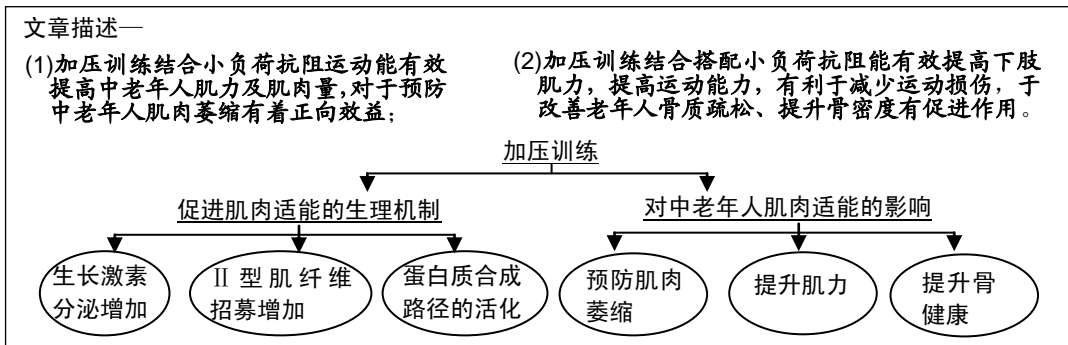


加压训练对中老年人肌肉适能的影响与优势

赵静, 尹练, 雷雪梅, 李苗苗, 王坤, 张庭然, 罗炯(西南大学体育学院运动戒毒研究中心, 重庆市 400715)

DOI:10.3969/j.issn.2095-4344.2690 ORCID: 0000-0001-8540-0000(赵静)

文章快速阅读:



赵静, 女, 1997年生, 河南省焦作市人, 硕士研究生, 主要从事国民体适能与健康促进研究。

通讯作者: 罗炯, 博士, 教授, 西南大学体育学院运动戒毒研究中心, 重庆市 400715

文献标识码:A

投稿日期: 2019-11-09

送审日期: 2019-11-15

采用日期: 2019-12-16

在线日期: 2020-03-04



文题释义:

加压训练(KAASU Training): 是肢体近端束缚上加压带, 施加适当压力并搭配小负荷抗阻运动, 就能达到与传统高强度阻力运动相似的运动效果, 其特点是负荷小、效果显著、安全系数较高。

肌肉适能(Muscle Fitness): 是指机体依靠肌肉收缩克服和对抗阻力维持身体运动的能力。通常表现为肌肉力量与肌肉耐力, 良好的肌肉适能对于维持人体正常姿势、进行日常活动、保持身体健康有重要意义。

摘要

背景: 加压训练具有结合小负荷运动就可以达到与传统高强度抗阻运动类似的训练效果, 故而近年来广泛应用在竞技体育、运动健身、医疗康复等领域, 但加压训练对中老年人肌肉适能影响有关的评述鲜见。

目的: 通过对国内外加压运动对中老年人肌肉适能的全面综述, 进一步解释及验证加压训练在中老年人运动中的安全性、实用性及便捷性, 为中老年人选择安全有效的运动方式提供科学的建议。

方法: 搜寻截止至 2019 年 10 月, 包括 Elsevier、PubMed、Springer、维普中文期刊服务平台、CNKI 中文资料总库的文献数据库以及台湾学术文献数据库, 检索有关加压训练、血流限制、肌肉适能等的中英文文献, 并根据研究需要确立相应的入选标准, 对最终所得文献进行筛选。

结果与结论: ①加压结合小负荷运动能够有效提高中老年人的肌肉量, 对于预防中老年人肌肉萎缩有着正向效益; ②加压训练结合小负荷运动能够有效提高下肢肌力, 有利于减少运动损伤, 提高生活质量; ③加压训练对中老年人骨健康有正向效益, 对于改善老年人骨质疏松、提升骨密度有促进作用; ④相较于传统抗阻训练, 加压训练具有负荷小, 效果好的特点, 更容易被中老年人接受。

关键词:

加压训练; 血流限制; 中老年人; 肌肉适能; 肌力; 肌肉量; 肌肉萎缩; 骨健康; 骨密度

中图分类号: R455; R318; [R875]

基金资助:

重庆市体育局科研立项(C201811), 项目负责人: 罗炯

缩略语:

雷帕霉素靶蛋白: mammalian target of rapamycin, mTOR

KAASU training for muscle fitness in the middle-aged and elderly adults: effects and strengths

Zhao Jing, Yin Lian, Lei Xuemei, Li Miaomiao, Wang Kun, Zhang Tingran, Luo Jiong (Research Centre for Exercise Detoxification, College of Physical Education, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract

BACKGROUND: KAASU training combined with low-load exercise can achieve the same effect as traditional high intensity resistance exercise. Therefore, it has been widely used in competitive sports, sports fitness, medical rehabilitation and other fields in recent years. However, there are few comments on the effects of KAASU training on muscle fitness of the middle-aged and elderly adults.

OBJECTIVE: To further explain and verify the safety, practicability and convenience of KAASU training in the middle-aged and elderly adults exercise through a comprehensive review of the muscle fitness of middle-aged and elderly adults, and to provide scientific suggestions for the middle-aged and elderly adults to choose a safe and effective exercise.

METHODS: Up to October 2019, Elsevier, PubMed, Springer, VIP, CNKI and Taiwan Academic Literature

Zhao Jing, Master candidate, Research Centre for Exercise Detoxification, College of Physical Education, Southwest University, Chongqing 400715, China

Corresponding author: Luo Jiong, PhD, Professor, Research Centre for Exercise Detoxification, College of Physical Education, Southwest University, Chongqing 400715, China

Database were searched for Chinese and English literature about KAASTU training, blood flow restriction, and muscle. Corresponding selection criteria was established according to the needs of the study, followed by literature screening.

