷由低到高渐进式逐步递增至中高训练负荷强度^[60]。此外, 不同老年肌少症患者之间身体情况差异较大, 在设定训练强度时应做到因人而异, 必要时可采用 Berg 疲劳感知量表等量表严密监控训练负荷。

(2) 运动频率和组间间隔: 运动频率是指每周运动次数, 此文纳入多数研究建议为每周至少 2 次, 每次训练时间 30 min 以上, 且均未发生不良事件; 同时, 世界卫生组织提出, 老年人应每周进行 2 次以上的中高强度活动^[89]。此外美国国家体能协会针对老年人抗阻训练计划中指出, 每周宜进行 2 次左右的多关节训练, 单次训练时间 30–60 min^[90]。上述提示, 抗阻训练干预老年肌少症患者时采用每周两三次, 单次干预时长为 40–60 min 较为合适。

组间间隔: 组间间隔是指运动中的组间恢复时间, 在一定程度上取决于干预方案中其他变量如运动强度、运动方式、运动量等变量的相互作用。在涉及老年人的抗阻运动中, 组间休息时间通常为 60–180 s, 但在训练早期阶段, 组间休息时间应取决于老年人对运动刺激的耐受性, 并由专业人员制订他们的休息时间, 而且该研究提示, 组间休息需至少 2 min 才能最大限度地提高个体肌肉力量增益^[16]。关于组间休息时间长短对抗阻训练肌肉的影响研究仍有待大样本的随机对照试验研究加以验证。

(3) 运动形式: 抗阻运动干预老年肌少症的运动方式分为自重和借助健身训练器械进行训练。常规的自重抗阻训练方式包括深蹲、仰卧起坐、俯卧撑、站姿提踵等; 而借助健身训练器械的抗阻训练的常用设备包括各种康复力量训练器械如划船机、史密斯训练仪、腿举器、血流限制加压绑带等, 此外最近新兴的带有负荷数值的弹力带也因其直观性、便捷性、低成本性逐步步入大众的视野。

综上, 建议针对老年肌少症患者进行抗阻训练遵循干预频次为每周两三次, 单次干预时长为 40–60 min, 组间间隔 60–180 s, 运动强度为中高强度, 运动形式为自重训练、抗阻训练器械、弹力带、抗阻训练结合营养干预以及血流限制联合低强度抗阻运动的干预方案。

2.4 有氧运动与老年肌少症

2.4.1 有氧运动对老年肌少症患者的影响 有氧运动是指在氧供充足时全身大肌群参与的持续性、有一定节奏性、较低强度的运动^[91]。长期规律的有氧运动可以防治多种代谢疾病, 其机制是通过调节骨骼肌细胞不同代谢通路进行调控, 从而改善代谢紊乱, 而代谢紊乱可加速骨骼肌的衰老、凋亡, 因此有氧运动的增肌效果可能没有抗阻运动效果好, 但可能是改善老年肌少症的有效方法^[92]。研究表明, 随着年龄的增长, 老年人骨骼肌细胞会出现胰岛素抵抗病理状态^[93], 可能与衰老骨骼肌细胞蛋白质合成代谢功能下降有关。BACURAU 等^[94]研究表明, 有氧运动可通过增强胰岛素信号通路 (Akt/mTORC1) 敏感性、增加小鼠骨骼肌细胞蛋白质合成从而发挥肌肉萎缩作用。由于线粒体在调控骨骼肌细胞能量代谢、信号通路及凋亡中发挥关键作用, 因此线粒体功能失调与骨骼肌衰老密切相关^[95], 而有氧运动可以抑制细胞凋亡因子的表达, 上调过氧化物酶体增殖物受体 γ 共激活因子 1 α 的表达, 从而提高细胞线粒体质量和健康线粒体的合成, 增强代谢酶活性, 从而改善骨骼肌功能并提高衰老骨骼肌的有氧能力^[96]。针对干预老年肌少症, 有氧运动方式主要包括健步走、有氧操、游泳等。

健步走是干预老年肌少症常见的运动形式。OSSOWSKI 等^[97]采用为期 12 周、每周干预 3 次、每次训练时间 57–63 min、以最大心率 50%–70% 运动强度的北欧式健步走对 23 例 63–79 岁老年肌少症患者进行干预, 结果显示, 受试者的骨骼肌质量指数、膝关节等长肌肉力量、身体功能表现得到显著改善, 体质量、体质量指数、体脂百分比显著下降。

BRIGHTWELL 等^[98]对 12 例 65 岁以上健康老年人进行为期 24 周、每周干预 3 次、单次干预时长 45 min、以 70% 强度储备心率的健步有氧运动方式进行干预, 结果显示, 运动干预后受试者身体成分并无显著变化, 最大摄氧量提升了 15.95%, 肌纤维蛋白合成率从干预前每小时 0.039 6% 提升到每小时 0.059 7%、毛细血管密度显著增加、骨骼肌质量和股四头肌肌肉力量也得到改善。

有氧操是由专业教练严格按照有氧代谢心率制定的一种全身性锻炼的运动方式, 该运动方式简单易学、趣味性较好, 对患肌少症人群要求不高, 可随时跟练。CHEN^[99]对 15 例 65–75 岁老年肌少症患者进行为期 8 周、每周干预 2 次、每次训练时间 55–65 min、中等强度的有氧舞蹈干预, 结果表明, 与空白对照组相比, 短期中等强度的有氧运动可以提高老年肌少症患者的肌肉质量、并会减少总脂肪量和挥发性脂肪酸, 同时有氧训练可使得老年肌少症患者的血清 IGF-1 水平提高。MASON 等^[100]指出, 为期 12 个月的有氧运动干预可小幅提高女性老年肌少症患者的肌肉质量, 并指出通过有氧运动干预使女性老年肌少症患者的体质量适当减少 5%–10%, 并且可以降低多种慢性病的患病风险, 这是有氧运动干预相对于阻力运动干预的优势所在。

多种组合有氧运动是指多种不同方式有氧运动相互组合的运动方式。多种组合有氧运动可根据患者具体需求进行个性化制定, 患者亦可选择感兴趣的一种或多种有氧运动方式同时进行训练, 增加了其依从性。魏洪洪等^[101]针对 60–75 岁肌少症患者进行为期 20 周、每周干预四五次、单次干预 40–60 min 的快走、慢跑、游泳、健身操、广场舞等多种形式相结合的有氧运动干预, 结果表明, 有氧运动和抗阻运动均有助于预防老年人与年龄相关的肌间脂肪积累, 但无法实现肌间脂肪积累的逆转, 且在预防肌少症发生发展中, 抗阻运动的效果优于有氧运动。见表 3。

