

## 老年人肌肉减少症与心血管代谢疾病研究进展

陆治名<sup>1,2</sup> 单广良<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>中国医学科学院基础医学研究所/北京协和医学院基础学院流行病学与卫生统计学系, 北京 100005; <sup>2</sup>重大疾病共性机制研究全国重点实验室, 北京 100005

通信作者: 单广良, Email: guangliang\_shan@163.com

**【摘要】** 肌肉减少症和心血管代谢疾病已成为影响老年人健康和生活质量的重要公共卫生问题。预防肌肉减少症发生对心血管代谢疾病的防治具有重要意义。本文就老年人肌肉减少症诊断标准、肌肉减少症与心血管代谢疾病的关系及可能机制进行综述, 为肌肉减少症合并心血管代谢疾病的防控提供支持。

**【关键词】** 肌肉减少症; 老年人; 心血管代谢疾病

**基金项目:** 科技部科技基础资源调查专项(2022FY100800); 中国医学科学院医学与健康科技创新工程(2021-I2M-1-023)

### Research progress on the association between sarcopenia and cardiometabolic diseases among older adults

Lu Zhiming<sup>1,2</sup>, Shan Guangliang<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Department of Epidemiology and Statistics, Institute of Basic Medical Sciences Chinese Academy of Medical Sciences, School of Basic Medicine Peking Union Medical College, Beijing 100005, China; <sup>2</sup>State Key Laboratory of Common Mechanism Research for Major Diseases, Beijing 100005, China

Corresponding author: Shan Guangliang, Email: guangliang-shan@163.com

**【Abstract】** Sarcopenia and cardiometabolic diseases have become important public health problems affecting the health and quality of life of the elderly. Reducing the incidence of sarcopenia is of positive significance for preventing and treating cardiometabolic diseases. This paper reviews the diagnostic criteria of sarcopenia in the elderly, the relationship between sarcopenia and cardiometabolic diseases, and the possible mechanisms. It provides support for the prevention and control of sarcopenia combined with cardiometabolic diseases.

**【Key words】** Sarcopenia; Older adults; Cardiometabolic diseases

**Fund programs:** Research on the Basic Resources of Science and Technology in the Ministry of Science and Technology (2022FY100800); Chinese Academy of Medical Sciences Innovation Fund for Medical Sciences (2021-I2M-1-023)

2020年, 中国≥60岁人口为2.64亿, 占总人口的18.70%<sup>[1]</sup>。预计到2050年前后, 我国≥65岁老年人口数将达到3.95亿<sup>[2]</sup>。随着我国人口老龄化程度进一步加深, 老年人健康问题尤为突出。老年人肌肉减少症和心血管代谢疾病是2种常见的老年健康问题<sup>[3]</sup>。心血管代谢疾病是以胰岛素抵抗为核心的多种代谢紊乱性疾病, 包括高血压、糖尿病、脑卒中、冠心病等<sup>[4,6]</sup>, 是我国居民的第1位死因, 也是

疾病负担的首要病因<sup>[7]</sup>。肌肉减少症表现为肌肉力量、质量和躯体功能下降, 与跌倒、住院、残疾、死亡风险增加有关<sup>[8]</sup>。

肌肉减少症与心血管代谢疾病之间相互影响, 肌肉减少症可诱导胰岛素抵抗和慢性炎症, 从而增加心血管代谢疾病的风险; 心血管代谢疾病可加速肌肉损失, 从而诱导肌肉减少症发生<sup>[9]</sup>。国内外已有大量研究揭示老年人肌肉减

DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20231122-00307

收稿日期 2023-11-22 本文编辑 万玉立

引用格式: 陆治名, 单广良. 老年人肌肉减少症与心血管代谢疾病研究进展[J]. 中华流行病学杂志, 2024, 45(6): 879-885. DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20231122-00307.

Lu ZM, Shan GL. Research progress on the association between sarcopenia and cardiometabolic diseases among older adults[J]. Chin J Epidemiol, 2024, 45(6):879-885. DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20231122-00307.



少症与心血管代谢疾病(如高血压<sup>[10]</sup>、糖尿病<sup>[11]</sup>)的关联,但由于该领域发展不成熟,现有研究在定义、测量方法等方面不够一致,研究结论并不统一。本文概述肌肉减少症定义及诊断方法,总结肌肉减少症与不同心血管代谢疾病的关联,讨论肌肉减少症的防控策略措施,为未来研究提供思路,为心血管代谢疾病防控提供参考。

### 1. 肌肉减少症流行特征及评估方法:

(1)流行特征:肌肉减少症在老年人中较常见,肌肉量从 40 岁左右就开始下降。生活方式和环境是影响肌肉减少症患病率的主要因素<sup>[12]</sup>。

由于测量仪器、诊断参数和诊断界值的差异,不同研究的肌肉减少症患病率差异较大。一项纳入全世界范围内 151 项研究( $n=692\ 056$ )的荟萃分析共涉及 6 种不同的肌肉减少症定义,分析结果显示,在 $\geq 60$ 岁人群中肌肉减少症患病率为 10.0%~27.0%,使用 2018 年欧洲老年人肌肉减少症工作组(EWGSOP2)、2010 年欧洲老年人肌肉减少症工作组(EWGSOP)、2014 年亚洲肌肉减少症工作组(AWGS)、国际肌肉减少症工作组(IWGS)、美国国立卫生研究基金会(FNIH)、身高调整的肌肉含量标准的患病率分别为 10.0%、23.0%、14.0%、14.0%、12.0%、27.0%<sup>[13]</sup>。中国社区老年人肌肉减少症患病率呈现出城乡、性别和年龄差异。一项包含 6 172 名 $\geq 60$ 岁社区老年人的研究采用 2019 年亚洲肌肉减少症工作组(AWGS2)标准定义肌肉减少症,研究结果显示,肌肉减少症患病率为 18.6%,农村老年人患病率(21.7%)高于城市(9.4%),差异有统计学意义( $P<0.001$ ),随着年龄增长患病率增高<sup>[14]</sup>。中国西部地区一项研究显示,使用 AWGS 诊断标准,中老年人肌肉减少症患病率为 19.31%,男性患病率(23.6%)高于女性(18.6%)<sup>[15]</sup>。另一项研究使用 AWGS 诊断标准评估老年人肌肉减少症患病率为 9.8%,农村(13.1%)患病率高于城市(7.0%)<sup>[16]</sup>。中国香港地区一项纳入 3 957 名 $\geq 65$ 岁老年人的研究显示,肌肉减少症患病率为 7.3%,男性患病率(9.3%)高于女性(5.6%)<sup>[17]</sup>。一项纳入 21 项研究、17 564 名 $\geq 65$ 岁社区老年人的荟萃分析显示,肌肉减少症患病率为 23.2%,患病率随年龄增长而增加<sup>[18]</sup>。

