

结构化抗阻训练联合个体化营养干预对老年肌少症患者肌肉质量、力量及躯体功能的影响：一项回顾性对照研究

江晓慧^{1*}, 薛泮珊^{2*}, 王情情^{3#}

¹青岛大学基础医学院人体解剖与组织胚胎学系, 山东 青岛

²青岛大学附属医院心血管外科重症监护室, 山东 青岛

³青岛黄海学院医学院, 山东 青岛

收稿日期: 2026年8月17日; 录用日期: 2026年9月11日; 发布日期: 2026年9月17日

摘要

目的: 肌少症是一种与年龄相关的进行性骨骼肌疾病。运动与营养是两项可干预因素, 但二者联合干预是否存在协同效应仍缺乏系统性验证。本研究旨在对比结构化抗阻训练、个体化营养治疗以及二者联合方案对老年肌少症患者四肢骨骼肌质量指数(ASMI)、肌肉力量及躯体功能的影响, 为优化临床干预策略提供依据。方法: 本回顾性研究纳入120例老年肌少症患者, 将其随机分为对照组、运动组(抗阻训练, 每周3次, 持续6个月)、营养组(乳清蛋白40 g/d + 个体化能量目标)及联合组, 每组各30例。于干预前后检测四肢骨骼肌质量指数、体脂率、握力、膝关节伸肌峰力矩、步速、简易躯体功能评估成套测试(SPPB)及计时起立行走试验(TUGT)。采用校正基线的协方差分析及Bonferroni事后检验进行组间比较。结果: 干预6个月后, 联合组四肢骨骼肌质量指数升高幅度($0.59 \pm 0.22 \text{ kg/m}^2$)显著高于运动组(0.23 kg/m^2)与营养组(0.19 kg/m^2); 体脂率下降幅度(-2.3%)亦优于单一干预组。联合组握力与膝关节伸肌峰力矩的提升效果显著优于各单一干预组(所有 $P < 0.05$)。功能指标方面, 仅联合组步速改善达到临床最小重要差异值($+0.23 \text{ m/s}$); 简易躯体功能评估成套测试得分升高2.9分(由7.7分升至10.6分); 计时起立行走试验及五次坐立试验的改善幅度约为单一干预组的2倍(所有 $P < 0.01$)。对照组各项指标未见显著变化。结论: 结构化抗阻训练与乳清蛋白补充均可独立改善老年肌少症患者部分结局指标, 但运动联合营养方案可产生显著更优的协同获益。因此推荐将其作为肌少症首选核心干预方案, 并在老年门诊、住院病房及社区健康管理场景中推广应用。

关键词

肌少症, 抗阻训练, 营养干预, 躯体功能

*共一作者。

#通讯作者。

Effects of Structured Resistance Training Combined with Individualized Nutritional Intervention on Muscle Mass, Strength, and Physical Function in Older Adults with Sarcopenia: A Retrospective Controlled Study

Xiaohui Jiang^{1*}, Fengshan Xue^{2*}, Qingqing Wang^{3#}

¹Department of Human Anatomy and Histology & Embryology, School of Basic Medical Sciences, Qingdao University, Qingdao Shandong

²Intensive Care Unit, Department of Cardiovascular Surgery II, The Affiliated Hospital of Qingdao University, Qingdao Shandong

³School of Medicine, Qingdao Huanghai University, Qingdao Shandong

Received: August 17, 2026; accepted: September 11, 2026; published: September 17, 2026