表 3 | 有氧运动对老年肌少症患者的影响

第一作者	研究对象	运动形式	时间	强度	结局指标及效应量	主要结论
OSSOWSKI ^[97]	23 例 (68.7±4.43) 岁老年肌少症患者	健走	12 周, 每周 3 次, 每次 57–63 min	50%–70% 1HR _{max}	体质量指数、骨骼肌质量指数、握力、起立行走测试、6 min 步行试验	肌肉质量、下肢肌肉力量提高, 运动表现增强
BRIGHTWELL ^[98]	12 例 65–82 岁健康低体力活动老年人	健走	24 周, 每周 3 次, 每次 45 min	70% HR _{max}	体质量指数、骨骼肌质量指数、生理生化指标	肌肉蛋白合成分增加, 肌肉质量提高
CHEN ^[99]	15 例 65–75 岁老年肌少症患者	有氧舞蹈	8 周, 每周 2 次, 每次 55–65 min	教练制定强度为中级	体质量指数、骨骼肌质量指数、挥发性脂肪酸、背伸力量、脂肪酸减少、胰岛素样生长因子 1	肌肉质量和肌肉力量提高, 总脂肪量和挥发性脂肪酸减少, 胰岛素样生长因子 1 水平升高
MASON ^[100]	117 例女性老年肌少症患者	借助跑步机、单车等器械训练	48 周, 每周 3–5 次, 每次 15–45 min	前 6 周 60%–70% HR _{max} , 后续训练 70%–85% 1HR _{max}	体质量指数、骨骼肌质量指数、下肢肌肉量、血清 25(OH)D、维生素 D	肌肉质量提高
魏洪洪 ^[101]	30 例 (66.3±3.9) 岁老年肌少症患者	快走、游泳等	20 周, 每周四五次, 每次 40–60 min		L ₃ 椎体水平骨骼肌面积及密度、骨骼肌间隙脂肪面积以及骨骼肌间隙脂肪密度	肌间脂肪积累减少

表注: HR 为心率。

基于相关表型的研究提示, 有氧运动可通过刺激线粒体生物合成来提高骨骼肌的质量、增加成骨相关基因表达以及通过 Wnt/ β -catenin 和 PI3K/Akt 信号通路改善骨骼及肌肉的质量和力量, 有效防治肌肉骨骼减少症的发生。Wnt/ β -catenin 和 PI3K/Akt 信号通路在调控骨骼肌生成和骨组织代谢中发挥重要作用。研究表明, 长期低强度有氧运动可以增加 AMP 依赖的蛋白酶的活性, 从而刺激健康线粒体的合成以改善骨骼肌细胞的代谢能力^[102]。王兵等^[103]对年老大鼠进行 12 周有氧运动干预, 结

果显示老年大鼠股骨中 Wnt1、Wnt3a、Lrp5、Axin2 和 Ctnnb1 的 mRNA 水平明显增加，因此长期有氧运动可以增强老年大鼠骨组织中 Wnt/ β -catenin 通路的活性，从而延缓老年大鼠的骨质流失。此外有报道，对去卵巢大鼠进行有氧运动干预可以通过调控 PI3K/Akt 信号通路来调整线粒体稳态以增加肌肉质量^[104]。但目前仍缺乏针对老年肌少症人群或动物模型的研究^[105]。因此，需做进一步相关研究探索有氧运动在老年肌少症患者中的作用效果及其生物学机制。

2.4.2 有氧运动干预老年肌少症患者的方案建议 运动强度、运动频率、运动形式主要制约有氧运动干预老年肌少症的效果。对此，此次研究基于已有证据提出了抗阻运动干预老年肌少症效果的影响因素及建议方案。

(1) **运动强度**：纳入多数研究表明，中等强度或高强度的有氧运动在老年肌少症患者的应用是安全有效的。但需要注意的是，高强度的有氧运动可以损伤老年小鼠骨骼肌细胞线粒体并增加活性氧簇炎症与炎症因子堆积，从而使小鼠衰老加快^[106]。此外其中高强度有氧运动对老年肌少症患者的体质要求较高，更适用于肌少症诊断初期和康复期病情平稳的患者。此文纳入研究多数为以直接心率法确定运动强度，综合所纳入研究，建议运动强度为 50%-70% 最大心率。

(2) **运动频率**：此文纳入多数研究建议为每周至少 2 次，每次训练时间 15 min 以上，且均未发生不良事件；美国运动医学会针对老年肌少症患者运动频率为每周干预 3-5 次，单次干预时长 75-150 min(根据运动强的大小调节)的中等强度或高强度的有氧运动^[90]；上述提示，有氧运动干预老年肌少症患者时采用每周 2-5 次、单次干预时长为 15-65 min 的运动频率较为合适。

(3) **运动形式**：有氧运动干预老年肌少症的运动方式分为自重和借助健身训练器械进行训练。常规的自重有氧训练方式包括健走、慢跑、跑步、游泳等。而借助健身训练器械的有氧训练的常用设备包括各种有氧训练器械如功率自行车、跑步机等。

综上，建议针对老年肌少症患者进行有氧训练遵循干预频次为 2-5 次每周，单次干预时长为 15-65 min，运动强度为中等强度或高强度，运动形式为健走、慢跑、跑步、游泳、骑行等的干预方案。

2.5 全身振动训练与老年肌少症

2.5.1 全身振动训练对老年肌少症患者的影响 全身振动训练是通过特定振动台，利用其产生的冲击性振动刺激肌群，提高主动肌的激活程度并增加高阈值运动单位的活性，从而引起参与运动单位高频率放电，达到神经肌肉系统兴奋性提高的训练方法^[105]。全身振动训练运动提高肌肉质量、力量及身体功能表现的根本生物学效应之一是训练过程中能够通过表面肌电监测到横纹肌活动的增加^[107]，通过直接刺激肌肉引起肌肉反射性的收缩及调节肌肉的神经兴奋性来改善肌肉状况^[108]。此外有研究表明，全身振动训练还可以提高血清中的睾酮和生长激素水平，降低皮质醇水平，促进骨骼肌蛋白质合成代谢，改善肌肉萎缩情况^[109]。

多项研究已证实全身振动训练运动在肌少症中的临床效果，见表 4。WEI 等^[110-112]针对老年肌少症患者进行不同频率全身振动训练的多项研究证实，进行全身振动训练运动干预时，40 Hz 的全身振动频率与每次 360 s 的持续时间相结合对于肌肉力量和运动表现的改善效果最好。ZHU 等^[113]的研究表明持续 8 周频率为 12-16 Hz、振幅为 4 mm 的全身振动训练会改善老年肌少症患者的髂腰肌、股四头肌和胫骨前肌的肌力以及握力，且 5 次坐立时间和起立-行走测试时间明显缩短，但对肌肉质量并无明显改善。表明全身振动训练可以通过改善肌肉力量来防治老年肌少症。WEI 等^[114]针对 65 岁以上老年肌少症患者进行全身振动训练，对于股四头肌的自主激活效果研究发现，持续 12 周频率为 40 Hz、振幅为 4 mm、每次 6 min 的全身振动训练有助于老年肌少症患者的股四头肌的自主激活。WADSWORTH 等^[115]指出，便携、高效、低强度的全身振动训练可以提高体弱老年人的身体功能表现，但在停训一段时间后，干预效果会减少或消失。