(2)肌肉减少症诊断:1989 年, Rosenberg<sup>[19]</sup>提出肌肉减少症的概念,用来描述与年龄相关的身体肌肉量减少。最初,研究常使用肌肉含量这一单一指标来定义肌肉减少症。1998 年 Baumgartner 等<sup>[20]</sup>提出了定义肌肉减少症的指标,当身高调整后的四肢肌肉含量低于年轻参照人群的均值减去 2 个标准差时,即定义为肌肉减少症。2002 年, Janssen 等<sup>[21]</sup>提出了不同于 Baumgartner 等<sup>[20]</sup>的指标,使用体重调整后的四肢肌肉含量来评估,当其低于年轻参照人群的均值减去 1 或 2 个标准差时,即定义为肌肉减少症。随着对肌肉减少症的研究不断深入,科学家发现单一的肌肉含量指标来评估肌肉减少症存在一定局限性。随着年龄增长,相比于肌肉含量,肌肉力量下降速度更迅速<sup>[22]</sup>。因此,采用综合的、恰当的指标来重新定义肌肉减少症尤为重要。

2010 年, EWGSOP 发表共识,从肌肉含量、肌肉力量和躯体功能 3 个方面综合考虑,对肌肉减少症重新定义:仅存在低肌肉含量,则定义为肌肉减少症前期;存在低肌肉含量并同时存在低肌肉力量或躯体功能差,则定义为肌肉减少症;若同时存在低肌肉含量、低肌肉力量和躯体功能差,则定义为严重肌肉减少症<sup>[23]</sup>。2018 年, EWGSOP2 进行了修订,通过回顾最新的研究,发现肌肉力量比肌肉含量更能准确地预测不良健康结局的发生。修订版指出,仅存在低肌肉力量,则定义为肌肉减少症前期;在低肌肉力量的基础上存在低肌肉含量/质量,则定义为肌肉减少症;若同时存在低肌肉力量、低肌肉含量和躯体功能差,则定义为严重肌肉减少症<sup>[24]</sup>。

2014 年, AWGS 发表共识,对肌肉减少症的定义与 EWGSOP 相似;不同的是,其强调首先用肌肉力量和躯体功能筛查肌肉减少症<sup>[25]</sup>。另外,由于种族、生活方式等原因, AWGS 定义肌肉减少症的截断值与 EWGSOP 有所不同。2019 年 AWGS2 进行了修订,增加了严重肌肉减少症的定义<sup>[26]</sup>。

2016 年,肌肉减少症被正式纳入《国际疾病分类》第十版疾病编码(M62.84)<sup>[27]</sup>。IWGS<sup>[28]</sup>、FNIH<sup>[29]</sup>、中华医学会老年医学分会<sup>[12]</sup>等相继发布肌肉减少症诊断方法。见表 1。

(3)肌肉减少症测量方法:肌肉含量:人体四肢肌肉含量(ASM)是评估肌肉含量的常用指标。目前,测量 ASM 的金标准方法是双能 X 线吸收法(DXA),该方法利用 X 射线透过人体时的能量衰减程度来测量身体成分,具有准确性高、操作简单、辐射较小等优点,但是价格相对昂贵,且不易携带、移动,不适合流行病学现场中广泛应用。生物电阻抗分析方法(BIA)根据人体不同组织的导电性差异来估算肌肉、脂肪、水分和基础代谢等身体成分。BIA 具有价格便宜、仪器便于携带、操作便捷等优点,适用于医院及社区大规模人群研究。AWGS 推荐使用 DXA 或多频 BIA 进行测量,不推荐使用家庭版小型 BIA 或超声测量<sup>[26]</sup>。

肌肉力量:目前,用于测量肌肉力量的方法有限,研究者常用握力来评估肌肉力量。虽然握力被广泛使用,但测量方法在不同研究中存在差异。在亚洲最常使用的设备是弹簧式握力计,其次是液压式握力计,不建议对不同握力计的测量结果进行比较。

躯体功能:目前,躯体功能的测量方法有多种,包括简易体能测试(SPPB)、起立-行走计时测试(TUG)、4 m 步速测验或 6 m 步速测验等。步速测验作为最简便的方式,被大多指南推荐用于评估躯体功能<sup>[12,24,26]</sup>。

### 2. 肌肉减少症与心血管代谢疾病的关系:

(1)肌肉减少症与糖尿病:肌肉减少症与糖尿病的病理生理机制存在内在联系,两者密切相关、互为因果。肌肉减少症可使糖尿病患病风险增加。首先,肌肉是人体最重要的组织之一,是葡萄糖利用的主要场所,肌肉减少可诱导胰岛素抵抗的发生,骨骼肌的胰岛素抵抗可能是肌肉减少症与糖尿病之间最重要的桥梁<sup>[32]</sup>。研究显示,老年人肌肉质

