

## 血流限制训练对老年人肌肉力量、质量和躯体能力改变影响的 Meta 分析

潘玮敏<sup>1</sup>, 王兵<sup>2</sup>, 韩亚兵<sup>3</sup>, 李婷<sup>3</sup>, 宋嘉琦<sup>3</sup>, 覃华生<sup>4</sup>, 刘洋<sup>3</sup><https://doi.org/10.12307/2023.097>

投稿日期: 2021-12-09

采用日期: 2022-04-26

修回日期: 2022-05-23

在线日期: 2022-06-20

中图分类号:

R459.9; R318; R319

文章编号:

2095-4344(2023)05-00805-08

文献标识码: A

文章快速阅读: 不同方式血流限制训练老年人肌肉力量、质量及躯体能力综合影响的差异

荟萃分析:

- (1) 低负荷血流限制训练 vs. 高负荷抗阻训练;
- (2) 低负荷血流限制训练 vs. 低负荷抗阻训练;
- (3) 血流限制性步行训练 vs. 步行训练。

评价指标:

- (1) 肌肉力量;
- (2) 肌肉质量;
- (3) 躯体能力。

结论:

- (1) 低负荷血流限制训练可有效提高老年人肌肉质量和肌肉力量;
- (2) 血流限制性步行可显著改善老年人的肌肉力量和躯体能力。

文题释义:

**血流限制训练:** 应用加压装置对肢体实施外部加压限制静脉血液回流, 并辅以肌肉运动, 可促进肌肉功能改善。血流限制训练目前已被应用于康复及临床干预疾病领域。

**肌肉质量:** 即肌肉量, 指去除全身脂肪组织、骨矿组织和内脏器官后的肌肉组织量。

摘要

**目的:** 通过系统评价目前应用于老年人群不同方式血流限制训练对肌肉力量、肌肉质量及躯体能力的综合影响, 旨在为科学应用血流限制训练防治老年性肌减症提供理论依据。

**方法:** 计算机检索PubMed, Embase, Cochrane Library及中国知网、万方、维普和CBM数据库, 搜索并收集关于血流限制训练对老年人肌肉力量、肌肉质量和躯体能力影响的随机对照试验, 文献发表时间为各数据库建库至2021年8月, 至少2名评价员利用Cochrane协作网推荐的偏倚评估工具对纳入的文献进行文献质量评估, 采用RevMan 5.4软件对相关数据进行Meta分析。评价指标包括肌肉力量、肌肉质量和躯体能力3个连续性变量, 对纳入文献中结局指标的不同测试方法进行亚组分析。

**结果:** ①共纳入16项随机对照试验, 共348例受试者, 文献质量分级依据Cochrane协作网偏倚风险评价工具, 结果显示有11篇研究为B级, 其他5篇为C级。②Meta分析结果显示: 与高负荷抗阻训练相比较, 低负荷血流限制训练对提高老年人的肌肉力量( $SMD=-0.14$ , 95%CI:  $-0.34-0.06$ ,  $P=0.17$ )和肌肉质量( $SMD=0.08$ , 95%CI:  $-0.23-0.40$ ,  $P=0.60$ )具有相同的效果; 与低负荷抗阻训练相比, 低负荷血流限制训练显著提高肌肉力量( $SMD=0.57$ , 95%CI:  $0.28-0.87$ ,  $P=0.0002$ ); 与步行训练相比, 血流限制-步行显著提高肌肉力量( $SMD=0.62$ , 95%CI:  $0.32-0.91$ ,  $P<0.0001$ ), 但肌肉质量( $SMD=0.28$ , 95%CI:  $-0.01-0.57$ ,  $P=0.06$ )和躯体能力( $SMD=0.61$ , 95%CI:  $-0.04-1.26$ ,  $P=0.07$ )没有显著变化。③亚组分析结果显示: 异质性降低, 采用最大自主收缩( $SMD=0.95$ , 95%CI:  $0.25-1.65$ ,  $P=0.008$ )和等速力矩( $SMD=0.80$ , 95%CI:  $0.16-1.45$ ,  $P=0.01$ )测试肌肉力量时, 低负荷血流限制训练明显优于低负荷抗阻训练; 应用躯体功能( $SMD=0.94$ , 95%CI:  $0.35-1.52$ ,  $P=0.002$ )评估躯体能力, 血流限制性步行较步行训练显著提升。