RESULTS AND CONCLUSION: KAASTU training combined with low-load exercise can effectively increase the muscle mass of the middle-aged and elderly adults, and has a positive effect on the prevention of muscle atrophy in the middle-aged and elderly adults. KAASTU training combined with low-load exercise can effectively improve the muscle strength of the lower extremities, which is beneficial to reduce exercise injury and improve the quality of life. KAASTU training has positive effects on bone health of the middle-aged and elderly adults, improves osteoporosis and increases bone mineral density of the older adults. Compared with traditional resistance training, KAASTU training is characterized by lower load and better effect. Therefore, KAASTU training is easier to be accepted by the middle-aged and elderly adults.

Key words: KAASTU training; blood flow restriction; middle-aged and elderly adults; muscle fitness; muscle strength; muscle mass; muscle atrophy; bone health; bone mineral density

Funding: the Scientific Research Project of Chongqing Administration of Sports, No. C201811 (to LJ)

0 引言 Introduction

肌肉适能是体适能的重要组成部分,足够的力量是维持人类生存的重要因素^[1]。人体肌肉峰值出现在20-25岁,随后呈增龄性下降,当超过60岁时,肌肉力量的损失速度明显加快,神经肌肉系统结构和功能退化、骨骼肌质量和肌纤维数量降低和肌肉减少症的风险增加,这些会引起中老年人运动能力大幅度下降^[2]。根据全球人口统计推测,在2050年65岁以上人口将超过20亿^[3],因此如何帮助中老年人维持肌肉适能就十分重要。

目前所知,抗阻训练是促进肌肉适能最有效的方法^[1, 4]。对于康复训练中抗阻训练强度达到65%1RM以上才能取得良好的效果,但是大多数中老年人存在原发疾病,过强的机械外力也会增加损伤风险,同时导致运动损伤增加^[5]。流行病学研究证实,超过90%的运动损伤与负荷设置过高有关,且运动损伤发生率与肌肉力量的增龄性下降呈显著正相关(女性更为明显)^[6]。中老年人通常处于日常身体活动不足的状态,而肌肉量和肌力逐渐下降,并且其中不乏有肌少症的问题,这也会增加骨质疏松、胰岛素抵抗和肥胖症的风险^[7]。基于中老年人的健康状况,机体可能无法承受高负荷抗阻力训练,而加压训练的效果与高负荷抗阻运动相似^[8]。加压训练能够有效提升和保持中老年人肌肉力量,且仅需使用20%1RM的强度结合加压,就能明显改善肌肉适能^[9],并且于此强度之下进行阻力训练,所需消耗的能量与日常生活中的身体活动量相当^[10]。加压训练与高强度阻力运动有类似的提升肌肉适能效果,同时降低运动期间心血管系统的压力,这对中老年人而言是较为能接受的训练方式^[11]。

加压力量训练的特点是以较小的运动强度就能促进蛋白合成、刺激肌肉生长从而提高肌肉适能^[12]。此外还有研究发现,加压训练对激素分泌^[13]、血管顺应性和骨健康等也有良性影响^[14-15]。加压训练具有运动形式多样、训练效率较高,便于操作和相对安全等特点,因此考虑加压训练在提升中老年人肌力和肌肉量,预防肌肉萎缩以及对骨健康有正向效益的应用。文章通过探讨加压训练提升肌肉适能的生理机制,以及加压训练对中老年人肌肉适能的影响进行评述,为中老年人制定运动处方提供参考以及选择有效的运动方法提供新思路。

1 资料和方法 Data and methods

1.1 资料来源 研究使用的文献数据库主要包括 Elsevier、PubMed、Springer、维普中文期刊服务平台、CNKI 中文资料总库的文献数据库以及台湾学术文献数据库,搜寻2019年10月以前出版的所有研究,使用布尔逻辑中英文关键词主要有“加压训练、血流限制、中老年人、肌肉适能、骨健康、加压训练机制、肌肉萎缩”,及对应的英语短语“Kaastu training、blood flow restriction、older men、muscle fitness”。

1.2 文献选取标准

文献入选标准: ①与加压训练机制相关的文献; ②受试者进行抗阻训练或加压训练的文献; ③与中老年人肌肉适能、心血管适应等相关的文献; ④研究文献中的论据、论点质量高且可靠;

文献排除标准: ①与该研究目的无关的文献排除; ②重复性研究文献排除。

1.3 文献证据等级及获取 依照文献选取标准,将所选出的研究文献依照牛津大学实证中心医学文献证据等级标准分为1-5级。所有文献的证据等级与研究设计相关,证据的等级系指研究设计可以减少偏差的程度,且研究方法会影响文献证据的可靠性。最高的证据等级是随机对照研究(randomized controlled trials, RCT)的系统性文献回顾(systematic review),最低证据等级为专家意见。再依据所选取文献质量给予每个分析项目结果评比,所收集的文献先由5位同行进行独立评分,分别去掉一个最高分和最低分,取中间3个求平均分,对有争议的文献进行探讨已达成共识,最后获得该研究的等级。

1.4 纳入文献基本情况 文献筛选流程图见图1。

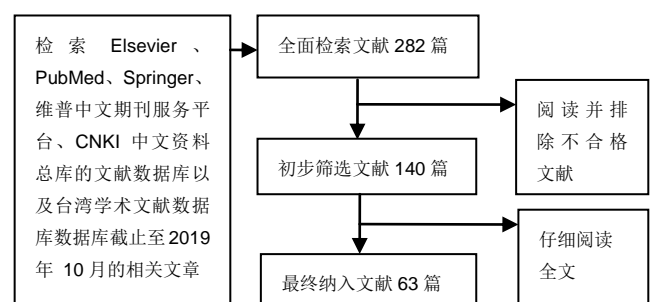
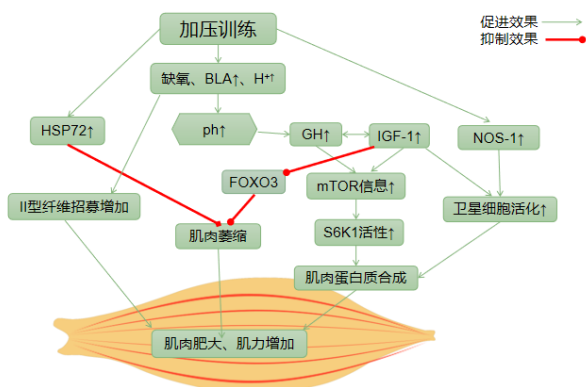


