

老年肌少症研究进展

朱 珠*, 刘 敏

西安医学院研究生处, 陕西 西安

收稿日期: 2025年4月6日; 录用日期: 2025年4月28日; 发布日期: 2025年5月8日

摘 要

肌少症是一种与年龄相关的骨骼肌退行性疾病,主要表现为肌肉质量下降、肌纤维数量减少及功能减退。该病症常引发老年人跌倒、骨折、失能等严重后果,甚至增加死亡风险。全球老龄化趋势的加剧使得肌少症患病率持续攀升,现已成为威胁老年人健康和生活的重大公共卫生问题。本文系统综述肌少症的研究进展,重点阐述其定义、诊断标准、发病机制、诊疗方法等内容,以期为临床实践和后续研究提供理论依据和参考方向。

关键词

肌少症, 发病机制, 诊断, 治疗

Research Progress of Sarcopenia in the Elderly

Zhu Zhu*, Min Liu

Graduate School of Xi'an Medical University, Xi'an Shaanxi

Received: Apr. 6th, 2025; accepted: Apr. 28th, 2025; published: May 8th, 2025

Abstract

Sarcopenia is an age-related degenerative disease of skeletal muscle, primarily characterized by a decline in muscle mass, a reduction in the number of muscle fibers, and a decrease in muscle function. This condition often leads to severe consequences in the elderly, such as falls, fractures, and disability, and even increases the risk of mortality. With the global trend of aging, the prevalence of sarcopenia continues to rise, making it a significant public health issue that threatens the health and quality of life of the elderly. This article systematically reviews the research progress on sarcopenia, focusing on its definition, diagnostic criteria, pathogenesis, treatment methods, and prevention

*通讯作者。

strategies, aiming to provide a theoretical basis and reference direction for clinical practice and future research.

Keywords

Sarcopenia, Pathogenesis, Diagnosis, Treatment

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

全球老龄化进程的加速使得与年龄相关的慢性疾病发病率显著上升, 其中肌少症这一老年综合征正引起越来越多的关注。肌少症不仅会导致老年人身体功能下降和日常生活能力丧失, 还会显著增加医疗支出和社会经济负担。因此, 深入研究肌少症的诊断以及治疗具有重要的临床价值和社会意义。

2. 肌少症的定义及诊断标准

2.1. 定义

肌少症是一种以骨骼肌质量减少、肌力下降和身体功能减退为主要特征的老年综合征。它的发展通常伴随着患者身体功能的衰退、生活质量的下降, 同时还会增加患者的死亡风险[1][2], 它与慢性阻塞性疾病、心力衰竭、糖尿病等慢性疾病互为危险因素, 显著增加老年人跌倒、骨折、失能等风险。

2010 年, 欧洲肌少症研究组(EWGSOP)提出了肌少症的诊断标准, 强调低肌肉量, 肌肉力量不足以及体能下降是该病的主要表现[3]。2018 年, EWGSOP2 进一步修改了该定义, 认为肌少症不仅仅是肌肉质量和数量的减少, 更是一种长期积累的肌肉功能衰退性疾病, 诊断时需通过肌肉力量, 数量及质量的变化来进行确认, 且严重肌少症往往伴随明显的身体机能障碍[4]。根据国际临床实践指南(ICFSR), 肌少症被定义为一种随着年龄增加而导致的骨骼肌功能和质量丧失的慢性疾病[5]。亚洲肌肉减少症工作组(AWGS)同样认为, 肌少症的诊断标准包括低肌肉质量/和肌肉力量减弱[6]。2019 年, AWGS 共识进一步沿用了 ICFSR 的定义, 并为每个诊断指标设定了具体的临界值[7]。在中国, 2021 年发布的《中国老年人肌少症诊疗专家共识》建议沿用 2010 年 EWGSOP 的定义, 将肌少症视为与年龄相关的肌肉量减少、肌肉力量下降和(或)体能衰退[8]。

2.2. 诊断标准

肌少症的诊断体系中, 肌肉质量评估是核心环节之一, 主要用于量化评估个体骨骼肌的含量及其分布特征。目前, 临床和研究中常用的肌肉质量评估方法主要包括以下三类: 影像学检测技术(如双能 X 线吸收法、计算机断层扫描和磁共振成像)、生物电阻抗分析法以及人体测量学方法。这些方法在测量精度、操作便捷性和适用场景等方面各具特点, 研究者可根据具体需求选择合适的方法进行评估。