当前全身振动训练应用于老年肌少症的相关研究较少，并且部分研究人员对于全身振动训练防治老年肌少症持不同观点，这可能与振动台设置的强度和训练时长有关。因此，未来需有进一步研究验证全身振动训练在改善老年肌少症方面的效果。

2.5.2 全身振动训练运动干预老年肌少症患者的方案建议 振动台频率、振幅及运动频率主要制约全身振动训练干预老年肌少症的效果。对此，

表 4 | 全身振动训练对老年肌少症患者的影响

第一作者	研究对象	运动形式	时间	强度	结局指标及效应量	主要结论
WEI ^[110]	20 例 69 岁以上老年肌少症患者	振动台	12 周、每周 3 次、每次 6 min	频率 40 Hz, 振幅 4 mm	骨骼肌质量指数、膝伸力量、起立走测试、步速	肌肉力量和身体素质得以改善
WEI ^[111]	30 例 69 岁以上老年肌少症患者	振动台	12 周、每周 3 次、每次 4-12 min	频率 20-60 Hz, 振幅 4 mm	骨骼肌质量指数、膝伸力量	膝伸力量提高, 频率 40 Hz 持续时间 6 min 的方案效果最好
WEI ^[112]	120 例 65 岁以上老年肌少症患者	振动台	12 周、每周 3 次、每次 4-12 min	频率 20-60 Hz, 振幅 4 mm	骨骼肌质量指数、起立走测试、步速	频率 40 Hz 持续时间 6 min 的方案对改善身体功能表现效果最好
ZHU ^[113]	28 例 (88.5±3.7) 岁老年肌少症患者	振动台	8 周、每周 5 次、每次 15 min	频率 12-16 Hz, 振幅 4 mm	骨骼肌质量指数、膝伸力量	肌肉力量提高, 身体功能表现得以改善
WEI ^[114]	6 例 65 岁以上老年肌少症患者	振动台	12 周、每周 3 次、每次 6 min	频率 40 Hz, 振幅 4 mm	肌肉抽搐率值	有助于股四头肌自主激活
WADSWORTH ^[115]	36 例 (82.5±7.9) 岁老年肌少症患者	振动台	16 周、每周 3 次、每次 5-10 min	频率 6-26 Hz, 振幅 2-4 mm	起立走测试、10 min 步行测试、Barthel 指数问卷	身体功能表现得以改善

此次研究基于已有证据提出了全身振动训练干预老年肌少症效果的影响因素及建议方案。

(1) **振动台频率、振幅**：人体是一个弹性体，每个器官都有其固有的振动频率，因此在应用全身振动训练干预方案时应谨慎设计其频率及振幅。MESTER 等^[116]的研究表明，人体对振幅 0.5 mm、频率 20-25 Hz 的全身振动具有不良反应。此外，研究表明如果振动加速较大，也易发生不良反应，甚至对脏器产生伤害^[117]。结合此文纳入文献，建议振动台频率 50 Hz 左右、振幅为 4 mm。

(2) **运动频率**：此文纳入全身振动训练干预老年肌少症研究的运动频率多为每周 3 次，单次干预时长 4-15 min，且均未产生不良反应。此外，有研究报道过长的振动时间会对人体产生不良反应^[118]。因此，建议运动频率每周训练 3 次、单次干预时长 5-10 min。

综上，建议针对老年肌少症患者进行全身振动训练遵循运动频率每周训练 3 次、单次干预时长 5-10 min、振动台频率 50 Hz 左右、振幅为 4 mm 的干预方案。

2.6 多组分运动与老年肌少症

2.6.1 多组分运动对老年肌少症患者的影响 多组分运动是指肌少症运动干预过程中不局限于某一种运动手段，而是将多种运动干预手段互相组合，如抗阻运动、有氧运动、柔韧性训练及功能性训练融合使用^[119]。每种运动干预手段对肌肉质量和身体功能都有其独特的特征和预期效应，且会对其他系统器官产生相对应的预期效用。多组分运动结合了不同的运动方式，可以最大程度发挥单个运动手段各自的优势，并根据肌少症老年人不同的年龄、体质量、身体情况等提供更适合他们的个性化运动干预。持续、系统、规律的多组分运动能够降低患者的体脂含量、促进脂肪因子的变化以及改善老年人的身体成分、肌肉力量和功能表现。

KIM 等^[120]、PARK 等^[121]、ZHU 等^[122]指出，包含抗阻训练、有氧训练及平衡训练在内的多组分运动可以提高老年肌少症患者的肌肉质量、肌肉力量，并改善其身体成分及运动表现。MAKIZAKO 等^[123]研究表明，为期 12 周包含抗阻训练、有氧训练、平衡训练、柔韧性训练的多组分运动不仅提高了老年肌少症患者的握力，而且椅站测试时间减少、步速增快，但右侧大腿骨骼肌质量指数并无显著改善。BAGHERI 等^[124]证实了为期 12 周包含抗阻训练和有氧训练在内的多组分运动干预不仅提高了老年肌少症患者的体脂率和下肢肌肉力量，而且最大摄氧量水平也有所提升。以上说明，多组分运动可以改善老年肌少症患者的肌肉力量、身体功能表现以及心肺功能。MARUYA 等^[125]的研究表明，24 周包含抗

阻训练和有氧训练在内的多组分运动训练有效改善了老年肌少症患者的最大步行速度和肌肉力量,但对改善肌肉质量的效果微乎其微。MONTI等^[126]指出,为期2年包含抗阻训练、平衡训练和有氧训练在内的多组分运动提高了老年肌少症患者的握力,提高了简易体能状况量表所测得分,改善了其身体成分。多组分运动干预可以刺激和促进机体众多生理系统(神经肌肉系统、心血管系统等)产生良性适应,进而改善老年肌少症。见表5。

