

# 运动和营养干预在老年人肌肉衰减性肥胖中的应用

张媛媛<sup>1</sup> 郭琪<sup>2</sup>

<sup>1</sup>天津医科大学康复医学系,天津 300070; <sup>2</sup>上海健康医学院康复学院,上海 201318

通信作者:郭琪,Email:1981460083@qq.com

**【摘要】** 随着人口老龄化的加剧,肌肉衰减综合征和肥胖备受关注,严重影响老年人的日常生活。患有肌肉衰减性肥胖的老年人的生活质量降低,跌倒风险增高,甚至造成死亡。本文就运动和营养干预在老年人肌肉衰减性肥胖中的应用进行综述,旨在为老年人肌肉衰减性肥胖的研究和临床治疗提供新思路。

**【关键词】** 肌肉衰减性肥胖; 老年人; 运动干预; 营养干预

**基金项目:** 教育部人文社会科学研究青年基金(20YJZJH001);上海市青年科技英才扬帆计划(20YF1418200)

**Funding:** The funding of Youth Fund Project of Research Planning Foundation on Humanities and Social Sciences of the Ministry of Education(20YJZJH001);Shanghai Sailing Program(20YF1418200)

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2020.12.019

近年来,老年人肌肉衰减综合征和肥胖发病率逐年升高<sup>[1]</sup>。临床上,常将肌肉衰减综合征伴随肥胖的症状称为肌肉衰减性肥胖。研究人员从不同角度探索老年人肌肉衰减性肥胖的干预策略,包括药物治疗、运动疗法、营养干预和手术等。目前,肌肉衰减性肥胖的研究方向多集中在运动和营养两个方面。研究表明,运动和营养干预能够有效改善老年患者的肌肉功能,减轻肥胖症状<sup>[2]</sup>。为了寻找更合理的防治手段,本文就运动和营养干预在老年人肌肉衰减性肥胖中的应用现状综述如下。

## 肌肉衰减性肥胖的诊断标准

研究发现,60~69岁老年人的肌肉衰减性肥胖患病率为2%,80岁以上的患病率高达10%,严重影响了老年人的身心健康<sup>[3]</sup>。目前,尚未确定统一的肌肉衰减性肥胖诊断标准。由于欧洲肌肉衰减综合征工作组、亚洲肌肉衰减综合征工作组、国际肌肉衰减综合征工作组和美国国立卫生研究院肌肉衰减综合征基金会肌肉衰减综合征的定义不同,导致相关研究缺乏可比性。多数研究以低肌肉质量和高体脂含量来定义肌肉衰减性肥胖,即相对骨骼肌质量指数(四肢骨骼肌质量除以身高的平方)低于该种族同性别健康青壮年均值两个标准差,且体脂百分比超过同龄同性别健康人群60%<sup>[4]</sup>。随着年龄的增长,老年人的体重和身体质量指数可能并未改变,但骨骼肌质量和体脂含量必然会改变。不建议单独使用身体质量指数、体重或腰围来诊断肌肉衰减性肥胖。此外,对于肥胖老年人而言,即使骨骼肌质量较高,其肌肉力量和日常活动能力也会受到影响。因此,部分学者建议使用肌肉力量或骨骼肌内脂肪含量联合上述指标共同诊断肌肉衰减性肥胖<sup>[5-7]</sup>。

## 肌肉衰减性肥胖的发病机制

研究发现,从中年到老年,体脂含量逐渐增长并趋于平稳,而肌肉质量从30岁逐渐减少,60岁以后下降速率更快,并且低骨骼肌质量老年人的肥胖风险是健康老年人的1.95~2.62倍,