双能 X 射线吸收法(Dual-Energy X-Ray Absorptiometry, DXA)。DXA 是目前公认的测量肌肉质量的金标准, 主要用于评估全身及局部肌肉质量[9]。该方法通过 X 射线在不同生物组织中的衰减系数差异, 能够精确区分并量化骨骼、脂肪和肌肉组织, 并准确计算四肢骨骼肌质量(Appendicular Skeletal Muscle Mass, ASM), 其中 ASM 与身高平方的比值($ASM/height^2$)是临床诊断肌少症的重要指标[10]。

DXA 具有较高的准确性和重复性, 但受限于设备昂贵、辐射暴露及操作复杂, 难以在基层推广[11][12]。

计算机断层扫描(CT)和磁共振成像(MRI)作为高分辨率影像学技术, 能够直接测量肌肉横截面积(CSA), 并评估肌肉质量及脂肪浸润程度。肌肉质量下降伴随脂肪浸润是肌少症的典型特征之一。这两种方法在肌肉组织的定量分析和形态学评估中具有显著优势, 可为肌少症的诊断提供重要依据[13]。MRI 具有优异的软组织分辨率, 能够无创评估肌肉结构和功能, 而 CT 则因其影像清晰、扫描速度快被广泛应用。但两者都存在成本高、设备受限的问题, 临床应用主要集中在科研和特殊人群(如老年人、运动员等)评估中。研究证实使用床旁超声测量股直肌横截面积联合剪切波弹性成像(CSA-SWE 复合指数), 可在 90 秒内同步评估老年人肌肉质量($r = 0.91$ vs DXA)和力量($AUC = 0.89$), 其诊断效能超越传统握力测量[14]。骨骼肌质量的评估是筛查肌少症的关键环节, 传统的骨骼肌质量测量方法成本高且可重复性不高。肌骨超声(Musculoskeletal Ultrasound, MSKUS)是一种应用于肌肉骨骼系统的超声诊断技术, 具有简单、无创、低成本、可重复测量等特点, 可在床边操作实施[15]。腓肠肌是与人体日常活动相关的一组重要肌肉群。研究表明内侧腓肠肌比外侧腓肠肌超声成像更清晰[16]。

生物电阻抗分析(Bioelectrical Impedance Analysis, BIA)。BIA 是一种通过测量电流通过身体的电阻抗来估算体内不同成分(如脂肪、瘦体重和水分)的技术。近年来, BIA 被广泛应用于肌肉质量评估, 尤其是在资源有限的环境下, BIA 具有无创、便捷、低成本的优点, 能够有效地测量瘦体重(Lean Mass), 并进一步通过细胞水分含量(Intracellular Water, ICW)来评估肌肉的质量。研究表明, BIA 测量中瘦体重内的细胞水分含量能够作为肌肉健康状况的重要指标, 反映肌肉的质量和功能性健康。

人体测量法(Anthropometric Measures)。主要包括小腿围(Calf Circumference, CC)测量, 作为肌肉质量的替代指标, 特别适用于资源有限的社区或基层医疗环境。一般认为, 小腿围低于 31 cm(亚洲人群的临界值)提示肌少症风险较高。该方法的敏感性和特异性较低, 通常用于初步筛查, 而非肌少症的确诊手段[3]。

由于人体不同部位肌肉的生理功能存在显著差异, 其力量评估方法也需根据具体部位进行调整。在众多评估方法中, 握力测试因其操作简便、成本低廉且具有较高的预后价值, 已成为肌肉力量评估的核心工具之一, 并广泛应用于老年人群肌少症的相关研究中。从 EWGSOP 共识开始, 握力测量被明确为评估肌肉力量的标准工具, 并被广泛适用于肌少症的研究和诊断中[3]。此外, 亚洲肌少症工作组(AWGS)共识对握力测量的具体操作方法和标准进行了详细说明, 特别指出对于无法独立站立的老年受试者, 可采用坐位姿势完成握力测试, 使用双手或惯用手进行最大等长收缩, 并且至少进行两次测试, 取最大值。标准测试姿势为: 使用弹簧式测力计, 全肘部伸展; 使用液压式测力计时, 肘部应屈曲[6]。新加坡肌少症诊疗指南将握力测量列为最高证据等级(强推荐), 这一推荐进一步凸显了握力测试在肌少症临床评估中的重要地位[17]。虽然膝关节屈伸力量(如腿部推力测试)也在部分肌少症研究中被应用, 但由于该方法需要特定设备, 并且对老年人群体的适应性较低, 因此在临床诊断中较少使用。呼气峰流量(PEF)测试可用于评估无肺部疾病人群的呼吸肌力量, 但由于该方法无法有效反映四肢骨骼肌的功能变化, 因此不建议将其作为肌少症的独立诊断指标[3]。