表5 | 多组分运动对老年肌少症患者的影响

第一作者	研究对象	运动形式	时间	强度	结局指标及效应量	主要结论
KIM ^[120]	39例75岁以上老年肌少症患者	抗阻训练+平衡训练+步行	12周、每周2次、每次60 min	抗阻训练:自感疲劳指数 Berg 12-14;平衡、步行:负荷渐进式递增(50%-150%)	四肢骨骼肌质量指数、膝伸力量、步速	肌肉质量和肌肉力量提高,步行速度等身体功能表现改善
PARK ^[121]	25例(74.1±6.1)岁老年肌少症患者	抗阻训练+有氧训练	24周、每周3次、每次50-80 min	Berg自感疲劳指数均为13-17	四肢骨骼肌质量指数、握力、步速	降低了颈动脉内膜中层厚度,增加了血管内血液流速,降低了患心脑血管疾病的风险
ZHU ^[122]	40例75岁以上老年肌少症患者	抗阻训练+有氧训练	24周、每周3次、每次25-40 min	运动负荷强度由专业教练监控,为中等运动强度	四肢骨骼肌质量指数、膝伸力量、步速、握力、椅站测试	步速得到提高,身体功能表现得到改善
MAKIZAKO ^[123]	36例(75±6.9)岁老年肌少症前期患者	抗阻训练+平衡训练+柔韧性训练	12周、每周3次、每次60 min	运动负荷强度由专业教练监控,为负荷渐进式	右侧大腿骨骼肌质量指数、椅站测试、步速、握力	肌肉力量提高、身体功能表现得到改善
BAGHERI ^[124]	10例(64.3±3.5)岁男性老年肌少症患者	抗阻训练+有氧训练	8周、每周3次	负荷强度均为自重	体脂率、四肢骨骼肌质量指数、膝伸力量、最大摄氧量	身体成分、肌肉力量及最大摄氧量提高
MARUYA ^[125]	34例60岁以上老年肌少症患者	抗阻训练+有氧训练	24周、每周3次		骨骼肌质量指数、膝伸力量、握力、握力、简易体能状况量表	最大步行速度和肌肉力量得到提高
MONTI ^[126]	24例(78.7±5.9)岁女性老年肌少症患者	抗阻训练+有氧训练+平衡训练	96周、每周2次		体质量指数、骨骼肌质量指数、简易体能状况量表、握力	肌肉力量提高、身体成分和身体功能表现得到改善

2.6.2 多组分运动干预老年肌少症患者方案建议 由于多组分运动涉及多种不同运动方式及运动形式,且针对多组分运动防治肌少症的相关研究较少,因而此文结合纳入文献,建议多组分运动干预措施以抗阻训练为主,同时辅以有氧训练、平衡、柔韧。训练强度为中等强度,强度判断可根据自我用力感觉量表、Berg疲劳指数量表及专业教练指导进行监控;训练时间和频率以每次30-50 min、每周干预两三次为宜。

2.7 老年肌少症患者运动方案建议 通过总结分析相关文献,制定防治老年肌少症患者的运动方案见表6。

3 小结与展望 Summary and prospects

3.1 小结 运动已然成为改善老年肌少症患者的有效方式:①抗阻运动仍是防治老年肌少症的有效运动方式,且高强度抗阻运动效果更为显著,但在实际应用中应注意训练负荷强度的循序渐进;②有氧运动结合抗阻运动对老年人肌肉质量和功能的改善相对于单一运动模式效果更好,建议老年人前期可以进行低强度有氧运动过渡,后期可以个体化增加抗阻运动;③全身振动训练是一种新兴的防治老年肌少症的治疗方法,目前,对老年肌少症应用全身振动训练进行干预的研究较少,且不同学者对全

表6 | 老年肌少症患者运动方案建议

运动类型	运动频率	运动强度	运动时间	运动方式
抗阻运动	每周两三次	以40%-50% 1RM为起始负荷,后续干预过程中逐渐增加负荷到85% 1RM; RPE (0-20): 12-13; 血流限制联合低强度抗阻运动强度为20%-30% 1RM	重复次数10-15次,重组数一两组,每日训练40-60 min; 8-10个大肌群训练	深蹲、仰卧起坐、俯卧撑、站姿提踵,血流限制联合低强度抗阻运动
有氧运动	3-5次/周	50%-70%最大心率, RPE (0-20): 11-12, 运动中能说话但不能唱歌	单次干预时长15-65 min	健走、慢跑、跑步、游泳、骑行
全身振动训练运动	3次/周	振动台频率50 Hz左右、振幅为4 mm	单次干预时长5-10 min	振动台
多组分运动	每周两三次	60%-70% 1RM, RPE (0-20): 12-14	单次干预时长30-45 min	包括抗阻、有氧、爆发力、柔韧、平衡训练等

表注: RM为最大力量, RPE为自感疲劳量表分级。

身振动训练治疗肌少症持不同观点,因此需进一步探索全身震动训练防治老年肌少症的机制,从而预防老年肌少症的发生;④建议多组分运动干预措施以抗阻训练为主,同时辅以有氧训练、平衡、柔韧等运动形式长期规律坚持运动。

3.2 展望 目前运动干预老年肌少症的生理机制尚未明确,需进一步探索不同运动形式改善老年肌少症的生理机制;未来应对不同运动方式治疗不同患病阶段老年肌少症的效果及处方研究进行探索;目前尚没有多组分运动干预时不同运动的干预顺序对效果影响的研究,同时,根据肌少症患者所处患病阶段制定个性化的运动方案也是未来研究的主要方向;此外,有证可循的运动干预方案应尽快应用于临床实践。

致谢:感谢天津体育学院各位老师的支持,感谢同组成员的帮助。

作者贡献:卢冬磊、冯展鹏主力参与实验设计、数据采集、论文撰写,通讯作者谭思洁老师把控论文整体思路,曹立全、唐毅、俞中涛参与了文章的整体规划和布局。

利益冲突:文章的全部作者声明,在课题研究和文章撰写过程中不存在利益冲突。

开放获取声明:这是一篇开放获取文章,根据《知识共享许可协议》“署名-非商业性使用-相同方式共享4.0”条款,在合理引用的情况下,允许他人以非商业性目的基于原文内容编辑、调整和扩展,同时允许任何用户阅读、下载、拷贝、传递、打印、检索、超级链接该文献,并为之建立索引,用作软件的输入数据或其它任何合法用途。

版权转让:文章出版前全体作者与编辑部签署了文章版权转让协议。

出版规范:该文章撰写遵守了《系统综述和荟萃分析报告规范》(PRISMA指南)。文章出版前已经过专业反剽窃文献检测系统进行3次查重。文章经小同行外审专家双盲外审,同行评议认为文章符合期刊发稿宗旨。