图1 文献筛选流程图

2 结果 Results

2.1 加压训练的来源及其发展 日本博士Sato在跪坐时发现双腿肿胀的感觉与抗阻训练肌肉被动收缩产生的感觉相似,于是对此进行深入思考,从1973年开始逐步改良加压设备并优化训练方法,于1983年确立此项专门技术;2003年设计出新的脉压带(KAATSU Master),施加压力时容易操控,训练的安全性也得到提升^[16]。加压训练(KAASTU training)是在肢体近端绑上压力带以限制远端肌肉血流,并结合小负荷的抗阻运动进行训练,加压训练的目的在于压迫血管限制血流量,因此也被称为“血流限制训练”(blood flow restriction, BFR)^[17-18]。目前国外进行加压训练时,负荷一般控制在20%~50% 1RM范围内的低负荷阻力运动,结合局部加压就可以得到与传统高负荷阻力运动提升肌力与肌肉量的类似效果^[19]。近年来加压训练也广泛应用于运动健身^[20]、竞技训练^[21]、损伤康复和航天领域^[12, 22],这也证实了加压训练提升肌肉适能的效果得到一致认可。有研究显示加压训练并非负荷越大效果越好,若施加负荷或加压超过一定范围,运动效果降低并且运动损伤风险增加^[23]。目前加压训练在中老年人群中的应用主要集中在加压结合走路(多数在跑步机上进行)和低强度阻力运动中,主要用于肌力和肌肉量的提升以及康复训练之中。对中老年人进行加压训练每次进行10-20 min运动强度为45%储备心率或10%-30%1RM力量训练,组间歇为30 s-3 min,每周进行2-5次,持续6-12周,加压压力应 ≤ 1.3 倍收缩压(140-200 mm Hg之间,可依据练习次数主逐次增加),就可以显著增加中老年人肌力以及整体活动能力^[17, 24-27]。

2.2 加压训练促进肌肉适能的生理机制 见图2。



图注: BLA: 血乳酸; GH: 生长激素; IGF-1: 胰岛素样生长因子1; HSP-72: 热休克蛋白 72; NOS: 一氧化氮合成酶; mTOR: 雷帕霉素靶蛋白; 核糖体蛋白 S6 激酶; S6K1

图2 加压训练促进肌肉肥大和肌力增加相关机制

2.2.1 刺激生长激素分泌增加 对人体肢端进行加压后血流受到限制,会造成组织局部缺氧,进而促进体内血液和肌肉中血乳酸及 H^+ 浓度上升^[19, 28-29], pH值上升,这会刺激肌肉组织代谢型受体group II、III传入神经纤维,

调节化学感受器反射与交感神经的作用,从而刺激脑垂体前叶分泌生长激素^[30],同时生长激素的分泌也会刺激肝脏分泌胰岛素样生长因子1(IGF-1),胰岛素样生长因子1又可促进生长激素释放,这两种激素对肌肉生长均有正向效益^[31]。加压造成的组织缺氧和酸性环境也会促进去甲肾上腺素^[32]、肾上腺素^[33]、睾酮等浓度的提高^[34],这些激素与肌肉肥大成正相关。加压训练引起的代谢压力也会提高热休克蛋白(HSP-72)与一氧化氮合成酶(NOS-1)信息^[35-36],并活化卫星细胞刺激肌肉肥大。研究发现热休克蛋白72不但具有避免肌肉蛋白质流失的保护效益,同时可减缓失用性肌肉萎缩引起的肌肉蛋白质合成下降,并抑制细胞凋亡,进而减少肌肉量流失^[35]。这些激素分泌量的提高是肌肉适能发展的重要因素。

2.2.2 II型肌纤维招募增加 根据Henneman肌纤维征召理论, type II肌纤维的阈值高于type I肌纤维,小负荷运动会先动员type I肌纤维,当负荷增大就会动员type II肌纤维。因此,随着运动负荷超过阈值, type II肌纤维才会开始被征召,当进行高强度阻力运动才可确保type II肌纤维被征召^[37]。加压部位血流受限后,会造成局部缺血缺氧、pH值下降,这会加速肌肉的疲劳^[38],肌纤维招募的阈值也会降低,此时II型肌纤维更容易被招募^[39];在加压训练的研究中,低强度阻力运动的过程中,以止血带限制运动肢段血流量时,活动肌群的耐力降低并有较高的神经肌肉活性,虽然不属于高强度阻力运动, type II肌纤维仍可被征召使用^[5]。所以,在加压训练时会造成血流下降与组织局部缺氧现象并加速疲劳发生,故即使在低强度阻力运动下,仍可导致type II肌纤维征召大幅提高^[29],并使得肌肉内的代谢环境产生改变,造成内分泌反应与代谢压力变化,进而刺激肌肉肥大。