目前, 躯体功能评估的常用方法包括步速测试、简易体能状况量表(SPPB)和起立-行走计时测试(TUG)等。其中, 步速测试因其操作简便、快速、安全且可靠性高, 成为最实用的躯体功能自我评估方法。研究表明, 步速不仅能够预测肌少症及肌肉相关代谢性疾病患者的临床营养不良状况和预后, 还与长寿显著相关[18]。SPPB 评分的显著降低与社区老年人身体衰弱及失能综合征的发生风险密切相关[19]。TUG 测试则能够综合反映个体的平衡能力和步行功能, 为躯体功能评估提供重要参考。

3. 肌少症的发病机制

3.1. 炎症反应

炎症反应在肌少症发病中起重要作用。研究表明,肌少症患者体内促炎因子水平显著升高,其中肿瘤坏死因子- α (TNF- α)和白细胞介素-6 (IL-6)是两种关键的炎症标志物[20],抗炎因子相对减少导致炎症因子的失衡形成慢性炎症环境。TNF- α 和 IL-6 可激活核因子- κ B (NF- κ B)信号通路,诱导肌肉蛋白分解相关基因表达上调,加速肌肉蛋白分解,从而导致肌肉量减少和肌肉功能下降[21]。

3.2. 线粒体损伤

线粒体功能随着年龄增长而衰退,在肌少症发病机制中占据关键地位。线粒体是细胞的能量工厂,其损伤会影响肌肉细胞的能量供应。线粒体 DNA (mtDNA)突变增加、氧化磷酸化功能障碍等情况会出现。受损的线粒体产生能量减少,使得肌肉细胞的收缩和代谢功能受影响,进而导致肌肉萎缩。同时,线粒体损伤还可能引发细胞内的应激反应,进一步加剧肌肉细胞的损伤和死亡[22]。

3.3. 脂质代谢

脂质代谢异常与肌少症密切相关。一方面,肌肉内脂肪的异常堆积,即肌内脂肪浸润,会影响肌肉的正常结构和功能。过多的脂肪会干扰肌肉细胞内的信号传导,抑制肌肉蛋白的合成,另一方面,血脂异常如高胆固醇、高甘油三酯等可能影响细胞膜的流动性和功能,对肌肉细胞的代谢产生不良影响,从而促使肌少症的发生[21] [23] [24]。

3.4. 激素作用

多种激素水平的变化影响肌少症的发生[25]。例如生长激素和胰岛素样生长因子-1 (IGF-1)水平随着年龄增长而降低,它们对肌肉蛋白合成起重要的促进作用,其减少会导致肌肉蛋白合成减少,肌肉量下降。性激素(如睾酮、雌激素)的减少也会影响肌肉的质量和功能,男性睾酮水平降低会减弱肌肉的合成代谢,女性绝经后雌激素水平下降也与肌肉量减少有关。

3.5. 卫星细胞

卫星细胞是肌肉再生的重要细胞来源[26]。在正常情况下,卫星细胞可以被激活、增殖并分化为新的肌纤维,以修复受损的肌肉组织[27]。然而在肌少症中,卫星细胞的功能受到抑制。年龄增长、慢性炎症、激素水平变化等因素都可能影响卫星细胞的活性,导致其激活、增殖和分化能力下降,从而使肌肉在受到损伤后难以有效再生,加速肌肉量的丢失和肌肉功能的衰退[28]。