4 参考文献 References

- TOURNADRE A, VIAL G, CAPEL F, et al. Sarcopenia. Joint Bone Spine. 2019;86(3):309-314.
- KELLER K. Sarcopenia. Wien Med Wochenschr. 2019;169(7-8):157-172.
- XU W, CHEN T, CAI Y, et al. Sarcopenia in Community-Dwelling Oldest Old is Associated with Disability and Poor Physical Function. J Nutr Health Aging. 2020;24(3):339-345.
- 吴琳瑾,李静欣.中国社区老年人肌少症患病率的Meta分析[J].现代预防医学,2019,46(22):4109-4112+4140.
- 胡世莲,王静,程翠,等.中国居民慢性病的流行病学趋势分析[J].中国临床保健杂志,2020,23(3):289-294.
- YEUNG SSY, REIJNIERSE EM, PHAM VK, et al. Sarcopenia and its association with falls and fractures in older adults: A systematic review and meta-analysis. J Cachexia Sarcopenia Muscle. 2019;10(3):485-500.
- OHARA DG, PEGORARI MS, OLIVEIRA DOS SANTOS NL, et al. Cross-Sectional Study on the Association between Pulmonary Function and Sarcopenia in Brazilian Community-Dwelling Elderly from the Amazon Region. J Nutr Health Aging. 2020;24(2):181-187.
- IDA S, KANEKO R, NAGATA H, et al. Association between sarcopenia and sleep disorder in older patients with diabetes. Geriatr Gerontol Int. 2019;19(5):399-403.
- PENG TC, CHEN WL, WU LW, et al. Sarcopenia and cognitive impairment: A systematic review and meta-analysis. Clin Nutr. 2020;39(9):2695-2701.
- HARRIS R, CHANG Y, BEAVERS K, et al. Risk of Fracture in Women with Sarcopenia, Low Bone Mass, or Both. J Am Geriatr Soc. 2017;65(12):2673-2678.