2.2.3 肌肉内蛋白质合成路径的活化 目前针对细胞内蛋白质合成分子机制之调控的研究仍较少。但研究发现雷帕霉素靶蛋白(mammalian target of rapamycin, mTOR)及其下游信息分子在调控肌肉细胞蛋白质合成中有关键作用^[40]。POUR等(in press)研究指出,加压训练引起的代谢压力可透过对信号途径之腺嘌呤核苷酸活化蛋白激酶(AMPK)与mTOR的刺激,明显促进与代谢相关的过氧化物酶体增殖启动受体 γ 辅启动因子1(PGC-1 α)的基因及蛋白表达增加,进而达成肌肉肥大的效果^[41]。一些综评性文章也指出,加压训练可能会造成细胞的急性肿胀,进而促使细胞内代谢产物的增加,导致细胞内体积的增大,而刺激体积传感器(volume sensor),随后,便会活化mTOR和丝裂原活化蛋白激酶(MAPKs)^[42]。研究显示,急性低强度阻力运动搭配局部加压可刺激生长激素、胰岛素样生长因子1分泌^[43-45]。此外,许多动物或细胞研究也发现,生长激素与胰岛素样生长因子1均可活化肌肉细胞内的mTOR信息系统^[46]。先前FUJITA团队研究显示加压训练可活化mTOR

讯息系统, 进行加压抗阻训练后, 实验结果显示血乳酸、生长激素的浓度明显增加, 同时肌肉组织核糖体蛋白S6激酶(ribosomal portein S6 kinase1, S6K1)的活性与肌肉蛋白合成速率亦大幅提高, 另外, 胰岛素样生长因子1浓度在运动后立即也呈现上升现象(约从100 μg/L上升至150 μg/L)^[18]。除了促进肌肉细胞mRNA转译与蛋白质合成外, 加压训练过程诱发的生理压力也会提高热休克蛋白72表达与促进一氧化氮合成酶的释放^[47], 并活化卫星细胞^[28], 这些细胞分子变化有助于促进肌肉细胞肥大。另外发现加压训练通过刺激胰岛素样生长因子1分泌, 可能会抑制肌肉细胞蛋白质分解信号, 进而减缓肌肉萎缩现象^[48]。而且, 胰岛素样生长因子1可刺激肌纤维周围的卫星细胞, 并促进其增生与分化, 进而协助卫星细胞融合至肌纤维中^[49]。这些研究结果都证实, 加压训练可能透过调节肌肉生长与重塑作用, 进一步促进肌肉肥大现象与减缓肌肉萎缩。

2.3 加压训练对中老年人肌肉适能产生的效益 肌肉适能包括肌肉力量和肌肉耐力, 是体适能的重要组成部分, 也是维持身体生存活动的重要因素。肌力是指在克服外界阻力时所产生的肌肉力量, 最大力量1RM通常用只能完成一次最大用力的值来表示。肌耐力则是指肌肉可以重复收缩次数和持续时间来表示。而中老年人慢性疾病、运动器官受损或是年龄增长都会引起肌肉退化, 引发肌肉萎缩, 肌肉力量和肌肉耐力下降^[2, 50]。对抗肌肉萎缩的主要方法是功能康复及功能锻炼^[5], 加压训练采取小负荷抗阻搭配加压就能有效提升中老年人肌肉质量和促进肌力增长(表1)。

2.3.1 加压训练有效预防中老年人肌肉萎缩 肌肉由肌纤维构成的, 肌纤维的主要成分是蛋白质, 蛋白质会随着年龄的增长而减少, 因此蛋白质的分解与合成影响着肌肉萎缩。MANINI等^[51]研究证实, 进行一次急性

加压训练8 h后肌肉蛋白质合成增加, 发现其交叉转录因子、萎缩素第1型基因和肌肉环指蛋白1的mRNA表达分别下调1.92倍、2.1倍和2.44倍, 而对照组各指标无明显变化, 该结论与高强度力量训练导致蛋白水解转录因子下降结果具有高度的一致性。这说明加压训练可以通过降低蛋白质降解相关因子表达水平来预防肌肉萎缩、实现肌肉重塑^[52]。FRY等^[17]通过肌肉活检、同位素示踪及免疫蛋白印迹技术发现, 加压训练显著激活老年人[(70±2)岁] mTOR信号系统转换、刺激蛋白合成: 老年人加压训练(200 mm Hg 20%1RM)后mTOR系统下游S6K1和RPS6的磷酸化水平显著提高、肌肉蛋白合成增加56%, 进一步证实了MANINI等^[51]和FUJITA等^[18]的结果。研究表明, 生长激素的分泌是促进肌肉肥大的重要因素^[12]。MANINI等^[51]随机进行80%HIRT和20%1RM结合加压的交叉试验, 运动后将年轻人[(28±8)岁]和老年人[(67.4±4.6)岁]生长激素变化幅度进行对比, 发现两者生长激素浓度都呈现上升趋势, 这对于促进老年人肌肉肥大具有正向效益。加压训练可以调节蛋白质分解与合成, 刺激生长激素的分泌。与传统抗阻训练相比, 加压训练在保证同等训练效果的前提下, 能够使中老年人更轻松地完成训练量, 可以降低运动损伤的风险, 还可以预防因年龄增加而引起的肌肉萎缩^[52]。

适宜的肌肉量对于预防肌肉萎缩具有重要意义。ABE等^[53]以加压结合走路方式(强度为67 m/min、运动20 min、加压 60-200 mm Hg)对中老年人进行调查, 在持续训练6周(5堂/周、共30堂)后, 结果显示与成人加压步行有着相似的训练效益: 都能明显促进大腿CSA(5.8%)及肌肉量(10.7%)的增加, 但是无法增加躯干的肌肉质量^[24]。这显示加压训练的效果可能仅限于加压部位及其周围, 对于远端肌群肌肉量增加无效果^[54]。OZAKI等^[25]、ABE等^[53]2篇研究中也指出加压训练搭配强