解释了肌肉衰减性肥胖的发生原因。目前,公认的老年人肌肉衰减性肥胖相关机制大致包括代谢、细胞、组织和炎症4个方面:①从代谢水平考虑,骨骼肌蛋白质合成抵抗与磷脂酰肌醇3激酶(phosphatidylinositol 3 kinase,PI3-K)/蛋白激酶B((protein kinase B,Akt)/哺乳动物雷帕霉素靶蛋白(mammalian target of rapamycin,mTOR)信号传导通路受阻有关,且衰老可能会激活细胞自噬,引发肌肉蛋白质过度降解,致使肌肉衰减综合征的风险增加。研究发现,运动能够激活mTOR信号传导通路从而诱导肌肉蛋白质合成,而营养摄入能够通过氨基酸促进骨骼肌合成反应<sup>[8]</sup>;②从细胞方面考虑,骨骼肌内线粒体功能的增龄性下降导致骨骼肌内脂肪含量增高,这与老年人缺乏运动有关。研究表明,运动能够增加骨骼肌内线粒体的数量和密度,强化骨骼肌内线粒体呼吸功能<sup>[9]</sup>;③从组织层面考虑,随着年龄增长,运动单位募集逐渐减少,肌纤维(特别是II型肌纤维)出现萎缩,这是肌肉衰减性肥胖患者肌肉功能衰退的主要原因。此外,脂肪组织的二次浸润也与肌肉衰减性肥胖的发生有关;④从炎症机制考虑,肌肉衰减性肥胖患者体内的C反应蛋白、白介素6和肿瘤坏死因子 $\alpha$ 水平较高,这种炎症状态导致患者免疫功能降低,胰岛素抵抗增强。临床研究表示,适当的运动联合营养摄入能够有效降低老年患者体内的C反应蛋白水平,改善肌肉功能和脂肪异常分布<sup>[10]</sup>。虽然肌肉衰减性肥胖的潜在机制尚未完全阐明,但适当的运动和营养干预至关重要。

## 运动干预对肌肉衰减性肥胖的影响

### 一、抗阻运动干预

研究表明,抗阻运动能够改善肌肉衰减综合征患者的肌肉功能,但对老年肌肉衰减性肥胖患者骨骼肌和体脂成分的影响尚不确定。Gadella等<sup>[11]</sup>发现为期8周的抗阻运动(每周2次,每次60min)使老年肌肉衰减性肥胖患者的骨骼肌质量损失减少,握力和伸膝肌力增加,体脂含量降低,这可能是由于抗阻运动激活了肌卫星细胞,调动了II型肌纤维运动单位,增加了合

成代谢激素分泌,从而有效改善老年人的肌肉衰减性肥胖。同时,Liao 等<sup>[12]</sup>和 Huang 等<sup>[13]</sup>调查了为期 12 周的渐进性抗阻运动(每周 3 次,每次约 55 min,不同强度弹力带)对老年肌肉衰减性肥胖女性的影响,发现患者的脂肪含量降低,骨密度增加,肌肉功能和身体活动能力提高,但研究缺少对参与者日常活动强度和频率的调查,应详细记录不同日常活动习惯、以降低混杂因素影响。另外,一项为期 15 周的随机对照试验比较了慢节奏抗阻运动(向心运动+离心运动用时 2 s,组间休息 1~2 min)与快节奏抗阻运动(2 s 内尽可能快速运动,组间无休息)对老年肌肉衰减性肥胖的影响,结果显示快节奏抗阻运动更有助于患者平衡能力的提升,但在肌肉功能和脂肪含量方面没有显著差异<sup>[14]</sup>,与 Vasconcelos 等<sup>[15]</sup>的结论一致。研究表明,与常规抗阻运动相比,离心运动能量消耗更少,肌肉力量增长更多,体脂含量减少更明显<sup>[16]</sup>。由此可知,虽然老年患者允许进行快节奏抗阻运动,但效果并不理想。因此,我们建议肌肉衰减性肥胖患者在身体条件允许的情况下,进行以离心运动为主的慢节奏抗阻运动,推荐可调节运动强度的弹力带抗阻运动,干预周期为 8~24 周,每周 2~5 次,一般以低、中强度为主,但需注意运动过程中严格监控患者身体状况,避免出现低血糖、心率过快、Valsalva 效应等危险情况。