Abstract

Objective: Sarcopenia is an age-related progressive skeletal muscle disorder. Exercise and nutrition are two modifiable components, but whether their combination yields synergistic effects remains systematically unverified. This study aimed to compare the effects of structured resistance training, individualized nutritional therapy, and their combination on appendicular skeletal muscle mass index (ASMI), muscle strength, and physical function in older patients with sarcopenia, so as to provide evidence for optimizing clinical intervention strategies. **Methods:** This retrospective study enrolled 120 older patients with sarcopenia, who were randomly divided into a control group, an exercise group (resistance training, 3 times/week for 6 months), a nutrition group (whey protein 40 g/d plus individualized energy target), and a combined group, with 30 cases each. ASMI, body fat percentage, grip strength, knee extension peak torque, gait speed, Short Physical Performance Battery (SPPB), and Timed Up and Go Test (TUGT) were measured before and after intervention. ANCOVA with baseline adjustment and Bonferroni post-hoc test were used for comparisons. **Results:** After 6 months, the increase in ASMI in the combined group ($0.59 \pm 0.22 \text{ kg/m}^2$) was significantly greater than that in the exercise group (0.23) and nutrition group (0.19); the decrease in body fat percentage (-2.3%) was also superior to that in the single-intervention groups. The gains in grip strength and knee extension peak torque in the combined group were significantly better than those in the single-intervention groups (all $P < 0.05$). In terms of function, only the combined group exceeded the minimal clinically important difference for gait speed ($+0.23 \text{ m/s}$), with a 2.9-point increase in SPPB (from 7.7 to 10.6), and improvements in TUGT and five-times sit-to-stand time were approximately twice those of the single-intervention groups (all $P < 0.01$). No significant changes were observed in the control group. **Conclusion:** Both structured resistance training and whey protein supplementation can independently improve certain outcomes in older patients with sarcopenia, but the combined exercise-plus-nutrition regimen demonstrated significantly superior synergistic benefits. Therefore, it is recommended as the preferred core intervention strategy for sarcopenia and should be promoted in geriatric outpatient clinics, inpatient wards, and community health management settings.

Keywords

Sarcopenia, Resistance Training, Nutritional Intervention, Physical Function

Copyright © 2026 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

随着全球人口老龄化进程加速,与增龄相关的骨骼肌衰退已成为老年医学领域的核心议题之一。肌少症(sarcopenia)是一种以骨骼肌质量减少、肌肉力量下降和/或躯体功能减退为主要特征的进行性、全身性骨骼肌疾病,2016 年被正式纳入国际疾病分类(ICD-10)编码,标志着其从“衰老的自然现象”转变为需要主动识别和干预的独立临床疾病实体[1][2]。流行病学资料显示,肌少症在全球社区老年人群中的患病率为 10%~27%,严重肌少症患病率约为 2%~9%,且随年龄呈指数式上升[3][4]。肌少症的危害并不局限于肌肉本身:它与跌倒、骨折、失能、住院时间延长、生活质量下降及全因死亡风险升高均存在独立关联[5]-[7]。因此,寻找安全、有效且可在临床与社区推广的干预策略,对于压缩老年人失能期、降低医疗负担具有重要的公共卫生意义。

肌少症的发生是多重机制交织的结果,其中最具可干预性的两个环节是“机械负荷不足”与“合成底物不足”。一方面,增龄伴随的身体活动减少及去负荷状态会导致 II 型(快肌)纤维选择性萎缩、运动单位重塑及神经肌肉接头退化,进而引起肌力与爆发力的下降速度显著快于肌肉质量的丢失速度[8][9]。基于上述机制,国际肌少症临床实践指南(ICFSR)将抗阻训练列为一线推荐(强推荐、中等质量证据),并有条件地推荐在蛋白质/能量摄入不足者中给予营养补充[10]。在运动干预方面,抗阻训练被证实可有效增加老年人瘦体重、提高最大力量与功能表现,老年人抗阻训练立场声明建议采用每周 2~3 次、中至高强度的渐进性负荷方案[11];针对衰弱与肌少症人群的荟萃分析亦显示抗阻训练可显著改善握力、膝伸肌力量与步速[12]。在营养干预方面,PROT-AGE 专家组与 ESPEN 专家组均建议健康老年人蛋白质摄入应达到 1.0~1.2 g/(kg·d),合并急慢性疾病或参与运动训练者需提高至 1.2~1.5 g/(kg·d),并强调优质蛋白与运动的时序性配合[13][14]。然而,单纯补充蛋白质而缺乏机械负荷刺激时,其对肌肉质量与力量的增益十分有限;反之,在能量与氨基酸供应不足背景下,抗阻训练所诱导的合成信号也难以转化为净蛋白沉积。因此如何更好地将抗阻力训练、营养支持联合应用在肌少症的治疗中,是目前临床亟待解决的问题。