表1 加压结合小强度运动对中老年肌力和肌肉量的影响

作者(年份)	受试者	训练方法	结果
ABE 等(2010b)	19 名中老年人	走路运动组: 共 6 周, 每周 5 d。以 45% HRR, 跑步机运动 20 min 加压组: 走路运动+加压: 第 1 周 160 mm Hg, 每周增加 10 mm Hg, 最高至 200 mm Hg	走路运动组: ↔ 加压组: 大腿肌肉量↑5.1%, 最大腿部肌力↑7%-16% 功能性体能 ↑
OZAKI 等(2011a)	23 名中老年人	走路运动组: 共 10 周, 每周 4 d, 以 45%HRR, 跑步机运动 20 min 加压组: 第 1 周 140 mm Hg, 每周增加 10 mm Hg, 最高至 200 mm Hg	走路运动组: ↔ 加压组: 腿部伸肌与屈肌最大腿部肌力分别提升↑8.7%与↑15% 大腿肌肉量↑3%
OZAKI 等(2011b)	18 名老年人	走路运动组: 共 10 周、4 堂/周、45% HRR 走路 20 min 加压组: 走路运动+160-200 mm Hg	走路运动组: ↔ 加压组: -等速膝伸 ↑8.4%; 膝屈↑22.3% 功能性体能 ↑10.7%
CLARKSON 等(2017)	19 名老年人	走路运动组: 共 6 周、4 堂/周、4 km/h 走路 10 min 加压组: 走路运动+60% limb occlusion pressure	功能性测验加压组显著高于走路运动组
GUALANO 等(2010)	1 名罹患包涵体肌炎的 65 岁患者	运动: 共 12 周, 每周 2 次。3 种下肢阻力运动, 3 组, 反复次数 15 下, 组间休息 30 s 加压: 约 65 mm Hg 加压压力于两侧大腿近端	大腿横断面积↑4.7% 腿部最大肌↑15.9% 移动能力↑60%

表注: HRR 为储备心率; ↑代表提升; ↔代表无显著上升

度为45%储备心率的走路运动,进行10周的训练(4堂/周、共40堂、走路20 min、加压140–200 mm Hg),同样能促进中老年人肌肉的肥大,而对照组仅采用步行的却没有变化。包涵体肌炎是一种发生于中老年人的炎性肌肉病变,临床症状为下肢肌肉逐渐萎缩,研究发现个案经过12周训练后(15RM, 3组,组间休息30 s),该老人的大腿横断面积提高4.7%,这比传统康复治疗更有效^[26]。这提示加压训练对于提升中老年人肌肉体积、横截面积增加有显著效果。蛋白质合成路径的增加,促肌肉生长的激素分泌增加等,加压训练通过多种因素叠加对抗肌肉萎缩,对于中老年人维持适量肌肉有着正向效益。

2.3.2 加压训练有效提升中老年人肌力 PATTERSON等^[55]对10名老年人进行为期4周的低强度抗阻训练(25% 1RM单侧跖屈训练,一侧大腿加压、一侧不做处理),左右对比发现:加压训练侧腿较单纯抗阻训练侧腿最大等长收缩肌力及最大等速(0.52 rad/s)收缩肌力均有明显增加,这说明加压训练对于老年人肌力的提高是有效的。有研究显示加压结合低强度阻力训练与高强度抗阻训练在提升中老年人肌力方面相似。KARABULUT等^[27]将37名健康中老年男性(年龄50–64岁)随机分成高强度(80% 1RM)抗阻训练组(RT80)、加压结合低强度(20%1RM)抗阻训练组(VR-RT20)和无任何训练的对照组,经过6周训练后发现,RT80和VR-RT20与对照组相比,受试者上肢和腿部力量显著增长($P < 0.01$),且RT80组和VR-RT20组绝对力量的增加非常相似($P > 0.05$)。ABE等^[53]发现,持续6周加压搭配走路训练(5堂/周、共30堂、强度为67 m/min、运动20 min、加压160–200 mm Hg),能够明显提升中老年人等速膝伸展(12.2%)与膝屈运动(16.1%)等下肢肌力的提升^[25]。随后, OZAKI等^[25, 56]的研究也发现,加压搭配低强度耐力运动进行训练,都能明显促进中老年人的下肢肌力。除了腿部肌力明显的进步外,部分研究也对功能性体能测验进行了调查,结果也发现能使其获得明显的提升与改善^[24, 56]。比如在 CLARKSON等^[57]的研究中,通过对老年人功能性体能测验的方式,如起走测验的进步,间接地证明受试者在加压搭配低强度耐力训练后肌力的提升,也进一步说明了中老人在训练后,除了能有效提升肌力水平外,亦能够改善日常身体的活动功能,进而达到维持生活基本质量的效果。还有一篇研究以中老年人作为对象,发现此种训练方式能够明显促进下肢肌力约13%,同时也伴随功能性体能测验的进步^[54]。加压训练在中老年人应用研究中质量较高,证实了加压训练能够有效促进中老年人肌肉力量的提升,对于活动能力的提升也具有正向效益。中老年人进行加压训练的方案严谨,技术可靠,且实施的可能性和训练效果均优于传统大强度阻力训练,可以为中老年人进行加压训练提供借鉴和指引。

2.3.3 加压训练对中老年人骨健康的影响 目前加压训练对骨骼影响的研究还不多,仅限于个案研究。有研究

显示,胰岛素样生长因子1水平下降可增加老年人群骨质疏松及骨折的风险^[58], LOENNKE等^[59]发现生长激素分泌不足者骨更新和骨密度低于正常人。因衰老引起的骨量下降,可能会引起骨密度降低而产生骨质疏松^[31]。研究显示,骨碱性磷酸酶与骨碱性磷酸酶/I型胶原蛋白C端交联末端(CXT)比值的变化提示着骨活性的增加,有利于骨的形成^[60]。值得注意的是在KARABULIEK等^[15]研究中,低强度抗阻结合加压运动与高强度抗阻运动都能促进中老年人骨碱性磷酸酶浓度与骨碱性磷酸酶/CXT比值的增加,这与上述研究结果一致,说明加压训练对老年人骨的形成有正向效益。FUJIMURA等^[61]研究指出经过20周的加压训练可以提高绝经期妇女骨密度。这也证实了加压结合小负荷运动与高强度抗阻有改善骨密度的作用,因此老年人可以考虑采用小负荷抗阻结合加压替代传统高强度抗阻。加压训练能促进局部肌肉血液流动、肌肉代谢应激水平、血液激素水平和转录因子变化等,尤其均能显著提升人体内雄激素、生长激素、胰岛素样生长因子1^[62]。生长激素和胰岛素样生长因子1促进骨组织的生长发育,所以加压力量训练对于骨质代谢和骨密度应当有正向效益。