**结论:** 现有的16项随机对照试验证据表明, 与传统抗阻训练和步行相比, 低负荷血流限制训练和血流限制性步行可增加老年人肌肉力量和肌肉质量。尽管对躯体能力的改善还需大样本量试验进一步深入研究, 但低负荷血流限制训练和血流限制性步行可作为延缓老年性肌减症的有效手段。

**关键词:** 老年人; 血流限制训练; 抗阻训练; 步行; 肌肉力量; 肌肉质量; 躯体能力; Meta分析

## Effects of blood flow restriction training on muscle strength, muscle mass and physical performance in older adults: a Meta-analysis

Pan Weimin<sup>1</sup>, Wang Bing<sup>2</sup>, Han Yabing<sup>3</sup>, Li Ting<sup>3</sup>, Song Jiaqi<sup>3</sup>, Qin Huasheng<sup>4</sup>, Liu Yang<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Sports and Health Science School, <sup>2</sup>Graduate School, Xi'an Physical Education University, Xi'an 710068, Shaanxi Province, China; <sup>3</sup>Basic Science School, Xi'an Technological University, Xi'an 710021, Shaanxi Province, China; <sup>4</sup>Physical Education Department, Shaanxi Xueqian Normal University, Xi'an 710100, Shaanxi Province, China

Pan Weimin, PhD, Professor, Sports and Health Science School, Xi'an Physical Education University, Xi'an 710068, Shaanxi Province, China

**Corresponding author:** Pan Weimin, Sports and Health Science School, Xi'an Physical Education University, Xi'an 710068, Shaanxi Province, China

西安体育学院, <sup>1</sup>运动与健康科学学院, <sup>3</sup>研究生部, 陕西省西安市 710068; <sup>2</sup>西安工业大学基础学院, 陕西省西安市 710021; <sup>4</sup>陕西学前师范学院体育学院, 陕西省西安市 710100

**第一作者:** 潘玮敏, 女, 1974年生, 汉族, 陕西省咸阳市人, 2009年中国人民解放军空军军医大学(原第四军医大学)毕业, 博士, 教授, 主要从事运动医学与健康研究。

**通讯作者:** 潘玮敏, 西安体育学院运动与健康科学学院, 陕西省西安市 710068

<https://orcid.org/0000-0003-4699-3012> (潘玮敏)

**基金资助:** 陕西省社会科学基金项目(2019R020), 项目负责人: 潘玮敏

**引用本文:** 潘玮敏, 王兵, 韩亚兵, 李婷, 宋嘉琦, 覃华生, 刘洋. 血流限制训练对老年人肌肉力量、质量和躯体能力改变影响的 Meta 分析 [J]. 中国组织工程研究, 2023, 27(5):805-812.



## Abstract

**OBJECTIVE:** To systematically evaluate the effects of low-load blood flow restriction training and walking training with blood flow restriction on muscle strength, muscle mass and physical performance in older adults, thereby providing a theoretical basis for the scientific application of blood flow restriction to the prevention and treatment of senile sarcopenia.

**METHODS:** A computer-based search was conducted in PubMed, Embase, Cochrane Library, CNKI, WanFang, VIP, and CBM. Randomized controlled trials regarding the effects of blood flow restriction training on muscle mass, muscle strength and physical performance in older adults were included from inception to August, 2021. The literature quality was assessed using the bias assessment tool recommended by the Cochrane Collaboration by at least two evaluators and RevMan5.4 software was used to conduct meta-analysis of relevant data. Evaluation indicators contained three continuous variables including muscle strength, muscle mass and physical performance. Subgroup analysis was carried out for different test methods of outcome indicators included in the literature