表 1 肌肉减少症诊断方法

诊断来源	年份	肌肉含量			肌肉力量		躯体功能		诊断方法
		指标	测量方式	截断值	指标	截断值	指标	截断值	
EWGSOP <sup>[23]</sup>	2010	ASMI (kg/m <sup>2</sup> )	DXA	男性<7.26, 女性<5.50	握力(kg)	男性<30, 女性<20	步速(m/s)	≤0.8	肌少症前期:低肌肉含量 肌少症:低肌肉含量+(低肌肉力量或躯体功能差) 严重肌少症:低肌肉含量+(低肌肉力量和躯体功能差)
			BIA	男性<8.87, 女性<6.42					
IWGS <sup>[28]</sup>	2011	ASMI (kg/m <sup>2</sup> )	DXA	男性≤7.23, 女性≤5.67	-	-	步速(m/s)	<1.0	肌少症:全身或四肢肌肉含量低+躯体功能差
SCWD <sup>[30]</sup>	2011	ASMI (kg/m <sup>2</sup> )	-	低于同种族青年平均水平减去2个标准差	-	-	步速(m/s)	≤1.0	肌少症:低肌肉力量+躯体功能差
							6 min 步行距离(m)	<400	
AWGS <sup>[25]</sup>	2014	ASMI (kg/m <sup>2</sup> )	DXA	男性≤7.0, 女性≤5.4	握力(kg)	男性<26, 女性<18	步速(m/s)	≤0.8	肌少症:低肌肉含量+(低肌肉力量和/或躯体功能差)
			BIA	男性≤7.0, 女性≤5.7					
FNIH <sup>[29]</sup>	2014	ASM/BMI (kg/kg/m <sup>2</sup> )	DXA	男性<0.789, 女性<0.512	握力(kg)	男性<26, 女性<18	步速(m/s)	<0.8	肌少症:低肌肉含量+低肌肉力量+躯体功能差
CSOBMR <sup>[31]</sup>	2016	ASMI (kg/m <sup>2</sup> )	DXA	低于参照青年健康人峰值减去2个标准差	握力(kg)	男性≤25, 女性≤18	步速(m/s)	≤0.8	肌少症:低肌肉含量+(低肌肉力量和/或躯体功能差)
EWGSOP2 <sup>[24]</sup>	2019	ASMI (kg/m <sup>2</sup> )	-	男性<7.0, 女性<5.5	握力(kg)	男性<27, 女性<16	步速(m/s)	≤0.8	可能肌少症:低肌肉力量 肌少症:低肌肉力量+低肌肉含量或质量 严重肌少症:低肌肉力量+(低肌肉含量/质量和躯体功能差)
					5次坐起时间(s)	>15	TUG(s)	≥20	
						400 m 步行	未完成或完成时间	≥6 min	
AWGS2 <sup>[26]</sup>	2020	ASMI (kg/m <sup>2</sup> )	DXA	男性≤7.0, 女性≤5.4	握力(kg)	男性<28, 女性<18	步速(m/s)	<1.0	肌少症:低肌肉含量+(低肌肉力量或躯体功能差) 严重肌少症:低肌肉含量+(低肌肉力量和躯体功能差)
			BIA	男性≤7.0, 女性≤5.7				5次坐起时间(s)	
							SPPB得分	≤9	
CGS <sup>[12]</sup>	2021	ASMI (kg/m <sup>2</sup> )	DXA	男性≤7.0, 女性≤5.4	握力(kg)	男性<28, 女性<18	步速(m/s)	<1.0	肌少症:低肌肉含量+(低肌肉力量或躯体功能差) 严重肌少症:低肌肉含量+(低肌肉力量和躯体功能差)
			BIA	男性≤7.0, 女性≤5.7				5次坐起时间(s)	
							SPPB得分	≤9	

注:EWGSOP:欧洲肌少症工作组;IWGS:国际肌少症工作组;SCWD:肌少症、恶病质和消耗性疾病协会;AWGS:亚洲肌肉减少症工作组;FNIH:美国国立卫生研究基金会;CSOBMR:中华医学会骨质疏松和骨矿盐疾病分会;CGS:中华医学会老年医学分会;ASMI:四肢肌肉量指数(四肢肌肉量除以身高的平方);ASM:四肢肌肉含量;DXA:双能X线吸收法;BIA:生物电阻抗分析法;SPPB:简易体能测试;TUG:起立-行走计时测试;-:未提及具体方法

量与肌内脂肪组织的比例呈显著负相关<sup>[33]</sup>,肌间脂肪组织通过分泌脂肪因子和炎症因子,引起骨骼肌胰岛素信号和线粒体功能障碍,进而增加糖尿病风险。肌肉减少症还会导致功能衰退,使得患者体力活动减少,增加肥胖、虚弱风险,导致代谢失衡,进而增加MS或糖尿病患病风险<sup>[34]</sup>。一项包含6 895名韩国中老年人、随访12年的队列研究显示,调整混杂因素后,与正常肌肉指数(骨骼肌含量/体重)相比,低肌肉指数显著增加糖尿病发生风险<sup>[11]</sup>。另外,肥胖合并低肌肉指数患者发生糖尿病风险更大<sup>[11]</sup>。另一项仅纳入老年女性的研究同样显示,肌肉减少症的女性发生高血糖/糖尿病的风险是未患肌肉减少症女性的6.75倍<sup>[35]</sup>。老年肌肉减少症与糖尿病关系会受肥胖和性别的影响,超重/肥胖

可能会抵消较高肌肉含量带来的益处。一项随访11年的队列研究显示,对于体重健康的老年女性,肌肉含量高的人患糖尿病的风险降低40%~60%,而在男性和超重/肥胖的女性中未发现这种关联<sup>[36]</sup>。

糖尿病本身也能影响肌肉减少症的发生发展。高血糖是糖尿病的主要表现之一,持续高血糖会增加晚期糖基化终产物(AGEs)在肌间蓄积,过多的AGEs与肌肉质量、力量下降呈现强相关性<sup>[37]</sup>。其次,糖尿病性神经病变是糖尿病常见并发症,可导致运动单元轴突快速损失,从而损害肌肉功能并导致肌肉萎缩<sup>[38]</sup>。另外,神经病变可使感觉反馈机制损伤,进而平衡控制功能受到影响,最终导致躯体功能减退<sup>[39]</sup>。目前,肌肉减少症被认为是新的糖尿病并发症<sup>[40]</sup>。



一项纳入 18 940 名社区老年人的研究显示,糖尿病患者肌肉力量降低的风险是未患糖尿病者的 1.2 倍<sup>[41]</sup>。英国老龄化纵向研究(包括 3 404 名老年人)发现,基于 FNII 诊断标准,男性糖尿病患者 8 年后发生肌肉减少症的风险显著增加( $OR=2.43, 95\%CI: 1.50\sim 3.95$ ),而女性没有显著变化( $OR=1.49, 95\%CI: 0.83\sim 2.68$ )<sup>[42]</sup>。

(2)肌肉减少症与高血压:老年人肌肉减少症与高血压关联性研究较少。两者之间的关系可能涉及多种机制。然而,影响肌肉减少症与血压的影响因素众多,完全阐述两者间的机制还需要深入的研究。肌肉减少症患者往往伴随着胰岛素抵抗和基础代谢率降低,增加了脂肪积累的风险,这是高血压的危险因素之一<sup>[43]</sup>。其次,肌肉质量增加可促进葡萄糖代谢,提高糖耐量水平,减少身体液体摄入,保护肾脏功能,改善烟酰胺腺嘌呤二核苷酸磷酸氧化酶 4 介导的氧化应激,从而改善血压水平<sup>[44]</sup>。再者,肌肉减少症患者通常会经历功能障碍和身体残疾,导致运动能力下降,增加患高血压风险。