## 二、有氧运动干预

大量研究表明,有氧运动能够提高肌肉衰减综合征患者的氧合能力,改善肥胖患者的体脂含量。目前,有氧运动治疗老年肌肉衰减性肥胖的大规模临床试验尚少。一项为期 8 周的随机对照试验显示有氧运动(每周 2 次,每次 60 min,50%~60%最大心率)能够明显改善老年肌肉衰减性肥胖患者的体脂和内脏脂肪含量,维持骨骼肌质量,提高心肺适能,且效果可持续至 12 周<sup>[17]</sup>,这可能是通过激活线粒体生物合成、增加心脏每搏输出量和肌肉组织毛细血管密度,进而提高老年患者的有氧运动能力。

## 三、联合运动干预

联合运动干预主要以抗阻运动联合有氧运动为主,或辅以其他类型运动。研究发现,联合运动干预(有氧、抗阻、平衡与伸展性运动)和健康教育显著提高了老年患者的身体表现<sup>[18]</sup>。近期,一项为期 6 个月、共 160 人的研究显示,联合运动干预(每周 3 次,每次 75~90 min)比单纯抗阻运动(每周 3 次,每次 60 min)或单纯有氧运动(每周 3 次,每次 60 min,65%~85%最大心率)的减脂和维持瘦体重效果好<sup>[19]</sup>,但其样本量偏小且女性偏多,普适性偏低。另一项为期 3 个月、共 60 人的研究显示,3 组患者的骨骼肌质量和体脂含量均有所改善,其中联合运动干预(8 周,每周 1 次,抗阻运动 48 h 后进行有氧运动)对于血清胰岛素样生长因子-1 的改善优于单纯抗阻运动或单纯有氧运动,但对于肌肉力量的改善较单纯抗阻运动差<sup>[11]</sup>,这可能是由于研究样本量较小,干预时间较短,且总运动量较少导致。近期,模拟骨骼肌肉收缩的电刺激技术备受关注,由于其对腰围和血压具有积极作用,故可用于改善代谢综合征和肌肉衰减性肥胖<sup>[20]</sup>。此外,瑜伽、太极和普拉提等运动也对肌肉衰减性肥胖患者具有潜在益处,值得进一步研究。

总而言之,需要根据人群特征制订个性化的运动方案。对于健康人群,较高的有氧运动强度和运动频率,较长的运动时间能够产生较好的运动效果。对于伴有某些疾病的患者,

若不能完成每周 150 min 的运动训练,需在保证安全的前提下尽可能的多做运动。而对于低体重和较肥胖人群,每周至少需要做 300 min 的有氧运动。体力较好的老年肌肉衰减性肥胖患者可选择步行、游泳、骑自行车等有氧运动,体力有限的患者推荐选择水上运动或原地踏车运动,由低强度(40%最大心率),渐进至中、高强度( $\geq 50\%$ ~60%最大心率),每周至少 3~5 d,每日至少 20~60 min<sup>[21]</sup>。与有氧运动不同,抗阻运动不宜过度增加运动频率和时间,可根据自身状况通过哑铃、弹力带等器械增加运动强度,以达到增加肌肉力量的效果。对于易跌倒和骨折的老年人群,最好先进行有氧训练,养成规律的运动习惯,否则抗阻运动停止后,所获得的肌肉力量平均每周会下降 25%<sup>[22]</sup>。

根据运动干预的研究现状,我们推荐肌肉衰减性肥胖患者采用抗阻运动或联合运动。治疗师可依据美国运动医学和美国心脏学联合会所提出的老年人运动与体力活动推荐标准,为老年肌肉衰减性肥胖患者制订运动处方<sup>[23]</sup>,初期以上述有氧运动方案为主,机体适应后,可联合抗阻运动,建议针对不同肌群进行 8~10 组训练,每组重复 8~12 次,每周至少 2 次(最好不连续),每次至少 30 min。在此基础上,若能联合平衡和伸展性活动(每周至少 3 次)效果更佳。