基于上述背景,本研究系统性回顾比较结构化抗阻训练、个体化营养治疗及两者联合方案对四肢骨骼肌指数与体成分、上下肢肌肉力量以及步速、SPPB、TUGT 等躯体功能结局的影响,旨在验证“运动+营养”联合干预是否在肌少症改善链条的各个环节上均优于单一干预。

2. 方法

2.1. 研究对象与基线资料

本研究为回顾性对照试验,纳入 2020 年 1 月至 2025 年 6 月在青岛大学附属医院老年医学科收治的 ≥65 岁肌少症患者(符合 AWGS 2019 标准),排除急性重症、恶性肿瘤放化疗、严重认知障碍、近期康复或营养干预史及无法完成基本动作者。共入组 120 例,随机数字表法分为对照组、康复运动组、营养治疗组和联合组,各 30 例。基线收集性别、年龄、BMI、饮食记录、MNA-SF 评分、肌少症病程及 ASMI、握力、步速等指标。

2.2. 肌肉质量与体成分

使用多频生物电阻抗分析仪(InBody S10)测定四肢骨骼肌量(ASM), 计算 ASMI (kg/m²), 同步读取体脂百分比。均由同一技师在空腹、静息状态下完成, 干预前后测试时段保持一致。

2.3. 肌肉力量评估

上肢力量: Jamar 握力计测最大握力(坐位、肘屈 90°, 左右交替各 3 次取最大值)。下肢力量: Biodex 等速系统测优势侧膝伸展峰力矩; 同时行 30 秒坐立试验(记录完整起坐次数)。

2.4. 躯体功能评估

包括 6 米步速(正常步速, 取两次平均)、简易体能状况量表(SPPB, 0~12 分)、计时起立 - 行走测试(TUGT, 秒)及 5 次坐立时间(CS-5, 秒)。所有测试由不知情的同一治疗师执行, 测试前给予统一指导和练习机会。

2.5. 干预方案与依从性

对照组仅接受健康宣教手册。康复运动组: 每周 3 次, 每次 60 min (热身 10 min + 抗阻训练 40 min, 含 8 个动作, 每组 8~12 次 × 3 组, 强度 Borg 13~15 分, 每 2 周调整阻力) + 整理拉伸 10 min。营养治疗组: 日常饮食基础上补充乳清蛋白粉 40 g/d (早晚各 20 g), 并由营养师设定个体化能量目标(25~30 kcal/kg·d), 每月膳食回顾调整。联合组同时接受运动 + 营养干预, 共 6 个月。患者填写训练日志/服药卡, 每月随访, 干预完成率 ≥ 80%者纳入分析。

2.6. 统计学方法

SPSS 26.0 分析。计量资料正态者以 $\bar{x} \pm s$ 描述, 计数资料用 χ^2 检验; 基线比较用单因素方差分析; 组内前后比较用配对 t 检验; 干预后组间比较用单因素协方差分析(校正基线值), 事后多重比较行 Bonferroni 校正。双侧 P < 0.05 为差异有统计学意义。

3. 结果

3.1. 基线资料可比性分析

共纳入 120 例(每组 30 例), 四组患者在性别(男性占比 43.3%~50.0%)、年龄(72.6~74.2 岁)等一般资料上均衡。营养指标(日均能量 23.1~24.4 kcal/kg·d、蛋白质 0.80~0.85 g/kg·d、MNA-SF 评分 9.4~9.6 分)及核心肌少症指标(ASMI 6.29~6.37 kg/m²、握力 22.1~22.6 kg、步速 0.71~0.74 m/s)均无组间差异(P > 0.05), 提示基线可比。见表 1。

Table 1. Comparison of general baseline data among the four groups of patients before intervention
表 1. 四组患者干预前一般资料比较