2.4 加压训练在中老年人中应用的有效性和安全性 李卓倩等^[63]在以普通健康成年人作为研究对象的低强度抗阻加压运动中,上肢压力为100–140 mm Hg,下肢压力为140–180 mm Hg的血流限制条件下结合深蹲、屈臂、伸臂进行试验时,发现肌肉肿胀效应更加显著,同时疲劳感相对较小。而在上述研究中,中老年人进行加压时,下肢加压为140–200 mm Hg,结合走路或小负荷运动时,下肢肌力及肌肉横截面积均显著提升,效果优于对照组,且生理疲劳和心理疲劳适中,在中老年人承受范围之内。因此建议中老年人进行加压训练每次进行10–20 min运动强度为–45%储备心率或10%–30%1RM力量训练,组间歇为30 s–3 min,每周进行2–5次,持续6–12周,加压压力应 ≤ 1.3 倍收缩压(140–200 mm Hg之间,可依据练习次数主逐次增加),就可以显著增加中老年人肌力以及整体活动能力^[17, 24–27]。针对于患有心血管疾病或健康状态较差的中老年人,在进行加压训练时要经过医学检查,在专业人员的指导下进行练习。

3 结论与展望 Conclusions and prospects

3.1 结论 ①加压训练结合小负荷抗阻运动能够有效提高中老年人肌力及肌肉量,对于预防中老年人肌肉萎缩有着正向效益;②加压训练结合搭配小负荷抗阻能有效提高下肢肌力,提高运动能力,有利于减少运动损伤;③加压训练对中老年人骨健康有正向效益,对于改善老年人骨质疏松、提升骨密度有促进作用;④相较于传统抗阻训练,加压训练具有负荷小,效果好的特点,在训练初期更容易被中老年人接受;⑤进行一段时间加压训

练后,随着肌力的增长,可以在身体能够承受的范围内适当增加抗阻负荷,以提高肌肉的力量及神经肌肉的适应性。

3.2 展望 ①目前关于加压训练对肌肉适能的影响机制研究机制不够系统和全面,未来仍需有更多研究进行相关探讨;②在中老年加压运动中多采用加压结合走路或是小负荷抗阻进行,未来可以探索加压训练在中老年人中运用的剂量关系,探索更佳的运动处方;③在加压训练中研究对象多为健康成人或运动员,对于中老年人研究较少,未来可以探索加压训练对中老年人机体其他方面的影响;④正常中老年人的肌肉萎缩可能是由于年龄增长引起的,中老年人肌肉萎缩还有可能是其他的病理性原因所引起的,如神经源性肌肉萎缩、肌源性肌肉萎缩和其他疾病引起的肌肉组织病变等。本文是基于正常老年人的研究,未来可以研究加压训练对不同肌萎缩类型老年人的影响等等。