- [11] YIN J, QIAN Z, CHEN Y, et al. MicroRNA regulatory networks in the pathogenesis of sarcopenia. *J Cell Mol Med.* 2020;24(9):4900-4912.
- [12] MORLEY EJ. Hormones and Sarcopenia. *Curr Pharm Des.* 2017;23(30):4484-4492.
- [13] 沈睿, 王茜茜, 徐霓影, 等. 老年肌少症患者运动干预的最佳证据总结 [J]. *中华护理杂志*, 2021,56(10):1560-1566.
- [14] 闵文珺, 陈亚梅, 卢群, 等. 老年肌少症患者运动干预的最佳证据总结 [J]. *解放军护理杂志*, 2022,39(3):75-78.
- [15] DENT E, MORLEY JE, CRUZ-JENTOFF AJ, et al. International Clinical Practice Guidelines for Sarcopenia (ICFSR): Screening, Diagnosis and Management. *J Nutr Health Aging.* 2018;22(1):1148-1161.
- [16] 孙建琴, 张坚, 常翠青, 等. 肌肉衰减综合征营养与运动干预中国专家共识 (节录) [J]. *营养学报*, 2015,37(4):320-324.
- [17] DE MELLO RGB, DALLA CORTE RR, GIOSCIA J, et al. Effects of Physical Exercise Programs on Sarcopenia Management, Dynapenia, and Physical Performance in the Elderly: A Systematic Review of Randomized Clinical Trials. *J Aging Res.* 2019; 1959486-1959486.
- [18] HASSAN BH, HEWITT J, KEOGH JW, et al. Impact of resistance training on sarcopenia in nursing care facilities: A pilot study. *Geriatr Nurs.* 2016;37(2):116-121.
- [19] RODRIGUES F, DOMINGOS C, MONTEIRO D, et al. A Review on Aging, Sarcopenia, Falls, and Resistance Training in Community-Dwelling Older Adults. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19(2):874.
- [20] YOO SZ, NO MH, HEO JW, et al. Role of exercise in age-related sarcopenia. *J Exerc Rehabil.* 2018;14(4):551-558.
- [21] LU LQ, HE XF, MA L, et al. Effects of vibration training vs. conventional resistance training among community-dwelling older people with sarcopenia: three-arm randomized controlled trial protocol. *Front Aging Neurosci.* 2022;14:905460.
- [22] 李静雅, 程亮. 不同频率全身振动训练对老年女性平衡能力、下肢肌力和位置觉的影响 [J]. *体育学刊*, 2018,25(2):128-134.
- [23] 朱晓凤. 不同频率全身振动训练对老年人平衡和核心稳定性的影响 [J]. *中国康复理论与实践*, 2020,26(3):291-294.
- [24] DISTEFANO G, GOODPASTER BH. Effects of Exercise and Aging on Skeletal Muscle. *Life Sci Alliance.* 2018;8(3):a029785.
- [25] 王丽丽, 田丽雅, 牛琪, 等. 11 种运动对老年肌少症患者身体功能改善效果的网状 Meta 分析 [J]. *中华护理杂志*, 2022,57(21):2652-2660.
- [26] ROSENBERG IH. Sarcopenia: origins and clinical relevance. *J Nutr.* 1997;127(5): 990S-991S.
- [27] DA SILVA MZC, VOGT BP, REIS NSDC, et al. Update of the European consensus on sarcopenia: what has changed in diagnosis and prevalence in peritoneal dialysis? *Eur J Clin Nutr.* 2019;73(8):1209-1211.
- [28] CRUZ-JENTOFF AJ, BAHAT G, BAUER J, et al. Sarcopenia: revised European consensus on definition and diagnosis. *Age Ageing.* 2019;48(1):16-31.
- [29] YAKABE M, HOSOI T, AKISHITA M, et al. Updated concept of sarcopenia based on muscle-bone relationship. *J Bone Miner Metab.* 2020;38:7-13.
- [30] 李海鹏, 卢健, 陈彩珍. Sarcopenia 机制研究进展 [J]. *体育科学*, 2007,27(11): 66-69,82.
- [31] 刘宇, 彭千华, 田石榴. 老年人肌力流失与肌肉疲劳的肌电图研究 [J]. *体育科学*, 2007,27(5):57-64.
- [32] SGRO P, SANSONE M, SANSONE A, et al. Physical exercise, nutrition and hormones: three pillars to fight sarcopenia. *Aging Male.* 2018;22(2):75-88.
- [33] 李海鹏, 刘宇. 肌肉衰减症的动态识解及对我国运动科学研究的启示 [J]. *体育科学*, 2020,40(9):61-73.
- [34] FIATARONE MA, O'NEILL EF, RYAN ND, et al. Exercise training and nutritional supplementation for physical frailty in very elderly people. *N Engl J Med.* 1994; 330(25):1769-1775.
- [35] BAUMGARTNER RN, KOEHLER KM, GALLAGHER D, et al. Epidemiology of sarcopenia among the elderly in New Mexico. *Am J Epidemiol.* 1998;147(8):755-763.
- [36] CRUZ-JENTOFF AJ, BAEYENS JP, BAUER JM, et al. Sarcopenia: European consensus on definition and diagnosis: Report of the European Working Group on Sarcopenia in Older People. *Age Ageing.* 2010;39(4):412-423.
- [37] CHEN LK, LIU LK, WOO J, et al. Sarcopenia in Asia: consensus report of the Asian Working Group for Sarcopenia. *J Am Med Dir Assoc.* 2014;15(2):95-101.
- [38] HASSAN BH, HEWITT J, KEOGH JW, et al. Impact of resistance training on sarcopenia in nursing care facilities: A pilot study. *Geriatr Nurs.* 2016;37(2):116-121.
- [39] BECKWÉE D, DELAERE A, AELBRECHT S, et al. Exercise interventions for the prevention and treatment of sarcopenia. A systematic umbrella review. *J Nutr Health Aging.* 2019;23:494-502.
- [40] CHEN LK, WOO J, ASSANTACHAI P, et al. Asian Working Group for Sarcopenia: 2019 consensus update on sarcopenia diagnosis and treatment. *J Am Med Dir Assoc.* 2020;21(3):300-307. e2.
- [41] IZQUIERDO M, MERCHANT R, MORLEY J, et al. International exercise recommendations in older adults (ICFSR): expert consensus guidelines. *J Nutr Health Aging.* 2021;25(7):824-853.
- [42] WALL BT, DIRKS ML, SNIJDERS T, et al. Substantial skeletal muscle loss occurs during only 5 days of disuse. *Acta Physiol.* 2014;210(3):600-611.
- [43] MEIER NF, LEE DC. Physical activity and sarcopenia in older adults. *Aging Clin Exp Res.* 2020;32(9):1675-1687.