项目	对照组 (n = 30)	康复运动组 (n = 30)	营养治疗组 (n = 30)	运动 + 营养组 (n = 30)	P 值
男/女(例)	13/17	14/16	14/16	15/15	>0.05
年龄(岁)	72.6 ± 5.8	72.9 ± 6.1	74.2 ± 5.4	73.1 ± 5.9	>0.05
病程(年)	4.2 ± 1.6	4.0 ± 1.5	4.4 ± 1.8	4.1 ± 1.7	>0.05
能量摄入(kcal/kg·d)	23.1 ± 3.6	24.4 ± 3.4	24.1 ± 3.8	24.2 ± 3.5	>0.05

续表

蛋白质摄入(g/kg·d)	0.82 ± 0.16	0.85 ± 0.15	0.80 ± 0.17	0.84 ± 0.16	>0.05
MNA-SF (分)	9.4 ± 1.6	9.6 ± 1.7	9.5 ± 1.9	9.6 ± 1.7	>0.05
ASMI (kg/m ²)	6.31 ± 0.61	6.37 ± 0.63	6.29 ± 0.59	6.35 ± 0.61	>0.05
握力(kg)	22.3 ± 4.3	22.5 ± 4.5	22.1 ± 4.1	22.6 ± 4.4	>0.05
6 m 步速(m/s)	0.71 ± 0.14	0.72 ± 0.15	0.73 ± 0.13	0.74 ± 0.14	>0.05

3.2. 肌肉质量及身体成分变化

6 个月后, 对照组 ASMI 轻微下降($\Delta = -0.04 \text{ kg/m}^2$, $P = 0.170$); 三个干预组 ASMI 均显著增加($P < 0.001$), 联合组增幅最大($\Delta = 0.59 \pm 0.22 \text{ kg/m}^2$), 约为单运动组(0.23)和单营养组(0.19)的 2.5~3.1 倍。ASM 绝对增量联合组(1.44 kg)亦明显优于单独干预组(0.55~0.57 kg)。体脂百分比方面, 运动组和联合组显著下降(Δ 分别为-0.9%和-2.3%, $P < 0.01$), 营养组虽有下降但未达显著性($P = 0.299$), 对照组轻度上升。见表 2。

Table 2. Comparison of muscle mass and body composition in four groups before and after intervention
表 2. 四组干预前后肌肉质量及身体成分比较

指标	组别	n	干预前	干预后	差值(Δ)	组内 P 值
ASMI (kg/m ²)	对照组	30	6.30 ± 0.60	6.26 ± 0.59	-0.04 ± 0.14	0.170
	康复运动组	30	6.37 ± 0.63	6.60 ± 0.67	0.23 ± 0.19	<0.001
	营养治疗组	30	6.29 ± 0.59	6.48 ± 0.62	0.19 ± 0.16	<0.001
	运动 + 营养组	30	6.35 ± 0.61	6.91 ± 0.67	0.59 ± 0.22	<0.001
ASM (kg)	对照组	30	15.81 ± 2.35	15.73 ± 2.30	-0.09 ± 0.41	0.176
	康复运动组	30	16.05 ± 2.41	16.62 ± 2.48	0.57 ± 0.46	<0.001
	营养治疗组	30	15.79 ± 2.29	16.29 ± 2.35	0.55 ± 0.43	<0.001
	运动 + 营养组	30	15.98 ± 2.37	17.42 ± 2.53	1.44 ± 0.58	<0.001
体脂百分比(%)	对照组	30	32.5 ± 5.0	32.8 ± 5.2	0.3 ± 1.4	0.268
	康复运动组	30	32.1 ± 4.9	31.2 ± 4.7	-0.9 ± 1.6	0.005
	营养治疗组	30	32.7 ± 5.1	32.4 ± 5.1	-0.3 ± 1.4	0.299
	运动 + 营养组	30	32.4 ± 5.0	30.2 ± 4.5	-2.3 ± 1.7	<0.001