3.6. 肌肉细胞自噬能力失调

自噬是细胞内的一种自我清理机制,对于维持肌肉细胞的稳态非常重要[29]。在肌少症中,自噬能力失调。自噬过度激活时,会过度降解肌肉细胞内的蛋白质和细胞器,导致肌肉细胞结构和功能受损。而自噬不足时,细胞内受损的蛋白质和细胞器无法及时清除,也会影响肌肉细胞的正常功能,进而促使肌少症的发生[30]。

3.7. 氧化应激

随着年龄增长和机体代谢变化,氧化应激增加。体内自由基生成增多,抗氧化防御系统功能下降。过多的自由基会攻击肌肉细胞内的各种生物分子,如蛋白质、脂质和 DNA 等。这种氧化损伤会影响

肌肉细胞的正常结构和功能, 导致肌肉细胞凋亡增加、肌肉蛋白合成减少, 最终促使肌少症的发生[31]。

3.8. 衰老

衰老是肌少症发生的重要背景因素。衰老过程中, 机体各个系统功能衰退, 包括上述提到的炎症反应增强、线粒体损伤、激素水平变化、卫星细胞功能抑制、自噬能力失调和氧化应激增加等多种因素综合作用。此外, 衰老还伴随着神经-肌肉功能的退化, 运动神经元减少, 导致肌肉的神经支配受损, 肌肉的收缩能力和协调性下降, 进一步加剧肌肉的萎缩和功能丧失[32]。

3.9. 肠道菌群

研究表明, 肠道菌群与肌少症的发生发展存在密切关联。随着年龄增长, 肠道菌群的组成和功能会发生显著改变, 这种菌群失调可能通过多种机制影响宿主的代谢状态。例如, 肠道菌群能够调节短链脂肪酸等代谢产物的生成, 这些代谢物在调控炎症反应和激素水平等方面发挥重要作用[33]。肠道菌群多样性的减少可能会损害肠道屏障的完整性, 使包括脂多糖在内的有害物质进入血液, 这不仅会引发全身炎症, 但也诱导促炎细胞因子的上调, 最终刺激蛋白质分解代谢并抑制肌肉合成[34]。因此, 肠道菌群在肌少症的发病机制中扮演着一个复杂的角色。未来研究可以进一步探索通过调节肠道菌群来改善老年人肌肉健康的潜力, 尤其是通过益生菌、益生元等干预手段。

尽管炎症因子(如 IL-6、TNF- α)、激素(IGF-1、维生素 D)、氧化应激标志物(8-OHdG、MDA)及肌因子(myostatin)等生物标志物与肌少症病理机制的相关性已被证实, 但其临床应用仍面临三大瓶颈: 缺乏多中心队列验证的诊断截断值(尤其亚洲人群)、跨平台检测标准化体系缺失, 以及现有标志物组合在早期筛查中的阳性预测值不足 65%(基于中国老年健康数据库 2024 年分析), 亟待通过动态监测模型和器官特异性外泌体标志物研发实现突破[35]。

4. 肌少症的治疗方法

4.1. 营养干预

营养补充(如蛋白质、维生素 D)和运动干预作为肌少症防治的两种重要策略, 其联合应用已引起广泛关注并成为当前研究热点。从作用机制来看, 营养补充能够为机体提供充足的能量底物和肌肉蛋白质合成所需原料, 这不仅有助于促进肌肉组织再生, 还能改善慢性炎症状态, 为肌肉质量的增加创造有利条件。运动干预通过机械负荷刺激, 可有效激活肌肉蛋白质合成通路, 促进肌纤维增生和肥大, 从而提升肌肉质量和肌力水平, 改善机体功能状态。营养补充与运动干预的联合应用可产生“1+1>2”的协同效应, 在改善肌肉质量、增强肌力、提高身体功能等方面展现出显著优势[36][37]。

4.2. 药物治疗

除了传统的营养和运动干预, 近年来一些药物治疗开始受到关注。例如, 激素替代治疗(如睾酮和生长激素替代治疗)已被用来改善肌肉质量和功能[38]。然而, 长期使用这些药物仍存在副作用风险, 因此需要更多的临床研究来验证其疗效和安全性。

4.3. 新型干预方法

随着医学研究的发展, 一些新型的干预方法, 如抗炎治疗、线粒体保护剂、肌肉再生促进剂等, 已进入临床研究阶段。这些新疗法的目标是通过调节炎症反应、保护线粒体、促进肌肉细胞再生等手段,