韩国一项研究调查老年肌肉减少症与高血压的关系,并且探索了肥胖在两者关系中的作用,与非肥胖非肌肉减少症组相比,非肥胖肌肉减少症组患高血压的  $OR$  值为 1.50 ( $95\%CI: 1.23\sim 1.84$ ),肥胖非肌肉减少症组  $OR$  值为 2.08 ( $95\%CI: 1.68\sim 2.57$ ),肥胖合并肌肉减少症组  $OR$  值为 3.00 ( $95\%CI: 2.48\sim 3.63$ )<sup>[10]</sup>。一项纳入全球 14 804 名老年人的荟萃分析也支持了这一结论,肌肉减少症会增加高血压患病风险( $OR=1.39, 95\%CI: 1.15\sim 1.67$ )<sup>[45]</sup>。陈海燕等<sup>[46]</sup>在一项前瞻性研究中调查了肌肉减少症组分(握力)与高血压的关系,结果显示基线握力水平与高血压的发病风险呈负相关。然而,也有研究发现肌肉减少症与高血压无关联。一项纳入 4 021 名伊朗人的研究显示,在调整年龄、性别、总脂肪量和体力活动等混杂因素后肌肉减少症与高血压无统计学关联<sup>[47]</sup>。研究结论不一致可能由研究人群选择、样本量、肌肉减少症定义等不同造成,其关系有待在前瞻性研究中探讨。

(3)肌肉减少症与 MS:MS 是一组复杂的代谢紊乱症候群,是心脑血管疾病的危险因素,包括中心性肥胖、高血糖、胰岛素抵抗、血脂异常和高血压<sup>[48]</sup>。肌肉减少症与 MS 间关系的机制与糖尿病类似,通过诱导或加重胰岛素抵抗、炎症反应程度增加 MS 发生风险。一项纳入 12 项研究、共 35 581 名非肥胖中老年人的荟萃分析结果显示,肌肉减少症患者的 MS 患病率明显高于未患肌肉减少症患者(36.45% vs. 22.81%)。另外,肌肉减少症组发生 MS 的风险是非肌肉减少症组的 2 倍<sup>[49]</sup>。Wu 等<sup>[50]</sup>的研究结果显示,肌肉力量与 MS 及其组分(腰围、TC、血压、FPG 和 HDL-C)呈负相关。杨蕾<sup>[51]</sup>的研究结果显示,中老年男性肌肉减少症组发生 MS 的风险是非肌肉减少症组的 2.11 ( $95\%CI: 1.15\sim 3.88$ )倍,在女性中关联依然存在( $OR=1.31, 95\%CI: 1.01\sim 2.55$ )。这种关联在老龄老年人中并不显著。一项纳入  $\geq 70$  岁人群的研究结果显示,在控制脂肪量变量后,肌肉质量

下降不是 MS 的独立危险因素<sup>[52]</sup>。因此,研究肌肉减少症与 MS 的关系时,应注意观察不同年龄组的效应差异。

(4)肌肉减少症与冠心病:肌肉减少症和冠心病具有相似的潜在生物学机制,即低度慢性全身性炎症<sup>[53]</sup>。肌肉减少症患者往往伴随胰岛素抵抗,增加脂肪积累风险,脂肪组织代谢产生大量促炎细胞因子,包括白细胞介素 6、肿瘤坏死因子  $\alpha$  和瘦素等,这些因子会不同程度地促进冠心病发生、发展<sup>[54]</sup>。一项纳入  $\geq 80$  岁老年人的研究显示,肌肉减少症组分(肌肉含量和步速)与冠状动脉钙化评分呈负相关,肌肉量的  $OR$  值为 2.54 ( $95\%CI: 1.06\sim 6.06$ ),步速的  $OR$  值为 2.36 ( $95\%CI: 1.10\sim 5.06$ )<sup>[55]</sup>。唐月颖等<sup>[56]</sup>对 509 名蒙古族和汉族老年住院患者进行研究,结果发现与未患肌肉减少症患者相比,患有肌肉减少症者发生冠心病的风险增加 167.6% ( $OR=2.676, 95\%CI: 1.661\sim 4.311$ )。一项两样本孟德尔随机化研究显示,高四肢肌肉含量( $OR=0.835, 95\%CI: 0.790\sim 0.882$ )、左手握力( $OR=0.703, 95\%CI: 0.569\sim 0.869$ )可显著降低冠心病发生风险<sup>[57]</sup>。肌肉减少症不仅增加冠心病发生风险,还会增加冠心病患者死亡风险。一项仅包含男性人群(平均年龄:63.1 岁)的研究评估了骨骼肌质量及有氧运动能力与冠心病患者死亡风险的关系,研究发现低骨骼肌含量与冠心病患者 5 年死亡风险增加相关( $r=-0.365, P=0.006$ )<sup>[58]</sup>。

也有研究显示,老年冠心病患者肌肉减少症发生风险较高。一项纳入 99 名老年心肌梗死住院患者(平均年龄:71.6 岁)的研究显示,肌肉减少症患病率为 64.6%(应用 EWGSOP 标准诊断),远高于正常人群,男性患病率高于女性<sup>[59]</sup>。另外,肌肉减少症还可作为冠心病患者的预后因素。Zhang 等<sup>[60]</sup>对 345 名老年冠心病患者进行肌肉减少症评估,研究发现肌肉减少症患病率为 22.6%,经过一段时间随访(随访时间  $M=351$  d),患有肌肉减少症者非计划性回访明显高于非肌肉减少症患者(34.2% vs. 21.8%,  $P=0.036$ ),无不良心脑血管事件的持续时间短于非肌肉减少症患者( $P=0.043$ )。