## 营养干预对肌肉衰减性肥胖的影响

### 一、热量限制和蛋白质摄入

对于老年人而言,热量限制虽然能够抗炎抗衰老且有效减重,但常伴随骨骼肌质量损失。因此,我们不推荐肌肉衰减性肥胖老年人单纯采用热量限制饮食( $< 1000$  kcal/d),应同时配合蛋白质以及微量营养素摄入。一项为期 3 个月,纳入 104 名老年肌肉衰减性肥胖患者的研究显示,高蛋白质、低热量饮食使肌肉质量指数小幅度增加,而正常蛋白质低热量饮食使肌肉质量指数显著降低<sup>[24]</sup>,建议将干预时长增加至 6~12 个月。由此可知,充足的蛋白质摄入量对老年肌肉衰减性肥胖患者十分重要。不同蛋白质来源可能会对老年人身体状况产生不同影响。研究表明动物源蛋白质比植物源蛋白质更利于肌肉蛋白质合成<sup>[25]</sup>。其中,富含丰富氨基酸的乳清蛋白已被证明能够有效促进老年人的肌肉蛋白质合成,可作为人体的优质蛋白质来源。另外,我们也应关注蛋白质的摄入时间。约有 80% 的膳食蛋白质来自日常三餐,尤以晚餐为主,我们可以通过增加每日用餐次数,合理摄入膳食蛋白质,降低肥胖发生风险,提高老年肌肉衰减性肥胖患者的肌肉力量、肌肉质量和身体活动能力。因此,我们推荐从多角度(蛋白质摄入类型、含量、时间等)设计个体化的膳食蛋白质摄入方案。

### 二、维生素 D 和矿物质摄入

维生素 D(vitamin D,VD)是重要的微量元素,其与受体结合所形成的复合体能够调控血钙浓度,影响胰岛素合成分泌,抑制促炎症细胞因子生成。作为人体的内源性 VD,25 羟基 VD(光照转化为 VD)的正常值为 75 nmol/L。然而,在美国,约有 30% 的 70 岁以上老年人体内 25 羟基 VD 含量低于 50 nmol/L。研究发现,25 羟基 VD 含量与体脂含量呈负相关,与骨骼肌质量呈正相关<sup>[26-27]</sup>。为了维持老年人的肌肉功能和身体活动能力,推荐每日摄入 800~1000 IU 的 VD。另外,矿物质可能是防治肌肉衰减性肥胖的重要营养素,特别是镁、硒

和钙,但大多数研究为观察性研究,需要更多随机对照试验来证明其潜在益处<sup>[28]</sup>。

### 三、β-羟基-β-甲基丁酸

β-羟基-β-甲基丁酸(β-hydroxy-β-methyl-butyrate, HMB)是亮氨酸代谢过程中产生的天然化合物,能够促进骨骼肌蛋白质合成,减轻疲劳症状,受到运动爱好者的广泛关注。Stout 等<sup>[29]</sup>评估了 24 周的 CaHMB(3 g/d)联合抗阻运动对老年人的影响,发现单纯补充 CaHMB 能够增强肌肉功能,联合抗阻运动能够在增加瘦体重和肌肉功能的同时,减少总体脂含量,这可能是由于 CaHMB 能够提高脂肪细胞和肌细胞的脂肪酸氧化和 AMP 依赖的蛋白激酶(AMP-activated protein kinase, AMPK)信号通路活性。

### 四、肌酸

肌酸是一种由甘氨酸、精氨酸及甲硫氨酸合成的含氮有机酸,适当补充能够维持老年人的肌肉功能和身体活动能力。一项为期 7 d 的随机对照试验表示,肌酸(0.3 g/kg/d)能够显著增加老年人的肌肉力量和肌肉质量,缩短老年人的串联步态和站立完成时间<sup>[30]</sup>,这可能是由于肌酸通过激活 PI3-K/Akt/mTOR 通路,使 4EBP1 和 p70S6K 磷酸化水平以及 GLUT4 蛋白水平上调,提高蛋白质合成能力,增强葡萄糖转运效率,从而维持骨骼肌质量和力量。另一项为期 12 周的干预试验表示,将肌酸与抗阻运动相结合更有助于改善肌肉质量、肌肉力量和运动表现<sup>[31]</sup>。