改善肌肉质量和功能[39]。未来, 个性化治疗将成为肌少症管理的关键, 通过精准医学为患者制定最佳的治疗方案。

5. 结论与展望

肌少症的发病机制复杂, 涉及炎症反应、线粒体损伤、激素变化、脂质代谢紊乱等多种因素。这些因素相互交织, 共同促进肌肉的萎缩和功能衰退。尽管目前已有一些有效的治疗方法, 但早期筛查和早期干预仍是预防肌少症的重要措施。未来的研究应聚焦于新型治疗方法的研发, 特别是通过多学科协作的“营养-运动-药物”阶梯式干预体系, 提供个性化的治疗方案。此外, 加强社区肌少症筛查和健康网络建设, 推动早筛早诊, 将有助于实现从基础研究到临床实践的有效转化。

参考文献

- [1] Delmonico, M.J., Harris, T.B., Lee, J., Visser, M., Nevitt, M., Kritchevsky, S.B., *et al.* (2007) Alternative Definitions of Sarcopenia, Lower Extremity Performance, and Functional Impairment with Aging in Older Men and Women. *Journal of the American Geriatrics Society*, **55**, 769-774. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2007.01140.x>
- [2] Goodpaster, B.H., Park, S.W., Harris, T.B., Kritchevsky, S.B., Nevitt, M., Schwartz, A.V., *et al.* (2006) The Loss of Skeletal Muscle Strength, Mass, and Quality in Older Adults: The Health, Aging and Body Composition Study. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, **61**, 1059-1064. <https://doi.org/10.1093/gerona/61.10.1059>
- [3] Cruz-Jentoft, A.J., Baeyens, J.P., Bauer, J.M., Boirie, Y., Cederholm, T., Landi, F., *et al.* (2010) Sarcopenia: European Consensus on Definition and Diagnosis: Report of the European Working Group on Sarcopenia in Older People. *Age and Ageing*, **39**, 412-423. <https://doi.org/10.1093/ageing/afq034>
- [4] Cruz-Jentoft, A.J., Bahat, G., Bauer, J., Boirie, Y., Bruyère, O., Cederholm, T., *et al.* (2018) Sarcopenia: Revised European Consensus on Definition and Diagnosis. *Age and Ageing*, **48**, 16-31. <https://doi.org/10.1093/ageing/afy169>
- [5] Dent, E., Morley, J.E., Cruz-Jentoft, A.J., Arai, H., Kritchevsky, S.B., Guralnik, J., *et al.* (2018) International Clinical Practice Guidelines for Sarcopenia (ICFSR): Screening, Diagnosis and Management. *The Journal of Nutrition, Health and Aging*, **22**, 1148-1161. <https://doi.org/10.1007/s12603-018-1139-9>
- [6] Chen, L., Liu, L., Woo, J., Assantachai, P., Auyeung, T., Bahyah, K.S., *et al.* (2014) Sarcopenia in Asia: Consensus Report of the Asian Working Group for Sarcopenia. *Journal of the American Medical Directors Association*, **15**, 95-101. <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2013.11.025>
- [7] Chen, L., Woo, J., Assantachai, P., Auyeung, T., Chou, M., Iijima, K., *et al.* (2020) Asian Working Group for Sarcopenia: 2019 Consensus Update on Sarcopenia Diagnosis and Treatment. *Journal of the American Medical Directors Association*, **21**, 300-307.e2. <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2019.12.012>
- [8] 丁清清, 周白瑜, 刘娟. 中国老年人肌少症诊疗专家共识[J]. 中华老年医学杂志, 2021, 8(40): 943-952.
- [9] Chianca, V., Albano, D., Messina, C., Gitto, S., Ruffo, G., Guarino, S., *et al.* (2021) Sarcopenia: Imaging Assessment and Clinical Application. *Abdominal Radiology*, **47**, 3205-3216. <https://doi.org/10.1007/s00261-021-03294-3>
- [10] Baumgartner, R.N., Koehler, K.M., Gallagher, D., Romero, L., Heymsfield, S.B., Ross, R.R., *et al.* (1998) Epidemiology of Sarcopenia among the Elderly in New Mexico. *American Journal of Epidemiology*, **147**, 755-763. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aje.a009520>
- [11] Kyle, U. (2004) Bioelectrical Impedance Analysis? Part I: Review of Principles and Methods. *Clinical Nutrition*, **23**, 1226-1243. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2004.06.004>
- [12] Tosato, M., Marzetti, E., Cesari, M., Saveria, G., Miller, R.R., Bernabei, R., *et al.* (2017) Measurement of Muscle Mass in Sarcopenia: From Imaging to Biochemical Markers. *Aging Clinical and Experimental Research*, **29**, 19-27. <https://doi.org/10.1007/s40520-016-0717-0>
- [13] Sergi, G., Trevisan, C., Veronese, N., Lucato, P. and Manzato, E. (2016) Imaging of Sarcopenia. *European Journal of Radiology*, **85**, 1519-1524. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2016.04.009>
- [14] Madden, K.M., Feldman, B., Arishenkoff, S. and Meneilly, G.S. (2020) A Rapid Point-of-Care Ultrasound Marker for Muscle Mass and Muscle Strength in Older Adults. *Age and Ageing*, **50**, 505-510. <https://doi.org/10.1093/ageing/afaa163>
- [15] Matsuzawa, R., Yamamoto, S., Suzuki, Y., Imamura, K., Harada, M., Matsunaga, A., *et al.* (2021) The Clinical Applicability of Ultrasound Technique for Diagnosis of Sarcopenia in Hemodialysis Patients. *Clinical Nutrition*, **40**, 1161-1167. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2020.07.025>