3. 防控策略措施:目前预防和治疗肌肉减少症最有力的证据是来自运动干预的研究,如抗阻力和有氧训练,已被证明可以增加肌肉质量、力量和提高躯体功能<sup>[53]</sup>。抗阻力训练是肌肉萎缩的既定治疗方法,是当前研究较多的运动疗法之一,抗阻力训练可以减少患病人群住院时间,增加老年人的肌肉横截面和肌肉力量<sup>[61]</sup>。《老年人肌少症防控干预中国专家共识(2023)》推荐抗阻训练每周不低于 2~3 次,每次保持 30~60 min,2 次训练至少间隔 48 h。可以采用弹力带、绑腿、沙袋、哑铃等训练方式<sup>[62]</sup>。有氧运动可以改善机体线粒体功能,增强有氧能力和肌肉力量。如果结合抗阻训练,推荐每次有氧运动持续 10~20 min;单独进行有氧运动,时长可相应延长至 30~45 min,每周运动不低于 3 次。可以采用国内外推荐的 6 min 走、2 min 高抬腿、骑健身车,也可以采用中国传统体育项目(太极拳、五禽戏、八段锦等)<sup>[62]</sup>。一项研究选取  $\geq 70$  岁的肌肉减少症前期患者,将研

究对象随机分为 2 组, 干预组接受 10 周的抗阻力训练, 结果显示干预组男性 SPPB 得分高于对照组; 干预完成后干预组身体成分指标改善程度均高于对照组, 如肌肉质量增加<sup>[63]</sup>。Zhu 等<sup>[64]</sup>对中国香港地区的 ≥65 岁老年肌肉减少症患者进行抗阻力和有氧运动干预, 干预 12 周后结果显示, 与对照组相比, 干预组肌肉质量、力量和躯体功能明显提升。

营养不良及其导致的肌蛋白合成降低是引起肌肉减少症发生和发展的关键原因, 也是重要的干预靶点之一。老年肌肉减少症患者均需进行必要的营养评估, 以便及时干预。中华医学会老年医学分会推荐补充 1.0~1.2 g·kg<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup> 的蛋白质以预防肌肉减少症<sup>[12]</sup>。美国科学院营养与食品委员会推荐成年人补充蛋白质摄入量 0.8 g·kg<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>, 以防止肌肉流失<sup>[65]</sup>。欧洲临床营养与代谢学会推荐老年人补充蛋白质摄入量 1.0~1.2 g·kg<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>, 并建议所有老年人将高蛋白饮食与日常体育活动(抗阻和有氧运动)结合起来预防肌肉减少症发生<sup>[66]</sup>。维生素 D 补充可明显改善肌肉力量, 尤其是在血清 25 羟维生素 D 浓度 <50 nmol/L 的老年人中<sup>[67]</sup>; 但是对于维生素 D 不缺乏者, 额外补充不能表现出活动能力改善<sup>[62]</sup>。Lin 等<sup>[68]</sup>将 56 名 <75 岁的肌肉减少症老年人随机分为干预组和对照组, 干预组补充富含亮氨酸、维生素 D 的优质乳清蛋白营养剂, 12 周后, 相比于对照组, 干预组躯体功能显著提升。Li 等<sup>[69]</sup>对老年肌肉减少症患者实施 12 周的强化生活方式干预(抗阻力训练和营养补充), 结果证实患者肌肉质量显著改善, 炎性指标降低。

4. 小结与展望: 目前, 已有众多共识/指南发布老年肌肉减少症诊断标准, 但尚未达成统一, 中国有关肌肉减少症的研究主要应用 AWGS 和 AWGS2 诊断标准。肌肉减少症和心血管代谢疾病给老年人造成了严重的健康威胁。两者互相影响, 具有共同的潜在病理生理机制。现有证据表明, 老年人肌肉减少症与心血管代谢疾病发生密切相关; 另外, 肌肉减少症能显著增加心血管代谢疾病患者死亡风险。因此, 积极防治肌肉减少症对减少心血管代谢疾病发生及死亡具有重要意义。

目前肌肉减少症定义尚不统一, 亟需制定本土化的老年人肌肉减少症诊断标准。另外, 有关肌肉减少症与心血管代谢疾病的关联主要集中在横断面研究, 未来应采用大样本、前瞻性研究及孟德尔随机化研究深入探索两者关系及因果关联。运动锻炼和补充营养已被证明是预防肌肉减少症的有效方式, 未来应开展更多基于科学合理设计、有效控制混杂和偏倚的干预性研究, 制定适合中国老年人的综合干预措施, 为肌肉减少症合并心血管代谢疾病的防治提供可靠依据、为相关公共卫生政策制定提供证据支持。

**利益冲突** 所有作者声明无利益冲突

## 参 考 文 献

[1] 国务院第七次全国人口普查领导小组办公室. 2020 年第七次全国人口普查主要数据[M]. 北京: 中国统计出版社, 2021.  
Office of the Leading Group of the State Council for the

Seventh National Population Census. Major figures on 2020 population census of China[M]. Beijing: China Statistics Press, 2021.