- [44] 杨玲, 杜娟, 刘荣雁, 等. 肌肉减少症病因学研究现状与展望 [J]. *中国骨质疏松杂志*, 2020,26(11):1689-1693.
- [45] 张浩, 胡建伟, 赵晓慧, 等. 我国中老年人可能肌肉减少症患者患病情况及其影响因素 [J]. *医学与社会*, 2023,36(8):44-48.
- [46] HAMER M, STAMATAKIS E. Screen-based sedentary behavior, physical activity, and muscle strength in the English longitudinal study of ageing. *PLoS one.* 2013;8(6): e66222.
- [47] 王坤, 罗炯, 刘立, 等. 老年人肌少症的成因、评估及应对 [J]. *中国组织工程研究*, 2019,23(11):1767-1773.
- [48] 张文婧, 王佳贺. 老年肌少症与营养干预的研究进展 [J]. *国际老年医学杂志*, 2020,41(2):125-128.
- [49] RAHI B, MORAIS JA, DIONNE JJ, et al. The combined effects of diet quality and physical activity on maintenance of muscle strength among diabetic older adults from the NuAge cohort. *Exp Gerontol.* 2014;49:40-46.
- [50] ZAMBONI M, MAZZALI G, FANTIN F, et al. Sarcopenic obesity: A new category of obesity in the elderly. *Nutr Metab Cardiovasc Dis.* 2008;18(5):388-395.
- [51] 裴泽华, 蔡轶男, 王乐兵, 等. 肌少症现状及蛋白质对其预防作用的研究进展 [J]. *食品工业科技*, 2022,43(24):469-477.
- [52] CLAVEL S, COLDEFY AS, KURKDJIAN E, et al. Atrophy-related ubiquitin ligases, atrogin-1 and MuRF1 are up-regulated in aged rat Tibialis Anterior muscle. *Mech Ageing Dev.* 2006;127(10):794-801.
- [53] RONG S, WANG L, PENG Z, et al. The mechanisms and treatments for sarcopenia: could exosomes be a perspective research strategy in the future? *J Cachexia Sarcopenia Muscle.* 2020;11(2):348-365.
- [54] ABIRI B, VAFA M. Vitamin D and sarcopenia. *Adv Obes Weight Manag Control.* 2017;6(3):00155.
- [55] REMELLI F, VITALI A, ZURLO A, et al. Vitamin D deficiency and sarcopenia in older persons. *Nutrients.* 2019;11(12):2861.
- [56] SISHI B, LOOS B, ELLIS B, et al. Diet-induced obesity alters signalling pathways and induces atrophy and apoptosis in skeletal muscle in a prediabetic rat model. *Exp Physiol.* 2011;96(2):179-193.
- [57] BUITRAGO CG, ARANGO NS, BOLAND RL. 1 α , 25 (OH) 2D3-dependent modulation of Akt in proliferating and differentiating C2C12 skeletal muscle cells. *J Cell Biochem.* 2012;113(4):1170-1181.
- [58] POLLY P, TAN TC. The role of vitamin D in skeletal and cardiac muscle function. *Front Physiol.* 2014;5:145.
- [59] WAGATSUMA A, SAKUMA K. Vitamin D signaling in myogenesis: potential for treatment of sarcopenia. *Biomed Res Int.* 2014;2014:121254.
- [60] 杨玲, 杜娟, 刘荣雁, 等. 肌肉减少症病因学研究现状与展望 [J]. *中国骨质疏松杂志*, 2020,26(11):1689-1693.
- [61] LIESKOVSKA J, GUO D, DERMAN E. IL-6-overexpression brings about growth impairment potentially through a GH receptor defect. *Growth Horm IGF Res.* 2002;12(6):388-398.
- [62] BIAN AL, HU HY, RONG YD, et al. A study on relationship between elderly sarcopenia and inflammatory factors IL-6 and TNF- α . *Eur J Med Res.* 2017;22(1): 1-8.
- [63] VISSER M, PAHOR M, TAAFFE DR, et al. Relationship of interleukin-6 and tumor necrosis factor- α with muscle mass and muscle strength in elderly men and women: the Health ABC Study. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2002;57(5): M326-M332.
- [64] BANO G, TREVISAN C, CARRARO S, et al. Inflammation and sarcopenia: a systematic review and meta-analysis. *Maturitas.* 2017;96:10-15.
- [65] PRIEGO T, MARTÍN A, GONZÁLEZ-HEDSTRÖM D, et al. Role of hormones in sarcopenia. *Vitam Horm.* 2021;115:535-570.
- [66] MORLEY JE. Hormones and sarcopenia. *Curr Pharm Des.* 2017;23(30):4484-4492.
- [67] BRIOCHE T, KIREEV R, CUESTA S, et al. Growth Hormone Replacement Therapy Prevents Sarcopenia by a Dual Mechanism: Improvement of Protein Balance and of Antioxidant Defenses. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2014;69(10):1186-1198.
- [68] GREISING SM, BALTGALVIS KA, LOWE DA, et al. Hormone Therapy and Skeletal Muscle Strength: A Meta-Analysis. *J Gerontol.* 2009;64(10):1071-1081.
- [69] 王焕如, 于翰, 邵晋康. 肌肉减少症研究进展 [J]. *中国骨质疏松杂志*, 2022, 28(2):304-307.
- [70] TIAN X, LOU S, SHI R. From mitochondria to sarcopenia: role of 17 β -estradiol and testosterone. *Front Endocrinol.* 2023;14:1156583.
- [71] CLEASBY ME, JAMIESON PM, ATHERTON PJ. Insulin resistance and sarcopenia: mechanistic links between common co-morbidities. *J Endocrinol.* 2016;229(2): R67-R81.
- [72] BROOK MS, WILKINSON DJ, SMITH K, et al. The metabolic and temporal basis of muscle hypertrophy in response to resistance exercise. *Eur J Sport Sci.* 2016; 16(6):633-644.
- [73] ARNARSON A, GEIRSDOTTIR OG, RAMEL A, et al. Insulin-like growth factor-1 and resistance exercise in community dwelling old adults. *J Nutr Health Aging.* 2015; 19:856-860.
- [74] GOODPASTER BH, CHOMENTOWSKI P, WARD BK, et al. Effects of physical activity on strength and skeletal muscle fat infiltration in older adults: a randomized controlled trial. *J Appl Physiol.* 2008;105(5):1498.