### 五、联合营养干预

研究发现,多种营养素联合干预(乳清蛋白、亮氨酸和 VD 等)能够增加健康老年人的蛋白质合成和肌肉质量,即使是在减重期间,也能起到保护肌肉的作用<sup>[32]</sup>。根据目前的研究现状,我们推荐老年肌肉衰减性肥胖患者补充多种营养物质,在保证 200~750 kcal/d 热量摄入的基础上,配合适当的蛋白质摄入以及微量营养素摄入。需要强调的是,处于减重期间的老年肌肉衰减性肥胖患者应控制减重速度,每周体质量降低 0.5~1.0 kg 或 6 个月减轻原体质量的 8%~10% 即可<sup>[4]</sup>。

### 运动联合营养干预对肌肉衰减性肥胖的影响

无论是运动还是营养干预,单一的干预策略均不是防治肌肉衰减性肥胖的最佳方法。因此,我们应更加关注运动联合营养的干预效果。一项为期 6 个月的随机对照试验发现,低热量饮食(750 kcal/d 热量摄入)联合运动干预(每周 3 次,每次 90 min 有氧、抗阻、灵活性及平衡性运动)和单纯低热量饮食干预均能降低老年人体脂含量,但相较而言,联合干预在减少骨骼肌质量损失方面表现优异,且可使肌肉力量增加 17%~43%<sup>[33]</sup>,这可能由于联合干预提高了肌卫星细胞功能,改善了脂肪异常分布。在此基础上,足够的蛋白质摄入也是非常重要的。研究发现,在热量限制饮食联合运动干预减重期间,高乳清蛋白饮食(1.2 g/kg/d)能够抵抗减重对肌肉质量的不良影响。Villareal 等<sup>[34]</sup>发现,运动结合营养干预比单纯营养干预或运动干预更有助于改善患者的身体机能和虚弱状态。因此,我们认为长期控制饮食并进行适当运动是防治老年肌肉衰减性肥胖的最佳选择,特别是低热量高蛋白饮食联合运动干预,若辅以肌酸、HMB 和 VD 等营养素补充效果更加明显。

## 总结

由于人口老龄化的逐年发展,肌肉衰减性肥胖成为当前疾病诊断和治疗的新挑战。若要肌肉衰减性肥胖进行深入研究,首要任务是需要在诊断标准方面达成共识。其次,需要进一步研究阐明肌肉衰减性肥胖的发病机理,并且探寻是否存在更为简单的相关指标来筛查风险人群。最后,根据上述总结,运动和营养干预可明显改善肌肉衰减性肥胖的症状,建议医务人员将二者合理结合,为患者制订个性化的运动处方和饮食计划。虽然现已发现多种治疗肌肉衰减综合征和肥胖的方案,但肌肉衰减性肥胖干预策略的相关证据仍然不足,未来的研究需要进一步明确防治老年肌肉衰减性肥胖的运动和营养处方。

## 参考文献

- [1] Hirani V, Naganathan V, Blyth F, et al. Longitudinal associations between body composition, sarcopenic obesity and outcomes of frailty, disability, institutionalisation and mortality in community-dwelling older men: the concord health and ageing in men project[J]. Age Ageing, 2017, 46(3):413-420. DOI: 10.1093/ageing/afw214.
- [2] Oh C, Jeon BH, Reid SN, et al. The most effective factors to offset sarcopenia and obesity in the older Korean: physical activity, vitamin D, and protein intake[J]. Nutrition, 2017, 33(1):169-173. DOI: 10.1016/j.nut.2016.06.004.
- [3] Trouwborst I, Verreijen A, Memelink R, et al. Exercise and nutrition strategies to counteract sarcopenic obesity[J]. Nutrients, 2018, 10(5):605. DOI: 10.3390/nu10050605.
- [4] 徐磊,李春艳,陈宁,等.老年人肌少性肥胖的机制与运动营养调控研究进展[J].食品科学,2017,38(21):279-286. DOI: 10.7506/spkx1002-6630-201721044.
- [5] Schragr MA, Metter EJ, Simonsick E, et al. Sarcopenic obesity and inflammation in the InCHIANTI study[J]. J Appl Physiol, 2007, 102(3):919-925. DOI: 10.1152/jappphysiol.00627.2006.
- [6] Marcus RL, Addison O, Dibble LE, et al. Intramuscular adipose tissue, sarcopenia, and mobility function in older individuals[J]. J Aging Res, 2012, 2012(1):629637. DOI: 10.1155/2012/629637.
- [7] Polyzos SA, Margioris AN. Sarcopenic obesity[J]. Hormones, 2018, 17(3):321-331. DOI: 10.1007/s42000-018-0049-x.
- [8] Makanae Y, Fujita S. Role of exercise and nutrition in the prevention of sarcopenia[J]. J Nutr Sci Vitaminol, 2015, 61(1):125-127. DOI: 10.3177/jnsv.61.S125.
- [9] Porter C, Reidy PT, Bhattarai N, et al. Resistance exercise training alters mitochondrial function in human skeletal muscle[J]. Med Sci Sports Exerc, 2015, 47(9):1922-1931. DOI: 10.1249/MSS.0000000000000605.
- [10] Rondanelli M, Klersy C, Terracol G, et al. Whey protein, amino acids, and vitamin D supplementation with physical activity increases fat-free mass and strength, functionality, and quality of life and decreases inflammation in sarcopenic elderly[J]. Am J Clin Nutr, 2016, 103(3):830-840. DOI: 10.3945/ajcn.115.113357.
- [11] Chen HT, Chung YC, Chen YJ, et al. Effects of different types of exercise on body composition, muscle strength, and IGF-I in the elderly with sarcopenic obesity[J]. J Am Geriatr Soc, 2017, 65(4):827-832. DOI: 10.1111/jgs.14722.