**RESULTS:** A total of 16 randomized controlled trials, including 348 patients in total, were included according to the inclusion criteria. The quality of the literature was graded according to the Cochrane Collaboration's risk of bias assessment tool, including 11 studies of grade B and 5 of grade C. The results of Meta-analysis showed that compared with high-load resistance training, low-load blood flow restriction training could improve muscle strength [standardized mean difference (SMD)=-0.14, 95% confidence interval (CI):-0.34-0.06, P=0.17] and muscle mass (SMD=0.08, 95% CI: -0.23-0.40, P=0.60) in older adults; compared with low-load resistance training, low-load blood flow restriction training and walking training with blood flow restriction could significantly improve muscle strength (SMD=0.57, 95% CI: 0.28-0.87, P=0.000 2); compared with walking training, walking blood flow restriction training significantly could improve muscle strength (SMD=0.62, 95% CI: 0.32-0.91, P<0.000 1), but there was no significant change in muscle mass (SMD=0.28, 95% CI: -0.01-0.57, P=0.06) and physical performance (SMD=0.61, 95% CI: -0.04-1.26, P=0.07). The results of subgroup analysis showed that heterogeneity was reduced. The muscle strength via low-load blood flow restriction training and walking training with blood flow restriction was significantly better than that via low-load training by means of maximum voluntary contraction (SMD=0.95, 95% CI: 0.25-1.65, P=0.008) and isokinetic torque testing (SMD=0.80, 95% CI: 0.16-1.45, P=0.01), and the physical performance via walking training with blood flow restriction was significantly better than that via walking training by means of physical function evaluation (SMD=0.94, 95% CI: 0.35-1.52, P=0.002).

**CONCLUSION:** Meta-analysis results of the existing 16 randomized controlled trials indicate that compared with the traditional resistance training and walking training, low-load blood flow restriction training and walking training with blood flow restriction can also increase muscle strength and muscle mass in older adults. Although the large-scale randomized controlled trials are still needed on the improvement of physical performance, low-load blood flow restriction training and walking training with blood flow restriction could be good ways to prevent elder population from sarcopenia.

**Key words:** older adults; blood flow restriction training; resistance training; walking; muscle strength; muscle mass; physical performance; Meta-analysis

**Funding:** the Social Science Foundation of Shaanxi Province, No. 2019R020 (to PWM)

**How to cite this article:** PAN WM, WANG B, HAN YB, LI T, SONG JQ, QIN HS, LIU Y. Effects of blood flow restriction training on muscle strength, muscle mass and physical performance in older adults: a Meta-analysis. *Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu*. 2023;27(5):805-812.

## 0 引言 Introduction

近年来中国居民老龄人口比例日益增加,而老龄人群中肌减症发生率可高达10%~20%,其主要表现为与年龄相关的肌肉质量减少,同时还存在肌肉力量和/或躯体功能下降,使此人群发生跌倒、残疾以及丧失生活自理能力的风险增加<sup>[1]</sup>,而老年人群身体活动匮乏则对肌肉质量和收缩功能产生进一步负性影响,从而促进肌减症的发生发展。因此老年人通过适宜运动,增加身体活动是获得和维持肌力及肌肉量、保持躯体能力的有效途径。研究已证实,抗阻运动防治老年性肌减症的效果优于有氧运动,≥70%1RM (one repetition maximum) 的高负荷抗阻训练 (high-load resistance training, HL) 已被证实可维持和增加肌肉力量和质量,是干预老年肌减症的有效方法<sup>[2]</sup>。但是,老年人群由于大多伴随心脑血管疾病、糖尿病或肌骨系统慢性疾病等,无法完成或承受HL训练中的高负荷,而且可能造成肌骨损伤,增加发生心血管系统不良事件的风险。鉴于老年人群生理特征,近年来血流限制训练因低负荷及简便操作吸引了学者的关注。

血流限制 (blood flow restriction, BFR) 训练通过对肢体近端进行外部加压,闭塞静脉血液的回流,同时辅以低负荷的肌肉训练。大量研究已证实血流限制训练可获得与HL训练相似的肌肉功能改善效果,包括肌肉力量增加和质量提升<sup>[3]</sup>,然