- [75] BARRY VW, CHURCH T, BLAIR SN. Effects of exercise modality on insulin resistance and functional limitation in older adults: a randomized controlled trial. *Curr Cardiovasc Risk Rep.* 2009;3(4):235-236.
- [76] SILVA RB, ESLICK GD, DUQUE G. Exercise for Falls and Fracture Prevention in Long Term Care Facilities: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Am Med Dir Assoc.* 2013;14(9):685-689.e2.
- [77] LEBRASSEUR NK, WALSH K, ARANY Z. Metabolic benefits of resistance training and fast glycolytic skeletal muscle. *Am J Physiol.* 2011;300(1):E3-E10.
- [78] CEBRIÀ I, IRANZO MÀ, I BERNAT MB, TORTOSA-CHULIÀ MÁ, et al. Effects of Resistance Training of Peripheral Muscles versus Respiratory Muscles in Institutionalized Older Adults with Sarcopenia: A Randomized Controlled Trial. *J Aging Phys Act.* 2018;26(4):637-646.
- [79] VIKBERG S, SÖRLÉN N, BRANDÉN L, et al. Effects of Resistance Training on Functional Strength and Muscle Mass in 70-Year-Old Individuals With Pre-sarcopenia: A Randomized Controlled Trial. *J Am Med Dir Assoc.* 2019;20(1):28-34.
- [80] LICHTENBERG T, STENGL SV, SIEBER C, et al. The Favorable Effects of a High-Intensity Resistance Training on Sarcopenia in Older Community-Dwelling Men with Osteosarcopenia: The Randomized Controlled FROST Study. *Clin Interv Aging.* 2019;14:2173-2186.
- [81] FLOR-RUFINO C, BARRACHINA-IGUAL J, PÉREZ-ROS P, et al. Fat infiltration and muscle hydration improve after high-intensity resistance training in women with sarcopenia. A randomized clinical trial. *Maturitas.* 2023;168:29-36.
- [82] LIAO CD, TSAUO JY, LIN LF, et al. Effects of elastic resistance exercise on body composition and physical capacity in older women with sarcopenic obesity: A CONSORT-compliant prospective randomized controlled trial. *Med.* 2017;96(23):e7115.
- [83] SEO MW, JUNG SW, KIM SW, et al. Effects of 16 weeks of resistance training on muscle quality and muscle growth factors in older adult women with sarcopenia: A randomized controlled trial. *MDPI.* 2021;18(13):6762.
- [84] CHANG DS. Effectiveness of early versus delayed exercise and nutritional intervention on segmental body composition of sarcopenic elders-A randomized controlled trial. *Clin Nutr.* 2021;40(3):1052-1059.
- [85] MALTAIS ML, LADOUCEUR JP, DIONNE JJ. The Effect of Resistance Training and Different Sources of Postexercise Protein Supplementation on Muscle Mass and Physical Capacity in Sarcopenic Elderly Men. *J Strength Cond Res.* 2016;30(6):1680.
- [86] SATO Y. The history and future of KAATSU training. *Int J KAATSU Tra Res.* 2005;1(1):1-5.
- [87] LETIERI RV, FURTADO GE, BARROS PMN, et al. Effect of 16-week blood flow restriction exercise on functional fitness in sarcopenic women: A randomized controlled trial. *Int J Morphol.* 2019;37(1):59-64.
- [88] FRAGALA MS, CADORE EL, DORGO S, et al. Resistance Training for Older Adults: Position Statement From the National Strength and Conditioning Association. *J Strength Cond Res.* 2019;33(8):2019-2052.
- [89] WOO J. Combating frailty and sarcopenia in aging populations: Switching to a more positive paradigm. *Aging Med.* 2019;2(1):7-10.
- [90] WESTCOTT WL, WINETT RA, ANNESI JJ, et al. Prescribing Physical Activity: Applying the ACSM Protocols for Exercise Type, Intensity, and Duration Across 3 Training Frequencies. *Phys Sports Med.* 2009;37(2):51-58.
- [91] 朱园园, 陶月仙. 有氧运动结合抗阻运动对肥胖青少年健康体适能的影响研究进展 [J]. *全科护理*, 2020,18(33):4571-4574.
- [92] 谢凌坚, 傅力. 运动与饮食干预改善原发性肌肉衰减症研究进展 [J]. *中国运动医学杂志*, 2017,36(1):76-79.
- [93] PETERSEN MC, SHULMAN GI. Mechanisms of insulin action and insulin resistance. *Physiol Rev.* 2018;98(4):2133-2223.
- [94] BACURAU AV, JANNIG PR, DE MORAES WM, et al. Akt/mTOR pathway contributes to skeletal muscle anti-atrophic effect of aerobic exercise training in heart failure mice. *Int J Cardiol.* 2016;214:137-147.
- [95] LEE S, KIM M, LIM W, et al. Strenuous exercise induces mitochondrial damage in skeletal muscle of old mice. *Biochem Biophys Res Commun.* 2015;461(2):354-360.
- [96] 蒲锐, 陈子扬, 袁凌燕. 外泌体: 运动防治肌少症的新靶点 [J]. *生理科学进展*, 2021,52(5):347-351.
- [97] OSSOWSKI ZM, SKROBOT W, ASCHENBRENNER P, et al. Effects of short-term Nordic walking training on sarcopenia-related parameters in women with low bone mass: a preliminary study. *Clin Interv Aging.* 2016;11:1763-1771.
- [98] BRIGHTWELL CR, MARKOFSKI MM, MORO T, et al. Moderate-intensity aerobic exercise improves skeletal muscle quality in older adults. *Transl Sports Med.* 2019;2(3):109-119.
- [99] CHEN HJ. Effects of Different Types of Exercise on Body Composition, Muscle Strength, and IGF-1 in the Elderly with Sarcopenic Obesity. *J Am Geriatr Soc.* 2017;65(4):827-832.
- [100] MASON C, XIAO L, IMAYAMA I, et al. Influence of diet, exercise, and serum vitamin D on sarcopenia in postmenopausal women. *Med Sci Sports Exerc.* 2013;45(4):607-614.
- [101] 魏溪淇, 杨光, 魏茂泉, 等. 不同运动干预下老年肌少症患者的 CT 影像特征变化 [J]. *陕西师范大学学报 (自然科学版)*, 2022,50(6):95-103.
- [102] ZIALDINI MM, MARZETTI E, PICCA A, et al. Biochemical pathways of sarcopenia and their modulation by physical exercise: a narrative review. *Front Med.* 2017;4:167.
- [103] 王兵, 段富贵. 长期有氧运动上调老年大鼠骨组织中 Wnt/ β -catenin 通路 [J]. *西南师范大学学报 (自然科学版)*, 2017,42(4):132-136.
- [104] GAO L, LI Y, YANG YJ, et al. The Effect of Moderate-Intensity Treadmill Exercise on Bone Mass and the Transcription of Peripheral Blood Mononuclear Cells in Ovariectomized Rats. *Front Physiol.* 2021;12:729910.
- [105] 靳丹, 代新宇, 刘森, 等. 肌肉骨骼减少症作用机制及其运动防治效果 [J/OL]. *生物化学与生物物理进展*, 1-16[2024-01-09]https://doi.org/10.16476/j.pibb.2023.0327.
- [106] LEE S, KIM M, LIM W, et al. Strenuous exercise induces mitochondrial damage in skeletal muscle of old mice. *Biochem Biophys Res Commun.* 2015;461(2):354-360.
- [107] RITZMANN R, GOLLHOFER A, KRAMER A. The influence of vibration type, frequency, body position and additional load on the neuromuscular activity during whole body vibration. *Eur J Appl Physiol.* 2013;113(1):1-11.
- [108] 陈如洋, 杨占宇, 马小迪, 等. 全身振动治疗在康复领域的研究进展 [J]. *中华脑科疾病与康复杂志 (电子版)*, 2020,10(6):374-377.
- [109] FRICKE O, SEMLER O, LAND C, et al. Hormonal and Metabolic Responses to Whole Body Vibration in Healthy Adults. *Endocrinologist.* 2009;19(1):24-30.
- [110] WEI N, NG SMS, NG G, et al. Whole body vibration training improves muscle and physical performance in community dwelling with sarcopenia: A randomized controlled trial. *Int J Sports Phys Ther Rehabil.* 2016;2:1-6.
- [111] WEI N, PANG MY, NG SS, et al. Optimal frequency/time combination of whole body vibration training for developing physical performance of people with sarcopenia: a randomized controlled trial. *Clin Rehabil.* 2017;31(10):1313-1321.
- [112] WEI N, PANG MY, NG SS, et al. Optimal frequency/time combination of whole-body vibration training for improving muscle size and strength of people with age-related muscle loss (sarcopenia): A randomized controlled trial. *Geriatr Gerontol Int.* 2017;17(10):1412-1420.
- [113] ZHU YQ, PENG N, ZHOU M, et al. Tai Chi and whole-body vibrating therapy in sarcopenic men in advanced old age: a clinical randomized controlled trial. *Eur J Ageing.* 2019;16(3):273-282.
- [114] WEI N, NG GYF. The effect of whole body vibration training on quadriceps voluntary activation level of people with age-related muscle loss (sarcopenia): a randomized pilot study. *BMC Geriatr.* 2018;18:1-6.
- [115] WADSWORTH D, LARK S. Effects of Whole-Body Vibration Training on the Physical Function of the Frail Elderly: An Open, Randomized Controlled Trial. *Arch Phys Med Rehabil.* 2020;101(7):1111-1119.
- [116] MESTER J, KLEINÖDER H, YUE Z. Vibration training: benefits and risks. *J Biomech.* 2006;39(6):1056-1065.
- [117] CARDINALE M, POPE M. The effects of whole body vibration on humans: dangerous or advantageous? *Acta Physiol Hung.* 2003;90(3):195-206.
- [118] SITIÀ-RABERT M, RIGAU D, FORT VANMEERGHAE GHE A, et al. Efficacy of whole body vibration exercise in older people: a systematic review. *Disabil Rehabil.* 2012;34(11):883-893.
- [119] MARZETTI E, DUQUE G. Multicomponent Strategies and Sarcopenia. *J Nutr Health Aging.* 2023;27(8):683-684.
- [120] KIM HK, SUZUKI T, SAITO K, et al. Effects of exercise and amino acid supplementation on body composition and physical function in community-dwelling elderly Japanese sarcopenic women: a randomized controlled trial. *J Am Geriatr Soc.* 2012;60(1):16-23.
- [121] PARK J, KWON Y, PARK H. Effects of 24-Week Aerobic and Resistance Training on Carotid Artery Intima-Media Thickness and Flow Velocity in Elderly Women with Sarcopenic Obesity. *J Atheroscler Thromb.* 2017;24(11):1117-1124.
- [122] ZHU LY, CHAN R, KWOK T, et al. Effects of exercise and nutrition supplementation in community-dwelling older Chinese people with sarcopenia: a randomized controlled trial. *Age Ageing.* 2019;48(2):220-228.
- [123] MAKIZAKO H, NAKAI Y, TOMIOKA K, et al. Effects of a Multicomponent Exercise Program in Physical Function and Muscle Mass in Sarcopenic/Pre-Sarcopenic Adults. *J Clin Med.* 2020;9(5):1386.
- [124] BAGHERI R, MOGHADAM BH, CHURCH DD, et al. The effects of concurrent training order on body composition and serum concentrations of follistatin, myostatin and GDF11 in sarcopenic elderly men. *Exp Gerontol.* 2020;133:110869.
- [125] MARUYA K, ASAKAWA Y, ISHIBASHI H, et al. Effect of a simple and adherent home exercise program on the physical function of community dwelling adults sixty years of age and older with pre-sarcopenia or sarcopenia. *J Phys Ther Sci.* 2016;28(11):3183-3188.
- [126] MONTI E, TAGLIAFERRI S, ZAMPIERI S, et al. Effects of a 2-year exercise training on neuromuscular system health in older individuals with low muscle function. *J Cachexia Sarcopenia Muscle.* 2023;14(2):794-804.

(责任编辑: LWJ, GD, ZN, WL)