- [2] Chen XX, Giles J, Yao Y, et al. The path to healthy ageing in China: a Peking University-Lancet Commission[J]. *Lancet*, 2022, 400(10367):1967-2006. DOI:10.1016/S0140-6736(22)01546-X.
- [3] Gao K, Cao LF, Ma WZ, et al. Association between sarcopenia and cardiovascular disease among middle-aged and older adults: findings from the China health and retirement longitudinal study[J]. *eClinicalMedicine*, 2022, 44:101264. DOI:10.1016/j.eclinm.2021.101264.
- [4] Arnett DK, Blumenthal RS, Albert MA, et al. 2019 ACC/AHA guideline on the primary prevention of cardiovascular disease: a report of the American college of cardiology/American heart association task force on clinical practice guidelines[J]. *Circulation*, 2019, 140(11): e596-646. DOI:10.1161/CIR.0000000000000678.
- [5] 中华预防医学会, 中华预防医学会心脏病预防与控制专业委员会, 中华医学会糖尿病学分会, 等. 中国健康生活方式预防心血管代谢疾病指南[J]. *中华糖尿病杂志*, 2020, 12(3):141-162. DOI:10.3760/cma.j.cn115791-20200209-00056.
- Chinese Preventive Medicine Association, Branch of Heart Disease Prevention and Control, Chinese Preventive Medicine Association, Chinese Diabetes Society, et al. Chinese guideline on healthy lifestyle to prevent cardiometabolic diseases[J]. *Chin J Diabetes Mellitus*, 2020, 12(3): 141-162. DOI: 10.3760/cma. j. cn115791-20200209-00056.
- [6] Mechanick JL, Farkouh ME, Newman JD, et al. Cardiometabolic-based chronic disease, adiposity and Dysglycemia drivers: JACC state-of-the-art review[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2020, 75(5): 525-538. DOI: 10.1016/j.jacc.2019.11.044.
- [7] Zhou MG, Wang HD, Zeng XY, et al. Mortality, morbidity, and risk factors in China and its provinces, 1990-2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017[J]. *Lancet*, 2019, 394(10204):1145-1158. DOI: 10.1016/S0140-6736(19)30427-1.
- [8] Beaudart C, Zaaria M, Pasleau F, et al. Health outcomes of sarcopenia: a systematic review and meta-analysis[J]. *PLoS One*, 2017, 12(1): e0169548. DOI: 10.1371/journal.pone.0169548.
- [9] Tack W, de Cock AM, Dirinck EL, et al. Pathophysiological interactions between sarcopenia and type 2 diabetes: a two-way street influencing diagnosis and therapeutic options[J]. *Diabetes Obes Metab*, 2024, 26(2): 407-416. DOI:10.1111/dom.15321.
- [10] Han K, Park YM, Kwon HS, et al. Sarcopenia as a determinant of blood pressure in older Koreans: findings from the Korea National Health and Nutrition Examination Surveys (KNHANES) 2008-2010[J]. *PLoS One*, 2014, 9(1): e86902. DOI: 10.1371/journal.pone.0086902.
- [11] Son JW, Lee SS, Kim SR, et al. Low muscle mass and risk of type 2 diabetes in middle-aged and older adults: findings from the KoGES[J]. *Diabetologia*, 2017, 60(5): 865-872. DOI:10.1007/s00125-016-4196-9.
- [12] 刘娟, 丁清清, 周白瑜, 等. 中国老年人肌少症诊疗专家共识(2021)[J]. *中华老年医学杂志*, 2021, 40(8):943-952. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-9026.2021.08.001.
- Liu J, Ding QQ, Zhou BY, et al. Chinese expert consensus on diagnosis and treatment for elderly with sarcopenia (2021) [J]. *Chin J Geriatr*, 2021, 40(8): 943-952. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-9026.2021.08.001.
- [13] Petermann-Rocha F, Balntzi V, Gray SR, et al. Global prevalence of sarcopenia and severe sarcopenia: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*, 2022, 13(1): 86-99. DOI: 10.1002/