致谢: 感谢西南大学体育学院为本研究提供良好的资料收集平台,感谢罗炯教授的细心帮助。

作者贡献: 赵静收集与查阅文献并设计撰写综述,罗炯教授负责评估与审校。

经费支持: 该文章接受了“重庆市体育局基金(C201811)”资助。但是所有作者声明,经费支持没有影响文章观点和对研究数据客观结果的统计分析及其报道。

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不存在利益冲突。

写作指南: 该研究遵守《系统综述和荟萃分析报告规范》(PRISMA指南)。

文章查重: 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。

文章外审: 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。

文章版权: 文章出版前杂志已与全体作者授权人签署了版权相关协议。

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。

4 参考文献 References

- HERMAN J K, DEJON A, SANDERSON B, et al. ACSM Resource manual for guidelines for exercise testing and prescription. 6th Edition Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins. 2010:332-348.
- GARBER CE, BLISSMER B, DESCHENES MR, et al. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. Med Sci Sports Exerc. 2011;43(7):1334-1359.
- LOENNEKE JP, PUJOL TJ. Sarcopenia: An emphasis on occlusion training and dietary protein. Hippokratia. 2011;15(2):132-137.
- ACSM POSITION STAND. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. Med sci sports Exe. 2009;41(3):687-708.
- TAKARADA Y, TAKAZAWA H, SATO Y, et al. Effects of resistance exercise combined with moderate vascular occlusion on muscular function in humans. J Appl Physiol. 2000;88(6):2097-2106.
- KERR ZY, COLLINS CL, COMSTOCK RD. Epidemiology of weight training-related injured presenting to United States emergency departments, 1990 to 2007. Am J Sports Med. 2010;38(4):765-771.
- DESCHENES MR. Effects of aging on muscle fibre type and size. Sports Med. 2004;34(12):809-824.
- COOK SB, LAROCHE DP, VILLA MR, et al. Blood flow restricted resistance training in older adults at risk of mobility limitations. Exp Gerontol. 2017;99:138-45.
- RUBENS VINICIUS LETIERIA, ANA MARIA TEIXEIRA, GUILHERME EUSTAQUIO, et al. Effect of 16 weeks of resistance exercise and detraining comparing two methods of blood flow restriction in muscle strength of healthy older women: A randomized controlled trial. Experimental Gerontology. 2018;114:78-86.
- SAWAI S, SANEMATSU H, KANEHISA H, et al. Evaluation of muscle activity level in daily actions. Japanese Journal of Physical Fitness and Sports Medicine. 2004;53:93-106.
- 周峻忠, 林惟钟, 陈一进, 等. 下肢加压训练对伤后复健者和高龄族群在肌肉适能方面影响之实务探讨[J]. 运动生理暨体能学报, 2016, 6(22):33-44.
- 徐飞, 王健. 加压力量训练: 释义及应用[J]. 体育科学, 2013, 12(33):71-80.
- TAKARADA Y, NAKAMURAY, ARUGA S, et al. Rapid increase in plasma growth hormone after low-resistance exercise with vascular occlusion. J Appl Physiol. 2009, 106(4):1159-1168.
- KARABULUT M, MCCARRON J, ABE T, et al. The effect of different initial restrictive pressure used to reduce blood flow and thigh composition on tissue oxygenation of the quadriceps. Sports Sci. 2011;29(9):951-958.
- KARABULUT M, BEMBEN DA, SHERK VD, et al. Effects of high-intensity resistance training and low-intensity resistance training with vascular restriction on bone markers in older men. Eur J Appl Physiol. 2011;111(8):1659-1667.
- SATO Y. The history and future of KAATSU Training. International Journal of KAATSU Training Research. 2005;1(1):1-5.
- FRY CS, GLYNN EL, DRUMMOND MJ, et al. Blood flow restriction exercise stimulates mTORC1 signaling and muscle protein synthesis in older men. J Appl Physiol. 2010;108(5):1199-1209.
- FUJITA S, ABE T, DRUMMOND MJ, et al. Blood flow restriction during low-intensity resistance exercise increases S6K1 phosphorylation and muscle protein synthesis. J Appl Physiol. 2007;103(3):903-910.
- SUGA T, OKITA K, MORITA N, et al. Dose effect on intramuscular metabolic stress during low-intensity resistance exercise with blood flow restriction. J Appl Physiol. 2010, 108(6):1563-1567.
- SLYSZ J, STULTA J, BURR JF. The efficacy of blood flow restricted exercise: a systematic review & meta-analysis. J Sci Med Sport. 2016;19:669-675.
- 赵之光, 程金娜, 魏文哲, 等. 加压训练和传统增肌训练对优秀男子手球运动员部分激素及生物活性因子的影响[J]. 中国体育科技, 2019, 9(55):20-29.
- 李新通, 潘玮敏, 覃华生, 等. 血流限制训练: 加速骨骼肌康复的新方法[J]. 中国组织工程研究, 2019, 23(15):2415-2420.
- LOENNEKE JP, ABE T, WILSON JM, et al. Blood flow restriction: an evidence based progressive model (Review). Acta Physiol Hung. 2012;99(3):235-250.
- ABE T, SAKAMAKI M, FUJITA S, et al. Effects of low-intensity walk training with restricted leg blood flow on muscle strength and aerobic capacity in older adults. J Geriatr Phys Ther. 2010;33(1):34-40.
- OZAKI H, MIYACHI M, NAKAJIMA T, et al. Effects of 10 weeks walk training with leg blood flow reduction on carotid arterial compliance and muscle size in the elderly adults. Angiology. 2011; 62(1):81-86.