- [16] 刘超然, 李威, 王宁华. 肌骨超声评估腓肠肌在康复领域中的应用进展[J]. 中国康复医学杂志, 2019, 34(1): 90-95.
- [17] Lim, W.S., Cheong, C.Y., Lim, J.P., Tan, M.M.Y., Chia, J.Q., Malik, N.A., *et al.* (2022) Singapore Clinical Practice Guidelines for Sarcopenia: Screening, Diagnosis, Management and Prevention. *The Journal of Frailty & Aging*, **11**, 348-369. <https://doi.org/10.14283/jfa.2022.59>
- [18] McLeod, M., Breen, L., Hamilton, D.L. and Philp, A. (2016) Live Strong and Prosper: The Importance of Skeletal Muscle Strength for Healthy Ageing. *Biogerontology*, **17**, 497-510. <https://doi.org/10.1007/s10522-015-9631-7>
- [19] Beaudart, C., Rolland, Y., Cruz-Jentoft, A.J., Bauer, J.M., Sieber, C., Cooper, C., *et al.* (2019) Assessment of Muscle Function and Physical Performance in Daily Clinical Practice: A Position Paper Endorsed by the European Society for Clinical and Economic Aspects of Osteoporosis, Osteoarthritis and Musculoskeletal Diseases (ESCEO). *Calcified Tissue International*, **105**, 1-14. <https://doi.org/10.1007/s00223-019-00545-w>
- [20] Zhang, X., Li, H., He, M., Wang, J., Wu, Y. and Li, Y. (2022) Immune System and Sarcopenia: Presented Relationship and Future Perspective. *Experimental Gerontology*, **164**, Article ID: 111823. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2022.111823>
- [21] Sishi, B., Loos, B., Ellis, B., Smith, W., du Toit, E.F. and Engelbrecht, A. (2010) Diet-Induced Obesity Alters Signalling Pathways and Induces Atrophy and Apoptosis in Skeletal Muscle in a Prediabetic Rat Model. *Experimental Physiology*, **96**, 179-193. <https://doi.org/10.1113/expphysiol.2010.054189>
- [22] Tian, X., Lou, S. and Shi, R. (2023) From Mitochondria to Sarcopenia: Role of 17 β -Estradiol and Testosterone. *Frontiers in Endocrinology*, **14**, Article 1156583. <https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1156583>
- [23] Goodpaster, B.H., Theriault, R., Watkins, S.C. and Kelley, D.E. (2000) Intramuscular Lipid Content Is Increased in Obesity and Decreased by Weight Loss. *Metabolism*, **49**, 467-472. [https://doi.org/10.1016/s0026-0495\(00\)80010-4](https://doi.org/10.1016/s0026-0495(00)80010-4)
- [24] Park, S.W., Goodpaster, B.H., Strotmeyer, E.S., Kuller, L.H., Broudeau, R., Kammerer, C., *et al.* (2007) Accelerated Loss of Skeletal Muscle Strength in Older Adults with Type 2 Diabetes: the Health, Aging, and Body Composition Study. *Diabetes Care*, **30**, 1507-1512. <https://doi.org/10.2337/dc06-2537>
- [25] Dhillon, R.J.S. and Hasni, S. (2017) Pathogenesis and Management of Sarcopenia. *Clinics in Geriatric Medicine*, **33**, 17-26. <https://doi.org/10.1016/j.cger.2016.08.002>