- jcs.12783.
- [14] Wu X, Li X, Xu MH, et al. Sarcopenia prevalence and associated factors among older Chinese population: findings from the China Health and Retirement Longitudinal Study[J]. *PLoS One*, 2021, 16(3): e0247617. DOI:10.1371/journal.pone.0247617.
- [15] Liu XL, Hou LS, Xia X, et al. Prevalence of sarcopenia in multi ethnics adults and the association with cognitive impairment: findings from West-China health and aging trend study[J]. *BMC Geriatr*, 2020, 20(1):63. DOI:10.1186/s12877-020-1468-5.
- [16] Gao LL, Jiang JJ, Yang M, et al. Prevalence of sarcopenia and associated factors in Chinese community-dwelling elderly: comparison between rural and urban areas[J]. *J Am Med Dir Assoc*, 2015, 16(11): 1003.e1-1003.e6. DOI: 10.1016/j.jamda.2015.07.020.
- [17] Chan R, Leung J, Woo J. A prospective cohort study to examine the association between dietary patterns and sarcopenia in Chinese community-dwelling older people in Hong Kong[J]. *J Am Med Dir Assoc*, 2016, 17(4): 336-342. DOI:10.1016/j.jamda.2015.12.004.
- [18] 任晓宇, 贺强, 张宪亮. 我国社区老年人肌肉减少症患病率: 系统综述和荟萃分析[C]//中国体育科学学会. 第十二届全国体育科学大会论文摘要汇编——墙报交流(体质与健康分会). 日照: 中国体育科学学会, 2022: 36-37. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2022.011197.
- Ren XY, He Q, Zhang XL. Prevalence of sarcopenia in Chinese community elderly: a systematic review and meta-analysis[C]//China Sport Science Society. The 12<sup>th</sup> national sports science conference. Rizhao: China Sport Science Society, 2022: 36-37. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2022.011197.
- [19] Rosenberg IH. Summary comments[J]. *Am J Clin Nutr*, 1989, 50(5):1231-1233. DOI:10.1093/ajcn/50.5.1231.
- [20] Baumgartner RN, Koehler KM, Gallagher D, et al. Epidemiology of sarcopenia among the elderly in New Mexico[J]. *Am J Epidemiol*, 1998, 147(8): 755-763. DOI: 10.1093/oxfordjournals.aje.a009520.
- [21] Janssen I, Heymsfield SB, Ross R. Low relative skeletal muscle mass (sarcopenia) in older persons is associated with functional impairment and physical disability[J]. *J Am Geriatr Soc*, 2002, 50(5): 889-896. DOI: 10.1046/j.1532-5415.2002.50216.x.
- [22] Goodpaster BH, Park SW, Harris TB, et al. The loss of skeletal muscle strength, mass, and quality in older adults: the health, aging and body composition study[J]. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 2006, 61(10): 1059-1064. DOI:10.1093/gerona/61.10.1059.
- [23] Cruz-Jentoft 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[J]. *Age Ageing*, 2010, 39(4): 412-423. DOI: 10.1093/ageing/afq034.
- [24] Cruz-Jentoft AJ, Bahat G, Bauer J, et al. Sarcopenia: revised European consensus on definition and diagnosis[J]. *Age Ageing*, 2019, 48(1):16-31. DOI:10.1093/ageing/afy169.
- [25] Chen LK, Liu LK, Woo J, et al. Sarcopenia in Asia: consensus report of the Asian working group for sarcopenia[J]. *J Am Med Dir Assoc*, 2014, 15(2): 95-101. DOI:10.1016/j.jamda.2013.11.025.
- [26] Chen LK, Woo J, Assantachai P, et al. Asian working group for sarcopenia: 2019 consensus update on sarcopenia diagnosis and treatment[J]. *J Am Med Dir Assoc*, 2020, 21(3):300-307.e2. DOI:10.1016/j.jamda.2019.12.012.
- [27] Anker SD, Morley JE, von Haehling S. Welcome to the ICD-10 code for sarcopenia[J]. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*, 2016, 7(5):512-514. DOI:10.1002/jcs.12147.
- [28] Fielding RA, Vellas B, Evans WJ, et al. Sarcopenia: an undiagnosed condition in older adults. Current consensus definition: prevalence, etiology, and consequences. International working group on sarcopenia[J]. *J Am Med Dir Assoc*, 2011, 12(4): 249-256. DOI: 10.1016/j.jamda.2011.01.003.
- [29] Studenski SA, Peters KW, Alley DE, et al. The FNIH sarcopenia project: rationale, study description, conference recommendations, and final estimates[J]. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 2014, 69(5): 547-558. DOI: 10.1093/gerona/glu010.
- [30] Morley JE, Abbatecola AM, Argiles JM, et al. Sarcopenia with limited mobility: an international consensus[J]. *J Am Med Dir Assoc*, 2011, 12(6): 403-409. DOI: 10.1016/j.jamda.2011.04.014.
- [31] 中华医学会骨质疏松和骨矿盐疾病分会. 肌少症共识[J]. 中华骨质疏松和骨矿盐疾病杂志, 2016, 9(3):215-227. DOI:10.3969/j.issn.1674-2591.2016.03.001.
- Chinese Society of Osteoporosis and Bone Mineral Research. Consensus of sarcopenia[J]. *Chin J Osteoporosis Bone Miner Res*, 2016, 9(3): 215-227. DOI: 10.3969/j.issn.1674-2591.2016.03.001.
- [32] 何清华, 郭立新. 重视老年糖尿病合并肌少症的防治与研究[J]. 中华糖尿病杂志, 2023, 15(1): 1-5. DOI: 10.3760/cma.j.cn115791-20220530-00245.
- He QH, Guo LX. Much concerns on elderly diabetes mellitus combined with sarcopenia patients[J]. *Chin J Diabetes Mellitus*, 2023, 15(1): 1-5. DOI: 10.3760/cma.j.cn115791-20220530-00245.
- [33] Akazawa N, Kishi M, Hino T, et al. Relationship between muscle mass and fraction of intramuscular adipose tissue of the quadriceps in older inpatients[J]. *PLoS One*, 2022, 17(2):e0263973. DOI:10.1371/journal.pone.0263973.
- [34] Perkasas S, Vandewoude M. Where frailty meets diabetes [J]. *Diabetes Metab Res Rev*, 2016, 32 Suppl 1: 261-267. DOI:10.1002/dmrr.2743.
- [35] Buscemi C, Ferro Y, Pujia R, et al. Sarcopenia and appendicular muscle mass as predictors of impaired fasting glucose/type 2 diabetes in elderly women[J]. *Nutrients*, 2021, 13(6):1909. DOI:10.3390/nu13061909.
- [36] Larsen BA, Wassel CL, Kritchevsky SB, et al. Association of muscle mass, area, and strength with incident diabetes in older adults: the health ABC study[J]. *J Clin Endocrinol Metab*, 2016, 101(4): 1847-1855. DOI: 10.1210/jc.2015-3643.
- [37] Mori H, Kuroda A, Ishizu M, et al. Association of accumulated advanced glycation end-products with a high prevalence of sarcopenia and dynapenia in patients with type 2 diabetes[J]. *J Diabetes Investig*, 2019, 10(5): 1332-1340. DOI:10.1111/di.13014.
- [38] Wannarong T, Sukpornchairak P, Naweera W, et al. Association between diabetic peripheral neuropathy and sarcopenia: a systematic review and meta-analysis[J]. *Geriatr Gerontol Int*, 2022, 22(9): 785-789. DOI:10.1111/ggi.14462.
- [39] Toosizadeh N, Mohler J, Armstrong DG, et al. The influence of diabetic peripheral neuropathy on local postural muscle and central sensory feedback balance control[J]. *PLoS One*, 2015, 10(8): e0135255. DOI: 10.1371/journal.pone.0135255.
- [40] Liccini AP, Malmstrom TK. Frailty and sarcopenia as predictors of adverse health outcomes in persons with diabetes mellitus[J]. *J Am Med Dir Assoc*, 2016, 17(9): 846-851. DOI:10.1016/j.jamda.2016.07.007.
- [41] Nishimoto K, Doi T, Tsutsumimoto K, et al. Relationship between diabetes status and sarcopenia in community-dwelling older adults[J]. *J Am Med Dir Assoc*, 2022, 23(10): 1718.e7-1718.e12. DOI: 10.1016/j.jamda.2022.07.020.
- [42] Yang L, Smith L, Hamer M. Gender-specific risk factors for incident sarcopenia: 8-year follow-up of the English longitudinal study of ageing[J]. *J Epidemiol Community Health*, 2019, 73(1): 86-88. DOI: 10.1136/jech-2018-