而这些研究大多集中在运动员及运动活跃的成年人,关于老年人血流限制训练的研究仍然较少。另一方面,尽管目前国内外应用于老年人群常见的血流限制训练方式,包括20%~30%1RM的低负荷血流限制训练 (low-load blood flow restriction training, LL-BFR) 及血流限制性步行训练 (血流限制-步行),均已被证实安全性以及对肌肉力量及质量改善的有效性,但是少有血流限制训练对老年人群肌肉力量、肌肉质量以及躯体能力的综合评估。躯体能力综合反映人体运动力量、耐力、平衡、移动等方面能力,是日常生活基本活动所必需。研究发现伴随年龄增长躯体能力呈现隐匿性下降,其主要机制可能为老龄化导致的骨骼肌减少,进而影响人体下肢的运动能力和躯体功能,不仅增加老年人跌倒风险,降低生活质量,而且提升此人群死亡风险,因此躯体能力评估是老年人群肌肉功能评估的重要组成部分<sup>[4]</sup>。但现有血流限制训练主要针对对老年人肌肉力量及质量影响,对躯体能力影响研究较少,而且缺乏针对血流限制训练与传统抗阻训练及步行训练对肌肉力量、肌肉质量及躯体能力的综合评估。

因此,文章系统收集了目前国内外有关血流限制训练对老年人肌肉力量、肌肉质量和躯体能力影响的比较研究,运用Meta分析的方法进行研究,以期为不同方式血流限制训练合理、科学应用于老年人群提供更多的循证医学依据。

## 1 资料和方法 Data and methods

### 1.1 文献检索策略

1.1.1 检索者 文献检索由第三、五作者完成,文献筛选由第四、七作者完成,完成后对文献进行交叉核对。文献的筛选严格按照纳入标准与排除标准,如发生分歧,则通过小组讨论或交给第3位研究员进行协商解决。

1.1.2 资料库 计算机检索PubMed、Embase、Cochrane Library、中国知网、万方、维普和CBM数据库的相关文献。

1.1.3 检索词 中文检索词:“老年人、老年肌减少症、肌少症、骨骼肌减少症、肌肉减少症、肌减症、血流限制疗法、血流限制训练、加压训练、血流限制、加压血流阻滞训练”;英文检索词:“aged, sarcopeni\*, blood flow restriction”。

1.1.4 检索时间范围 各数据库建库至2021年8月。

1.1.5 文献检索策略 以PubMed数据库为例,采用MeSH主题词与自由词相结合原则,其具体检索策略,见图1。此外,追溯纳入文献的参考文献,补充获取相关文献。

### 1.2 纳入与排除标准

1.2.1 纳入标准 ①国内外以中英文语种公开发表的随机对照试验;②样本平均年龄≥60.0岁,受试者无先天性肌肉疾病或与肌肉萎缩相关疾病,无服用影响肌肉力量和肌肉质量的药物;③试验组采用血流限制训练或血流限制-步行,对照组采

```
#1 aged [MeSH Terms]
#2 elderly[Title/Abstract]
#3 older[Title/Abstract]
#4 senior[Title/Abstract]
#5 age-related[Title/Abstract]
#6 #1 OR #2 OR #3 OR #4 OR #5
#7 sarcopeni* [Title/Abstract]
#8 muscle atrophy[Title/Abstract]
#9 muscle weakness[Title/Abstract]
#10 muscle less[Title/Abstract]
#11 #7 OR #8 OR #9 OR #10
#12 #6 OR #11
#13 blood flow restriction[Title/Abstract]
#14 vascular occlusion[Title/Abstract]
#15 KAATSU[Title/Abstract]
#16 occlusion training[Title/Abstract]
#17 ischemic training[Title/Abstract]
#18 #13 OR #14 OR #15 OR #16 OR #17
#19 #12 AND #18
```

图 1 | PubMed 数据库检索策略  
Figure 1 | Search strategy of PubMed database

用传统阻力训练或步行，其他研究设计两组相同；④结局指标：至少包括以下一项：肌肉力量、肌肉质量或躯体能力。

1.2.2 排除标准 ①重复发表的文献；②动物性实验；③无法获取原始数据或数据不完整的研究；④无法获得全文；⑤队列研究、个案报道和综述类文章。

1.3 文献筛选与资料提取 文献筛选和资料提取由 2 名研究人员分别独立完成，并交叉核对和讨论，当出现分歧时，由第 3 位研究员介入仲裁。资料提取内容主要包括：①第一作者、发表年份、国家；②试验对象的基线资料、样本量、干预措施、不良反应、随访时间和结局指标。