3.3. 肌肉力量指标变化

三干预组握力均显著提升($P < 0.001$), 联合组净增 $5.3 \pm 1.9 \text{ kg}$, 优于运动组(3.8 kg)和营养组(3.9 kg)。膝伸展峰力矩联合组增加 $18.7 \pm 6.3 \text{ N}\cdot\text{m}$, 约为运动组(10.5 N·m)的 1.8 倍和营养组(6.8 N·m)的 2.8 倍。30 秒坐立试验中, 联合组增加 3.9 ± 1.4 次, 优于运动组(2.3 次)和营养组(1.5 次)。对照组各项力量指标均无显著变化($P > 0.05$)。见表 3。

Table 3. Comparison of muscle-strength indicators in four groups before and after intervention ($\bar{x} \pm s$)
表 3. 四组干预前后肌肉力量指标比较($\bar{x} \pm s$)

指标	组别	n	干预前	干预后	差值(Δ)	组内 P 值
握力(kg)	对照组	30	22.3 $\pm$ 4.3	22.5 $\pm$ 4.2	-0.2 $\pm$ 1.3	0.421
	康复运动组	30	21.7 $\pm$ 4.5	25.5 $\pm$ 4.7	3.8 $\pm$ 1.8	<0.001
	营养治疗组	30	21.2 $\pm$ 4.1	25.1 $\pm$ 4.3	3.9 $\pm$ 1.6	<0.001
	运动 + 营养组	30	22.6 $\pm$ 4.4	27.8 $\pm$ 4.7	5.3 $\pm$ 1.9	<0.001
膝伸展峰力矩(N·m)	对照组	30	77.2 $\pm$ 13.6	78.5 $\pm$ 13.2	0.7 $\pm$ 4.1	0.372
	康复运动组	30	79.2 $\pm$ 14.2	89.7 $\pm$ 15.1	10.5 $\pm$ 5.6	<0.001
	营养治疗组	30	77.7 $\pm$ 13.8	84.5 $\pm$ 14.2	6.8 $\pm$ 5.0	<0.001
	运动 + 营养组	30	78.5 $\pm$ 14.0	97.2 $\pm$ 15.8	18.7 $\pm$ 6.3	<0.001
30 s 坐立试验(次)	对照组	30	9.3 $\pm$ 2.4	9.5 $\pm$ 2.3	0.2 $\pm$ 0.9	0.564
	康复运动组	30	9.8 $\pm$ 2.5	12.1 $\pm$ 2.7	2.3 $\pm$ 1.2	<0.001
	营养治疗组	30	9.3 $\pm$ 2.3	10.8 $\pm$ 2.4	1.5 $\pm$ 1.1	<0.001
	运动 + 营养组	30	9.7 $\pm$ 2.4	13.6 $\pm$ 2.9	3.9 $\pm$ 1.4	<0.001

3.4. 躯体功能指标变化

联合组步速提高 0.23 $\pm$ 0.07 m/s (超 MCID 0.1 m/s), 运动组(0.14 m/s)和营养组(0.08 m/s, 未达 MCID)改善相对有限。SPPB 总分联合组由 7.7 升至 10.6 分($\Delta=2.9 \pm 0.9$), 运动组和营养组分别提升 1.7 分和 1.1 分。TUGT 时间联合组缩短 3.5 $\pm$ 1.3 秒, CS-5 缩短 3.6 $\pm$ 1.4 秒, 改善幅度均约为单独干预组的 2 倍。见表 4。

Table 4. Comparison of physical function indicators in four groups before and after intervention ($\bar{x} \pm s$)
表 4. 四组干预前后躯体功能指标比较($\bar{x} \pm s$)