- 211258.
- [43] Wolfe RR. The underappreciated role of muscle in health and disease[J]. *Am J Clin Nutr*, 2006, 84(3):475-482. DOI: 10.1093/ajcn/84.3.475.
- [44] Butcher JT, Mintz JD, Larion S, et al. Increased muscle mass protects against hypertension and renal injury in obesity[J]. *J Am Heart Assoc*, 2018, 7(16):e009358. DOI: 10.1161/JAHA.118.009358.
- [45] Quan YW, Wang C, Wang LF, et al. Geriatric sarcopenia is associated with hypertension: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Clin Hypertens (Greenwich)*, 2023, 25(9):808-816. DOI:10.1111/jch.14714.
- [46] 陈海燕, 张蒙, 徐建敏, 等. 中国 45 岁及以上中老年人握力与高血压的关联研究[J]. *中国动脉硬化杂志*, 2021, 29(9): 782-787. DOI: 10.3969/j. issn. 1007-3949.2021.09.008.
- Chen HY, Zhang H, Xu JM, et al. Association of handgrip strength with risk of hypertension in the middle-aged and elderly population in China[J]. *Chin J Arterioscler*, 2021, 29(9): 782-787. DOI: 10.3969/j. issn. 1007-3949.2021.09.008.
- [47] Pasdar Y, Darbandi M, Rezaeian S, et al. Association of obesity, sarcopenia, and sarcopenic obesity with hypertension in adults: a cross-sectional study from Ravansar, Iran during 2014-2017[J]. *Front Public Health*, 2022, 9:705055. DOI:10.3389/fpubh.2021.705055.
- [48] Åberg F, Byrne CD, Pirola CJ, et al. Alcohol consumption and metabolic syndrome: clinical and epidemiological impact on liver disease[J]. *J Hepatol*, 2023, 78(1): 191-206. DOI:10.1016/j.jhep.2022.08.030.
- [49] Zhang HQ, Lin S, Gao TL, et al. Association between sarcopenia and metabolic syndrome in middle-aged and older non-obese adults: a systematic review and meta-analysis[J]. *Nutrients*, 2018, 10(3): 364. DOI: 10.3390/nu10030364.
- [50] Wu HM, Liu MY, Chi VTQ, et al. Handgrip strength is inversely associated with metabolic syndrome and its separate components in middle aged and older adults: a large-scale population-based study[J]. *Metabolism*, 2019, 93:61-67. DOI:10.1016/j.metabol.2019.01.011.
- [51] 杨蕾. 中老年人肌肉减少症与代谢综合征的相关性及代谢组学研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆医科大学, 2020. DOI: 10.27433/d.cnki.gxyku.2020.001020.
- Yang L. Correlation between sarcopenia and metabolic syndrome in middle-aged and elderly people and metabonomics research[D]. Urumqi: Xinjiang Medical University, 2020. DOI: 10.27433/d. cnki. gxyku. 2020.001020.
- [52] Koo HS, Kim MJ, Kim KM, et al. Decreased muscle mass is not an independent risk factor for metabolic syndrome in Korean population aged 70 or older[J]. *Clin Endocrinol (Oxf)*, 2015, 82(4):509-516. DOI:10.1111/cen.12509.
- [53] Damluji AA, Alfaraidhy M, AlHajri N, et al. Sarcopenia and cardiovascular diseases[J]. *Circulation*, 2023, 147(20): 1534-1553. DOI:10.1161/CIRCULATIONAHA.123.064071.
- [54] Wang J, Hang T, Cheng XM, et al. Associations of C1q/TNF-related protein-9 levels in serum and epicardial adipose tissue with coronary atherosclerosis in humans [J]. *Biomed Res Int*, 2015, 2015: 971683. DOI: 10.1155/2015/971683.
- [55] Campos AM, Moura FA, Santos SN, et al. Sarcopenia, but not excess weight or increased caloric intake, is associated with coronary subclinical atherosclerosis in the very elderly[J]. *Atherosclerosis*, 2017, 258: 138-144. DOI:10.1016/j.atherosclerosis.2017.01.005.
- [56] 唐月颖, 王静, 赵娜, 等. 肌少症与蒙古族、汉族老年冠心病的相关性研究[J]. *内蒙古医科大学学报*, 2021, 43(3): 230-234, 239. DOI:10.16343/j.cnki.issn.2095-512x.2021.03.010.
- Tang YY, Wang J, Zhao N, et al. Study on the correlation between sarcopenia and coronary heart disease in Mongolian and Han nationality[J]. *J Inner Mongolia Med Univ*, 2021, 43(3): 230-234, 239. DOI: 10.16343/j. cnki. issn.2095-512x.2021.03.010.
- [57] He JY, Huang MK, Li NN, et al. Genetic Association and Potential Mediators between Sarcopenia and Coronary Heart Disease: A Bidirectional Two-Sample, Two-Step Mendelian Randomization Study[J]. *Nutrients*, 2023, 15(13):3013. DOI:10.3390/nu15133013.
- [58] Nichols S, O'Doherty AF, Taylor C, et al. Low skeletal muscle mass is associated with low aerobic capacity and increased mortality risk in patients with coronary heart disease - a CARE CR study[J]. *Clin Physiol Funct Imaging*, 2019, 39(1):93-102. DOI:10.1111/cpf.12539.
- [59] de Moraes Santana N, Mendes RML, da Silva NF, et al. Sarcopenia and sarcopenic obesity as prognostic predictors in hospitalized elderly patients with acute myocardial infarction[J]. *Einstein (Sao Paulo)*, 2019, 17(4): eAO4632. DOI:10.31744/einstein\_journal/2019AO4632.
- [60] Zhang N, Zhu WL, Liu XH, et al. Prevalence and prognostic implications of sarcopenia in older patients with coronary heart disease[J]. *J Geriatr Cardiol*, 2019, 16(10): 756-763. DOI:10.11909/j.issn.1671-5411.2019.10.002.
- [61] Hassan BH, Hewitt J, Keogh JWL, et al. Impact of resistance training on sarcopenia in nursing care facilities: a pilot study[J]. *Geriatr Nurs*, 2016, 37(2):116-121. DOI: 10.1016/j.gerinurse.2015.11.001.
- [62] 崔华, 王朝晖, 吴剑卿, 等. 老年人肌少症防控干预中国专家共识(2023)[J]. *中华老年医学杂志*, 2023, 42(2): 144-153. DOI: 10.3760/cma. j. issn. 0254-9026.2023.02.002.
- Cui H, Wang ZH, Wu JQ, et al. Chinese expert consensus on prevention and intervention for elderly with sarcopenia (2023)[J]. *Chin J Geriatr*, 2023, 42(2): 144-153. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-9026.2023.02.002.
- [63] 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]. *J Am Med Dir Assoc*, 2019, 20(1):28-34. DOI:10.1016/j.jamda.2018.09.011.
- [64] 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[J]. *Age Ageing*, 2019, 48(2):220-228. DOI: 10.1093/ageing/afy179.
- [65] Delmonico MJ, Beck DT. The current understanding of sarcopenia: emerging tools and interventional possibilities [J]. *Am J Lifestyle Med*, 2017, 11(2): 167-181. DOI: 10.1177/1559827615594343.
- [66] Deutz NEP, Bauer JM, Barazzoni R, et al. Protein intake and exercise for optimal muscle function with aging: recommendations from the ESPEN Expert Group[J]. *Clin Nutr*, 2014, 33(6): 929-936. DOI: 10.1016/j. clnu. 2014.04.007.
- [67] Bauer JM, Verlaan S, Bautmans I, et al. Effects of a vitamin D and leucine-enriched whey protein nutritional supplement on measures of sarcopenia in older adults, the PROVIDE study: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial[J]. *J Am Med Dir Assoc*, 2015, 16(9):740-747. DOI:10.1016/j.jamda.2015.05.021.
- [68] Lin CC, Shih MH, Chen CD, et al. Effects of adequate dietary protein with whey protein, leucine, and vitamin D supplementation on sarcopenia in older adults: an open-label, parallel-group study[J]. *Clin Nutr*, 2021, 40(3): 1323-1329. DOI:10.1016/j.clnu.2020.08.017.
- [69] Li CW, Yu K, Shyh-Chang N, et al. Circulating factors associated with sarcopenia during ageing and after intensive lifestyle intervention[J]. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*, 2019, 10(3):586-600. DOI:10.1002/jcsm.12417.