1.4 文献质量评价 由 2 名研究者独立采用 Cochrane 协作网 (<https://training.cochrane.org/handbook>) 随机对照试验偏倚风险评价工具评价纳入随机对照试验的偏倚风险，当评价意见出现差异时，由第 3 名研究员介入裁决。评判标准包括：①是否正确使用随机方法；②是否正确采用分配隐藏；③对患者是否正确采用盲法；④对研究人员是否正确使用盲法；⑤结果及数据是否完整；⑥结果是否具有选择性报告；⑦是否存在相关偏倚<sup>[5]</sup>。依据 7 部分将纳入文献质量分为 A, B, C 级：若文献的每一项标准均为低偏倚，则为 A 级，若 1 项或 2 项标准为未知或高偏倚，则为 B 级，若 2 项以上的标准为未知或高偏倚，则为 C 级。

1.5 结局指标 主要结局指标包括肌肉力量、肌肉质量及躯体能力。

1.6 统计学分析 采用 Cochrane Library 协作网提供的 RevMan 5.4 软件 (<https://training.cochrane.org/onlinelearning/core-software-cochrane-reviews/revman/revman-5-download>) 对纳入研究进行数据

处理和分析。纳入文献若需要计算差值标准差 (SD change)，则按照如下公式计算 (公式中  $Corr$  为相关系数， $SD_{baseline}$  为基线标准差， $SD_{final}$  为终点标准差)。

$$SD_{change} = \sqrt{SD_{baseline}^2 + SD_{final}^2 - 2 \times Corr \times SD_{baseline} \times SD_{final}}$$

连续性变量采用均数差 (mean difference, MD) 表示，若单位不统一采用标准化均数差 (standardized mean difference, SMD) 表示，二分类变量采用比值比 (odds ratio, OR) 作为效应量，两者均以 95%CI 表示。纳入研究的异质性用  $\chi^2$  和  $I^2$  检验进行分析<sup>[6]</sup>，当异质性检验为  $P > 0.1$ ， $I^2 \leq 50\%$ ，表示各研究间不存在异质性，使用固定效应模型；若  $P \leq 0.1$ ， $I^2 > 50\%$ ，表示各研究间存在异质性，使用随机效应模型。当各组间研究出现异质性时，采用亚组分析异质性来源，即通过结局指标的不同测试方法分组，进行计算分析异质性检验  $P$  值与  $I^2$  值。此外，为检验 Meta 分析的可靠性，采用以下 2 种敏感性分析方法进行敏感性分析：①改变计算分析模型，分别采用随机效应模型与固定效应模型进行分析，并分别计算 Meta 分析结果；②逐一排除文献，并检验每篇文章对合并效应是否存在显著性影响。 $P < 0.05$  表示差异有显著性意义。最后通过绘制漏斗图来判断发表偏倚。

## 2 结果 Results

2.1 文献检索结果 按照上述检索策略共检索到 3 312 篇相关文献，外文数据库共 3 181 篇，中文数据库 131 篇，利用 EndNote 软件去除重复的文献后剩余 3 037 篇，根据纳入及排除标准，通过阅读文题及摘要，将明显不符合的文献排除后得到 79 篇，再通过仔细阅读全文，最终纳入分析的文献有 16 篇<sup>[7-22]</sup>，见图 2。

2.2 纳入研究基本特征 纳入的 16 篇文献均为英文文献<sup>[7-22]</sup>，共 348 例受试者。

16 篇文献中有 8 篇文献比较了 LL-BFR 和 HL 训练<sup>[8-9, 11-13, 19-20, 22]</sup>，有 4 篇比较了 LL-BFR 和低负荷抗阻 (low-load resistance training, LL) 训练<sup>[12, 16-17, 21]</sup>，其中有 1 篇文献将 LL-BFR 分别与 HL 训练和 LL 训练进行了比较<sup>[12]</sup>，有 5 篇比较了血流限制步行和步行训练<sup>[7, 10, 14-15, 18]</sup>，见表 1。