- [12] Liao CD, Tsao 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[J]. *Medicine*, 2017, 96(23):7115. DOI: 10.1097/MD.00000000000007115.
- [13] Huang SW, Ku JW, Lin LF, et al. Body composition influenced by progressive elastic band resistance exercise of sarcopenic obesity elderly women: a pilot randomized controlled trial[J]. *Eur J Phys Rehabil Med*, 2017, 53(4):556-563. DOI: 10.23736/S1973-9087.17.04443-4.
- [14] Balachandran A, Krawczyk SN, Potiaumpai M, et al. High-speed circuit training vs hypertrophy training to improve physical function in sarcopenic obese adults: a randomized controlled trial[J]. *Exp Gerontol*, 2014, 60(1):64-71. DOI: 10.1016/j.exger.2014.09.016.
- [15] Vasconcelos KS, Dias JM, Araujo MC, et al. Effects of a progressive resistance exercise program with high-speed component on the physical function of older women with sarcopenic obesity: a randomized controlled trial[J]. *Braz J Phys Ther*, 2016, 20(5):432-440. DOI: 10.1590/hjpt-rbf.2014.0174.
- [16] Mueller M, Breil FA, Lurman G, et al. Different molecular and structural adaptations with eccentric and conventional strength training in elderly men and women[J]. *Gerontology*, 2011, 57(6):528-538. DOI: 10.1159/000323267.
- [17] Gadelha AB, Paiva FM, Gauche R, et al. Effects of resistance training on sarcopenic obesity index in older women: a randomized controlled trial[J]. *Arch Gerontol Geriatr*, 2016, 65(1):168-173. DOI: 10.1016/j.archger.2016.03.017.
- [18] Investigators LS, Pahor M, Blair SN, et al. Effects of a physical activity intervention on measures of physical performance: Results of the lifestyle interventions and independence for elders pilot (LIFE-P) study [J]. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 2006, 61(11):1157-1165. DOI: 10.1093/gerona/61.11.1157.
- [19] Villareal DT, Aguirre L, Gurney AB, et al. Aerobic or resistance exercise, or both, in dieting obese older adults[J]. *N Engl J Med*, 2017, 376(20):1943-1955. DOI: 10.1056/NEJMoa1616338.
- [20] Kemmler W, Weissenfels A, Teschler M, et al. Whole-body electromyostimulation and protein supplementation favorably affect sarcopenic obesity in community-dwelling older men at risk: the randomized controlled FranSO study[J]. *Clin Interv Aging*, 2017, 12(1):1503-1513. DOI: 10.2147/CIA.S137987.
- [21] 陈小雨, 郭琪, 张译丹, 等. 运动疗法在肌肉衰减综合征中的应用进展[J]. *中国康复医学杂志*, 2018, 33(8):981-984. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1242.2018.08.021.
- [22] 韩佩佩, 郭琪, 潘翔, 等. 老年人肌肉衰减综合征的诊断标准与运动疗法[J]. *中国康复医学杂志*, 2015, 30(3):290-294. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1242.2015.03.020.
- [23] Weinheimer EM, Sands LP, Campbell WW. A systematic review of the separate and combined effects of energy restriction and exercise on fat-free mass in middle-aged and older adults: implications for sarcopenic obesity[J]. *Nutr Rev*, 2010, 68(7):375-388. DOI: 10.1111/j.1753-4887.2010.00298.x.