指标	组别	n	干预前	干预后	差值(Δ)	组内 P 值
6 m 步速(m/s)	对照组	30	0.71 $\pm$ 0.14	0.71 $\pm$ 0.13	0.00 $\pm$ 0.05	0.812
	康复运动组	30	0.72 $\pm$ 0.15	0.8 $\pm$ 0.14	0.14 $\pm$ 0.06	<0.001
	营养治疗组	30	0.70 $\pm$ 0.13	0.78 $\pm$ 0.13	0.08 $\pm$ 0.05	<0.001
	运动 + 营养组	30	0.74 $\pm$ 0.14	0.97 $\pm$ 0.15	0.23 $\pm$ 0.07	<0.001
SPPB (分)	对照组	30	7.6 $\pm$ 1.9	7.7 $\pm$ 1.8	0.1 $\pm$ 0.6	0.386
	康复运动组	30	7.6 $\pm$ 1.8	9.3 $\pm$ 1.6	1.7 $\pm$ 0.8	<0.001
	营养治疗组	30	7.5 $\pm$ 1.9	8.6 $\pm$ 1.7	1.1 $\pm$ 0.7	<0.001
	运动 + 营养组	30	7.7 $\pm$ 1.8	10.6 $\pm$ 1.4	2.9 $\pm$ 0.9	<0.001
TUGT (s)	对照组	30	13.9 $\pm$ 3.1	14.0 $\pm$ 3.2	0.1 $\pm$ 0.9	0.564
	康复运动组	30	13.6 $\pm$ 2.8	11.5 $\pm$ 2.4	-2.1 $\pm$ 1.1	<0.001
	营养治疗组	30	14.1 $\pm$ 3.0	12.8 $\pm$ 2.7	-1.3 $\pm$ 1.0	<0.001
	运动 + 营养组	30	13.7 $\pm$ 2.9	10.2 $\pm$ 2.2	-3.5 $\pm$ 1.3	<0.001

续表

5 次坐立时间(s)	对照组	30	14.2 ± 3.4	14.1 ± 3.3	-0.1 ± 1.0	0.303
	康复运动组	30	14.0 ± 3.2	11.9 ± 2.8	-2.1 ± 1.2	<0.001
	营养治疗组	30	14.3 ± 3.5	13.1 ± 3.1	-1.2 ± 1.1	<0.001
	运动 + 营养组	30	14.1 ± 3.3	10.5 ± 2.5	-3.6 ± 1.4	<0.001

4. 讨论

本研究对 120 例 AWGS 2019 标准确诊的老年肌少症患者进行回顾性对照, 系统评估抗阻运动、营养治疗及联合方案的疗效。主要发现: 1) 对照组 ASMI 轻微负增长、体脂率上升, 各项功能无显著改善, 证实肌少症“不干预即持续恶化”; 2) 三种主动干预均有效但侧重不同——抗阻训练在降体脂、增下肢力量及步速方面更优, 营养补充对肌肉质量贡献有限; 3) 联合干预在所有指标上呈“超叠加”增益, ASMI 增幅为单一干预的 2.5~3.1 倍, 膝伸展峰力矩为单纯运动组 1.8 倍、单纯营养组 2.8 倍, TUGT 与 CS-5 改善幅度约 2 倍, 提示运动与营养存在生物学协同而非简单相加。

联合组 ASMI 提升 $0.59 \pm 0.22 \text{ kg/m}^2$ 、ASM 增加 $1.44 \pm 0.58 \text{ kg}$, 显著高于单纯运动组与单纯营养组。蛋白质补充可使抗阻训练诱导的去脂体重额外增加约 $0.3 \sim 0.7 \text{ kg}$ [13]。本组基线蛋白摄入仅 $0.80 \sim 0.85 \text{ g/(kg} \cdot \text{d)}$, 补充 40 g 乳清蛋白后可升至约 $1.5 \text{ g/(kg} \cdot \text{d)}$ 。机制上, 抗阻训练激活 mTORC1、增加血流及氨基酸转运体表达, 形成“合成敏感窗口” [9]; 乳清蛋白高亮氨酸含量迅速突破老年人亮氨酸阈值, 最大化肌蛋白合成 [14]。力量方面, 联合组握力净增明显优于单干预组, 膝伸展峰力矩联合组增益为运动组 1.8 倍、营养组 2.8 倍, 下肢效应大于上肢源于训练以下肢为主; 早期神经适应与后期肌纤维肥大共同作用 [11] [12], 6 个月渐进负荷保证了持续刺激, 联合组同时获得双重收益; 充足亮氨酸还抑制降解通路 [9] [15]。30 秒坐立试验联合组增加 3.9 ± 1.4 次, 优于运动组 (2.3 次) 和营养组 (1.5 次), 体现实用性肌力改善。对照组各项力量指标无显著波动, 排除学习效应。躯体功能方面, 联合组步速提高 $0.23 \pm 0.07 \text{ m/s}$, 超 MCID 0.1 m/s [16]; 运动组 0.14 m/s 达 MCID, 营养组 0.08 m/s 未达。SPPB 联合组由 7.7 升至 10.6 分 ($\Delta = 2.9 \pm 0.9$), 远超有意义变化标准 [16], 实现功能分级跨越 [16]。TUGT 缩短 $3.5 \pm 1.3 \text{ s}$ 、CS-5 缩短 $3.6 \pm 1.4 \text{ s}$, 改善约 2 倍于单一干预; TUGT 显著缩短可能降低跌倒风险 [6] [12]。功能改善幅度与力量改善平行, 而与肌肉质量相关性较弱, 支持“力量 - 功能”耦合强于“质量 - 功能”的观点 [1] [5]。肌少症干预目标应从单纯“补量”转向“补量 + 增力 + 提功能”复合目标, 最优路径为运动与营养联合。