- [26] Hong, X., Campanario, S., Ramírez-Pardo, I., Grima-Terrén, M., Isern, J. and Muñoz-Cánoves, P. (2022) Stem Cell Aging in the Skeletal Muscle: The Importance of Communication. *Ageing Research Reviews*, **73**, Article ID: 101528. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2021.101528>
- [27] 廖锦雯, 房冬梅. 运动对肌少症肌卫星细胞通路的影响研究[J]. 体育科技文献通报, 2022, 30(6): 257-260.
- [28] 陈昱圻, 郭昌龙, 袁国红, 等. 衰老个体骨骼肌卫星细胞的研究进展[J]. 中国老年学杂志, 2022, 42(17): 4354-4360.
- [29] Mizushima, N., Yoshimori, T. and Levine, B. (2010) Methods in Mammalian Autophagy Research. *Cell*, **140**, 313-326. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2010.01.028>
- [30] 侯国珍, 郭琪, 韩佩佩. 肌少症自噬激活和线粒体质量控制信号途径的研究进展[J]. 中国医学科学院学报, 2022, 44(4): 709-716.
- [31] 董欣, 王小清, 王秀华, 等. 氧化应激在肌少症发生过程中作用的研究进展[J]. 中国老年学杂志, 2022, 42(3): 744-748.
- [32] 张世瑞, 毛忠南, 支晓东, 等. 肌少症中骨骼肌衰老的机制及运动干预研究进展[J]. 中国疗养医学, 2024, 33(8): 71-76.
- [33] 王晓婷, 迟鸿堃, 王阳, 等. 肠道菌群与肌少症发生机制及其临床意义的研究进展[J]. 中国微生态学杂志, 2022, 34(9): 1107-1111.
- [34] Ashworth, A. (2021) Sarcopenia and Malnutrition: Commonly Occurring Conditions in the Older Population. *British Journal of Nursing*, **30**, S4-S10. <https://doi.org/10.12968/bjon.2021.30.21.s4>
- [35] 赵艳姣, 王红梅. 生物标志物在肌少症中的研究进展[J]. 国际老年医学杂志, 2024, 45(3): 352-355.
- [36] Devries, M.C., McGlory, C., Bolster, D.R., Kamil, A., Rahn, M., Harkness, L., *et al.* (2018) Protein Leucine Content Is a Determinant of Shorter- and Longer-Term Muscle Protein Synthetic Responses at Rest and Following Resistance Exercise in Healthy Older Women: A Randomized, Controlled Trial. *The American Journal of Clinical Nutrition*, **107**, 217-226. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqx028>
- [37] Da Boit, M., Sibson, R., Sivasubramaniam, S., Meakin, J.R., Greig, C.A., Aspden, R.M., *et al.* (2017) Sex Differences in the Effect of Fish-Oil Supplementation on the Adaptive Response to Resistance Exercise Training in Older People: A Randomized Controlled Trial. *The American Journal of Clinical Nutrition*, **105**, 151-158. <https://doi.org/10.3945/ajcn.116.140780>

- [38] Chung, J.Y., Kim, S., Kim, S.H. and Park, C.H. (2025) Sarcopenia: How to Determine and Manage. *Knee Surgery & Related Research*, **37**, Article No. 12. <https://doi.org/10.1186/s43019-025-00265-6>
- [39] Cacciatore, S., Calvani, R., Esposito, I., Massaro, C., Gava, G., Picca, A., *et al.* (2024) Emerging Targets and Treatments for Sarcopenia: A Narrative Review. *Nutrients*, **16**, Article 3271. <https://doi.org/10.3390/nu16193271>