- [24] Muscariello E, Nasti G, Siervo M, et al. Dietary protein intake in sarcopenic obese older women[J]. *Clin Interv Aging*, 2016, 11(1):133-140. DOI: 10.2147/CIA.S96017.
- [25] van Vliet S, Burd NA, van Loon LJ. The skeletal muscle anabolic response to plant- versus animal-based protein consumption[J]. *J Nutr*, 2015, 145(9):1981-1991. DOI: 10.3945/jn.114.204305.
- [26] Kim TN, Park MS, Lim KI, et al. Relationships between sarcopenic obesity and insulin resistance, inflammation, and vitamin D status: the Korean sarcopenic obesity study [J]. *Clin Endocrinol*, 2013, 78(4):525-532. DOI: 10.1111/j.1365-2265.2012.04433.x.
- [27] Koeckhoven E, van der Leeden M, Roorda LD, et al. The association between serum 25-hydroxy vitamin D level and upper leg strength in patients with knee osteoarthritis: results of the amsterdam osteoarthritis cohort [J]. *J Rheumatol*, 2016, 43(7):1400-1405. DOI: 10.3899/jrheum.150751.
- [28] van Dronkelaar C, van Velzen A, Abdelrazek M, et al. Minerals and sarcopenia; the role of calcium, iron, magnesium, phosphorus, potassium, selenium, sodium, and zinc on muscle mass, muscle strength, and physical performance in older adults: a systematic review[J]. *J Am Med Dir Assoc*, 2018, 19(1):6-11. DOI: 10.1016/j.jamda.2017.05.026.
- [29] Stout JR, Smith-Ryan AE, Fukuda DH, et al. Effect of calcium beta-hydroxy-beta-methylbutyrate (CaHMB) with and without resistance training in men and women 65+ yrs: a randomized, double-blind pilot trial[J]. *Exp Gerontol*, 2013, 48(11):1303-1310. DOI: 10.1016/j.exger.2013.08.007.
- [30] Gotshalk LA, Kraemer WJ, Mendonca MA, et al. Creatine supplementation improves muscular performance in older women[J]. *Eur J Appl Physiol*, 2008, 102(2):223-231. DOI: 10.1007/s00421-007-0580-y.
- [31] Aguiar AF, Januario RS, Junior RP, et al. Long-term creatine supplementation improves muscular performance during resistance training in older women[J]. *Eur J Appl Physiol*, 2013, 113(4):987-996. DOI: 10.1007/s00421-012-2514-6.
- [32] Verreijen AM, Verlaan S, Engberink MF, et al. A high whey protein-, leucine-, and vitamin D-enriched supplement preserves muscle mass during intentional weight loss in obese older adults: a double-blind randomized controlled trial[J]. *Am J Clin Nutr*, 2015, 101(2):279-286. DOI: 10.3945/ajcn.114.090290.
- [33] Frimel TN, Sinacore DR, Villareal DT. Exercise attenuates the weight-loss-induced reduction in muscle mass in frail obese older adults[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2008, 40(7):1213-1219. DOI: 10.1249/MSS.0b013e31816a85ce.
- [34] Villareal DT, Chode S, Parimi N, et al. Weight loss, exercise, or both and physical function in obese older adults[J]. *N Engl J Med*, 2011, 364(13):1218-1229. DOI: 10.1056/NEJMoa1008234.

(修回日期:2020-11-20)

(本文编辑:凌 琛)