2.3 纳入文献质量评估结果 采用 Cochrane 协作网的偏倚风险评价工具对纳入的文献进行评分。共有 11 篇研究说明采用随机方法进行分组<sup>[7-9, 12-13, 15, 17-18, 20-22]</sup>，3 篇研究介绍了随机分组的具体方法<sup>[8, 12, 17]</sup>，5 篇未提及随机方法<sup>[10-11, 14, 16, 19]</sup>，8 篇进

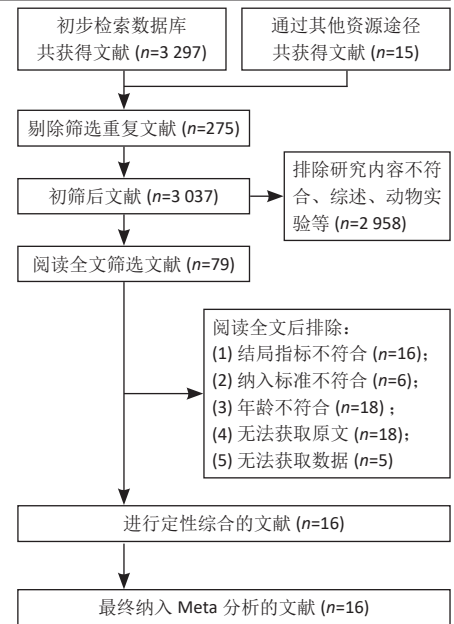


图 2 | 文献筛选流程图  
Figure 2 | Flow chart of literature screening

行了分配隐藏<sup>[7-9, 12, 17-18, 20-21]</sup>，9 篇研究均未对研究者和受试者实施盲法，但都进行了基线比较，研究数据结果均为完整<sup>[8-9, 13, 17-22]</sup>，9 篇研究对结局评价者施盲<sup>[7, 9, 11, 13-16, 21-22]</sup>，所有文献均没有不完整数据报告。文献质量分级：11 篇研究为 B 级<sup>[7-9, 12-16, 18, 20-21]</sup>，其他均为 C 级，见图 3, 4。

2.4 Meta 分析结果 文章对纳入的 16 篇文献进行 Meta 分析<sup>[7-22]</sup>。将 LL-BFR 训练分别与 HL 训练和 LL 训练在肌肉力量、肌肉质量及躯体能力方面进行比较，此外还比较了血流限制-步行和步行训练之间的差异。

2.4.1 LL-BFR 和 HL 训练对肌肉力量的影响 纳入的 16 篇文献中有 8 篇文献 (20 组数据) 比较了 LL-BFR 和 HL 训练对肌肉力量的影响<sup>[8-9, 11-13, 19-20, 22]</sup>。异质性检验： $P=0.96$ ， $I^2=0\%$ ，无异质性存在，采用固定效应模型。Meta 分析结果显示，两组之间无显著性差异 ( $SMD=-0.14$ ，95%CI:  $-0.34-0.06$ ， $P=0.17$ )，见图 5。

有 5 篇文献 (9 组数据) 比较了 LL-BFR 和 HL 训练对肌肉质量的影响<sup>[8-9, 13, 19-20]</sup>。异质性检验： $P=1.00$ ， $I^2=0\%$ ，无异质性存在，采用固定效应模型。Meta 分析结果显示，两组之间无显著性差异 ( $SMD=0.08$ ，95%CI:  $-0.23-0.40$ ， $P=0.60$ )，见图 6。

仅有 1 篇文献比较了 LL-BFR 和 HL 训练对躯体能力的影响<sup>[8]</sup>，无法进行定量分析，结果显示两种干预方法可改善 400 m 步速、SPPB 评估中的 4.0 m 定时行走时间及端立起坐时间，但与对照组相比无显著性差异。