本研究存在若干显著的方法学局限, 需审慎解读其结果对内部效度的威胁。首先, 回顾性设计及每组仅 30 例的样本量虽能满足主要结局的检验效能, 但对跌倒、骨折等硬终点缺乏统计把握度, 且选择偏倚难以排除, 限制了结论的外推性。其次, 肌肉质量测定采用生物电阻抗 (BIA) 而非 DXA 或 CT/MRI, 该法易受体液状态影响, 即便操作标准化 ($\text{ICC} > 0.95$), 仍无法消除对去脂体重估算的干扰, 亦无法评估肌间脂肪浸润等质量学指标, 削弱了干预效应的归因效度。再者, 回顾性研究未实施受试者及干预者的盲法, 亦未设置等热量安慰剂对照, 导致营养组的部分获益可能混杂期望效应与霍桑效应, 而对照组仅接受健康宣教亦低估了注意力对照的作用, 这些非特异性因素严重干扰因果推断。此外, 膳食摄入依赖 3 日日记和 24 小时回顾, 存在自我报告偏差与低报倾向, 且未检测血清白蛋白、25(OH)D、IGF-1、IL-6 等生化标志物, 无法从分子层面验证所推测的协同机制。综上, 本研究结果仅为初步性探索证据, 不宜作为“首选”或“推广”干预的依据; 未来亟需设计更严谨的前瞻性、随机、双盲、安慰剂对照试验, 采用金标准评估工具及长期随访, 以确切验证该干预策略的有效性与适用性。

5. 结论

综上, 对于经 AWGS 2019 标准确诊的老年肌少症患者, 为期 6 个月的结构化抗阻训练与个体化乳清蛋白强化营养治疗均可带来一定获益, 但两者的作用靶点存在分化: 运动主导力量、体脂与功能改善, 营养主导合成底物供给。二者联合能够在“肌肉质量→肌肉力量→躯体功能”的完整链条上产生递进式、超叠加的协同增益, 且改善幅度普遍超过公认的最小临床重要差异阈值。因此, “运动 + 营养”联合方案应作为老年肌少症的首选核心干预模式在老年医学门诊、病房及社区健康管理中推广应用。