- [26] GUALANO B, NEVES M JR, LIMA FR, et al. Resistance training with vascular occlusion in inclusion body myositis: a case study. *Med Sci Sports Exerc*. 2010;42(2):250-254.
- [27] KARABULUT M, ABE T, SATO Y, et al. The effects of low-intensity resistance training with vascular restriction on leg muscle strength in older men. *Eur J Appl Physiol*. 2010;108(1):147-155.
- [28] GENTIL P, OLIVEIRA E, BOTTARO M. Time under tension and blood lactate response during four different resistance training methods. *J Physiol Anthropol*. 2006;25(5):339-344.
- [29] KAWADA S, ISHII N. Skeletal muscle hypertrophy after chronic restriction of venous blood flow in rats. *Med Sci Sports Exerc*. 2005;37(7):1144-1150.
- [30] VICTOR RG, SEALS DR. Reflex stimulation of sympathetic outflow during rhythmic exercise in humans. *Am J Physiol*. 1989;257(2):2017-2024.
- [31] LE RD, BONDY C, YAKAR S, et al. The somatomedin hypothesis. *Endocrine Reviews*. 2001; 22(1):53-74.
- [32] KVORNING T, ANDERSEN M, BRIKSEN K, et al. Suppression of endogenous testosterone production attenuates the response to strength training: a randomized, placebo-controlled, and blinded intervention study. *Am J Physiol Endocrinol Metab*. 2006; 291(6):1325-1332.
- [33] LOENNEKE JP, PUJOL TJ. The use of occlusion training to produce muscle hypertrophy. *Strength Cond J*. 2009;31(3):77-84.
- [34] KRAEMER WJ, RATAMESS NA. Hormonal responses and adaptations to resistance exercise and training. *Sports Med*. 2005;35(4):339-361.
- [35] NAITO H, POWERS SK, DEMIREL HA, et al. Heat stress attenuates skeletal muscle atrophy in hindlimb-unweighted rats. *J Appl Physiol* (1985). 2000;88(1):359-363.
- [36] KOSEK DJ, BAMMAN MM. Modulation of the dystrophin-associated protein complex in response to resistance training in young and older men. *J Appl Physiol* (1985). 2008; 104(5): 1476-1484.
- [37] HENNEMAN E, SOMJEN G, CARPENTER DO. Functional significance of cell size in spinal motoneurons. *J Neurophysiol*. 1965;28(3): 560-580.
- [38] ABE T, YASUDA T, MIDORIKAWA T, et al. Skeletal muscle size and circulating IGF-1 are increased after two weeks of twice daily "KAATSU" resistance training. *International Journal of Kaatsu Training Research*. 2005;1(1):6-12.
- [39] HOUTMAN CJ, STEGEMAN DF, VAN DIJK JP, et al. Changes in muscle fiber conduction velocity indicate recruitment of distinct motor unit populations. *J Appl Physiol* (1985). 2003;95(3): 1045-1054.
- [40] 廖翊宏,陈宗与,林信甫,等.急性阻力运动促进肌肉蛋白质合成之生理与分子机制之探讨[J].*运动生理暨体能学报*,2010,1(10):13-28.
- [41] BAHREINIPOUR MA, JOUKAR S, HOVANLOO F, et al. Mild aerobic training with blood flow restriction increases the hypertrophy index and MuSK in both slow and fast muscles of old rats: Role of PGC-1 α . *Life Sci*. 2018;202:103-109.
- [42] LOENNEKE JP, FAHS CA, ROSSOW LM, et al. The anabolic benefits of venous blood flow restriction training may be induced by muscle cell swelling. *Med Hypotheses*. 2012;78(1):151-154.
- [43] TAKANO H, MORITA T, IIDA H, et al. Hemodynamic and hormonal responses to a short-term low-intensity resistance exercise with the reduction of muscle blood flow. *Eur J Appl Physiol*. 2005;95(1): 65-73.
- [44] TAKARADA Y, NAKAMURA Y, ARUGA S, et al. Rapid increase in plasma growth hormone after low-intensity resistance exercise with vascular occlusion. *J Appl Physiol* (1985). 2000;88(1): 61-65.
- [45] TAKARADA Y, TSURUTA T, ISHII N. Cooperative effects of exercise and occlusive stimuli on muscular function in low-intensity resistance exercise with moderate vascular occlusion. *Jpn J Physiol*. 2004;54(6): 585-592.
- [46] HAYASHI AA, Proud CG. The rapid activation of protein synthesis by growth hormone requires signaling through mTOR. *Am J Physiol Endocrinol Metab*. 2007;292(6): E1647-E1655.
- [47] TAKARADA Y, TAKAZAWA H, ISHII N. Applications of vascular occlusion diminish disuse atrophy of knee extensor muscles. *Med Sci Sports Exerc*. 2000;32(12): 2035-2039.
- [48] STITT TN, DRUJAN D, CLARKE BA, et al. The IGF-1/PI3K/Akt pathway prevents expression of muscle atrophy-induced ubiquitin ligases by inhibiting FOXO transcription factors. *Molecular Cell*. 2004;14(3):395-403.
- [49] ADAMS GR. Autocrine/paracrine IGF-I and skeletal muscle adaptation. *J Appl Physiol* (1985).2002;93(3):1159-1167.
- [50] JANSSEN I, BAUMGARTNER RN, ROSS R, et al. Skeletal muscle cutpoints associated with elevated physical disability risk in older men and women. *Am J Epidemiol*.2004;159(4): 413-421.
- [51] MANINI TM, YARROWJF, BUFOROT W, et al. Growth hormone responses to acute resistance exercise with vascular restriction in young and old men. *Growth Horm IGF Res*.2012;22(5):167-172.
- [52] 梁国栋,刘礼,宾印笑.加压训练:改善肌肉功能的生理机制及提升心血管功能的可行性分析[J].*体育世界(学术)*,2018,775(1):179-180.
- [53] ABE T, KEARNS CF, SATO Y. Muscle size and strength are increased following walk training with restricted venous blood flow from the leg muscle, Kaatsu-walk training. *J Appl Physiol* (1985). 2006;100(5):1460-1466.
- [54] 林珏生,许文彦,郑景峰.血流限制搭配低强度耐力训练对肌肉与心肺适能影响之探讨[J].*中华体育季刊*,2018,35(2):139-150.
- [55] PATTERSON SD, FERGUSON RA. Enhancing strength and postocclusive calf blood flow in older people with training with blood-flow restriction. *Aging Phys Act*. 2011;19(3): 201-213.
- [56] OZAKI H, SAKAMAKI M, YASUDA T, et al. Increases in thigh muscle volume and strength by walk training with leg blood flow reduction in older participants. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2011;66(3): 257-263.
- [57] CLARKSON MJ, CONWAY L, WARMINGTON SA. Blood flow restriction walking and physical function in older adults: A randomized control trial. *J Sci Med Sport*.2017;20(12):1041-1046.
- [58] REMES T, VAISANEN SB, MAHONEN A, et al. Aerobic exercise and bone mineral density in middle-aged Finnish men: a controlled randomized trial with reference to androgen receptor, aromatase, and estrogen receptor gene polymorphisms. *Bone*.2003;32(4): 412-420.
- [59] LOENNEKE JP, THROWER AD, BALAPU A, et al. Blood flow restricted walking does not result in an accumulation of metabolites. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2012;32(1):80-82.
- [60] RUSSO CR, LAYRETANI F, BANDINELLI S, et al. Aging bone in men and women: beyond changes in bone mineral density. *Osteoporos Int*. 2003;14:531-538.
- [61] FUJIMURA R, ASHIZAWA N, WATANABE M, et al. Effect of resistance exercise training on bone formation and resorption in young male subjects assessed by biomarkers of bone metabolism. *Bone Miner Res*. 1997;12:656-662.
- [62] SAHANA H, KHAJURIA DK, RAZDAN R, et al. Improvement in bone properties by using risedronate adsorbed hydroxyapatite novel nanoparticle based formulation in a rat model of osteoporosis. *J Biomed Nanotechnol*. 2013;9(2):193-201.
- [63] 李卓倩,魏文哲,赵之光,等.低强度抗阻运动中不同程度血流限制对血清生长激素和睾酮分泌量的影响[J].*中国体育科技*,2019,9(55): 2-6.