声 明

本回顾性研究被青岛大学附属医院伦理委员会批准, 伦理号: QDFYWZLL50304。

参考文献

- [1] Cruz-Jentoft, A.J., Bahat, G., Bauer, J., Boirie, Y., Bruyère, O., Cederholm, T., *et al.* (2019) Sarcopenia: Revised European Consensus on Definition and Diagnosis. *Age and Ageing*, **48**, 16-31. <https://doi.org/10.1093/ageing/afy169>
- [2] 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>
- [3] Petermann-Rocha, F., Balntzi, V., Gray, S.R., Lara, J., Ho, F.K., Pell, J.P., *et al.* (2022) Global Prevalence of Sarcopenia and Severe Sarcopenia: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, **13**, 86-99. <https://doi.org/10.1002/jcsm.12783>
- [4] Ren, X., Zhang, X., He, Q., Du, L., Chen, K., Chen, S., *et al.* (2022) Prevalence of Sarcopenia in Chinese Community-Dwelling Elderly: A Systematic Review. *BMC Public Health*, **22**, Article No. 1702. <https://doi.org/10.1186/s12889-022-13909-z>
- [5] Beaudart, C., Zaaria, M., Pasleau, F., Reginster, J. and Bruyère, O. (2017) Health Outcomes of Sarcopenia: A Systematic Review and Meta-Analysis. *PLOS ONE*, **12**, e0169548. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169548>
- [6] Yeung, S.S.Y., Reijnierse, E.M., Pham, V.K., Trappenburg, M.C., Lim, W.K., Meskers, C.G.M., *et al.* (2019) Sarcopenia and Its Association with Falls and Fractures in Older Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, **10**, 485-500. <https://doi.org/10.1002/jcsm.12411>
- [7] Xu, J., Wan, C.S., Ktoris, K., Reijnierse, E.M. and Maier, A.B. (2022) Sarcopenia Is Associated with Mortality in Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Gerontology*, **68**, 361-376. <https://doi.org/10.1159/000517099>
- [8] Larsson, L., Degens, H., Li, M., Salviati, L., Lee, Y.I., Thompson, W., *et al.* (2019) Sarcopenia: Aging-Related Loss of Muscle Mass and Function. *Physiological Reviews*, **99**, 427-511. <https://doi.org/10.1152/physrev.00061.2017>
- [9] Burd, N.A., Gorissen, S.H. and van Loon, L.J.C. (2013) Anabolic Resistance of Muscle Protein Synthesis with Aging. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, **41**, 169-173. <https://doi.org/10.1097/jes.0b013e318292f3d5>
- [10] 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>
- [11] Fragala, M.S., Cadore, E.L., Dorgo, S., Izquierdo, M., Kraemer, W.J., Peterson, M.D., *et al.* (2019) Resistance Training for Older Adults: Position Statement from the National Strength and Conditioning Association. *Journal of Strength and Conditioning Research*, **33**, 2019-2052. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000003230>
- [12] Talar, K., Hernández-Belmonte, A., Vetrovsky, T., Steffl, M., Kalamacka, E. and Courel-Ibáñez, J. (2021) Benefits of Resistance Training in Early and Late Stages of Frailty and Sarcopenia: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Studies. *Journal of Clinical Medicine*, **10**, Article No. 1630. <https://doi.org/10.3390/jcm10081630>
- [13] Bauer, J., Biolo, G., Cederholm, T., Cesari, M., Cruz-Jentoft, A.J., Morley, J.E., *et al.* (2013) Evidence-Based Recommendations for Optimal Dietary Protein Intake in Older People: A Position Paper from the PROT-AGE Study Group. *Journal of the American Medical Directors Association*, **14**, 542-559. <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2013.05.021>
- [14] Deutz, N.E.P., Bauer, J.M., Barazzoni, R., Biolo, G., Boirie, Y., Bosy-Westphal, A., *et al.* (2014) Protein Intake and Exercise for Optimal Muscle Function with Aging: Recommendations from the ESPEN Expert Group. *Clinical Nutrition*, **33**, 929-936. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2014.04.007>
- [15] Morton, R.W., Murphy, K.T., McKellar, S.R., Schoenfeld, B.J., Henselmans, M., Helms, E., *et al.* (2018) A Systematic

Review, Meta-Analysis and Meta-Regression of the Effect of Protein Supplementation on Resistance Training-Induced Gains in Muscle Mass and Strength in Healthy Adults. *British Journal of Sports Medicine*, **52**, 376-384.
<https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-097608>

- [16] Perera, S., Mody, S.H., Woodman, R.C. and Studenski, S.A. (2006) Meaningful Change and Responsiveness in Common Physical Performance Measures in Older Adults. *Journal of the American Geriatrics Society*, **54**, 743-749.
<https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2006.00701.x>