表 1 | 纳入文献的基本特征

Table 1 | General information of the included studies

第一作者	发表年份	样本量 (T/C, n)	性别 (男/女, n)	年龄 (X±s, T/C, 岁)	干预措施		疗程 (周)	不良反应	随访时间	结局指标
					T	C				
CLARKSON <sup>[7]</sup>	2017	19(10/9)	11/8	69.0±6.0/ 70.0±7.0	BFR 步行 (4 km/h, 场地)	步行 (4 km/h, 场地)	6	无	无	⑧⑩
COOK <sup>[8]</sup>	2017	24(12/12)	10/14	76.7±8.4/ 76.5±6.6	LL-BFR (30%-50%1RM)	HL (70%1RM)	12	无	无	①②⑤ ⑧⑩
COOK <sup>[9]</sup>	2019	21(10/11)	9/12	76.4±6.6/ 76.3±8.7	LL-BFR (30%-50%1RM)	HL (70%1RM)	12	无	无	①②⑤
KARGARAN <sup>[10]</sup>	2021	16(8/8)	0/16	62.9±3.1/ 62.9±3.1	BFR 步行 (45%HRR, 跑台)	步行 (45%HRR, 跑台)	8	无	无	⑦⑧ ⑨⑩
KIM <sup>[11]</sup>	2017	19(9/10)	-	63.0±1.0/ 63.0±1.0	LL-BFR (20%MVC)	HL(75%MVC)	4	无	无	④
LETIERI <sup>[12]</sup>	2018	21(11/10)	0/21	69.4±5.7/ 66.75±4.4	LL-BFR (20%-30%1RM)	HL (70%-80%1RM)	16	无	6周	③
		23(11/12)	0/23	69.4±5.7/ 71.27±4.7	LL-BFR (20%-30%1RM)	LL (20%-30%1RM)	16	无	6周	③
LIBARDI <sup>[13]</sup>	2015	18(10/8)	-	64.0±4.0/ 65.0±3.7	LL-BFR (20%-30%1RM)	HL (70%-80%1RM)	12	无	无	①⑤
OZAKI <sup>[14]</sup>	2011	23(13/10)	5/18	66±3.6/ 68±3.2	BFR 步行 (45%HRR, 跑台)	步行 (45%HRR, 跑台)	10	无	无	③⑤
OZAKI <sup>[15]</sup>	2011	18(10/8)	0/18	64±3.2/ 68±2.8	BFR 步行 (45%HRR, 跑台)	步行 (45%HRR, 跑台)	10	无	无	③⑤ ⑧⑩
PATTERSON <sup>[16]</sup>	2011	20(10/10)	16/4	67.0±3.0/ 67.0±3.0	LL-BFR (25%1RM)	LL (25%1RM)	4	无	无	①②③
SHIMIZU <sup>[17]</sup>	2016	40(20/20)	33/7	72.0±4.0/ 70.0±4.0	LL-BFR (20%1RM)	LL (20%1RM)	4	无	无	①
ABE <sup>[18]</sup>	2010	19(11/8)	4/15	60.0-78.0/ 60.0-78.0	BFR 步行 (45%HRR, 跑台)	步行 (45%HRR, 跑台)	6	无	无	③⑤⑦
THIEBAUD <sup>[19]</sup>	2013	14(6/8)	0/14	59±2/ 62±2	LL-BFR (10%-30%1RM)	HL (70%-90%1RM)	8	无	无	①⑥
VECHIN <sup>[20]</sup>	2015	16(8/8)	-	65.0±6.0/ 62.0±6.0	LL-BFR (30%-50%1RM)	HL (70%-80%1RM)	12	无	无	①⑤
YASUDA <sup>[21]</sup>	2015	17(9/8)	3/14	71.8±6.2/ 68.0±5.1	LL-BFR (20%-30%1RM)	LL (20%-30%1RM)	12	无	无	②⑤
YASUDA <sup>[22]</sup>	2016	20(10/10)	0/20	70±6/ 72±7	LL-BFR (35%-45%1RM)	HL (70%-90%1RM)	12	无	无	①②

表注: T 为试验组; C 为对照组; BFR 步行为血流限制性步行; LL-BFR 为低负荷血流限制; HL 为高负荷抗阻; LL 为低负荷抗阻; HRR 为心率储备; “-” 为文献中未提及。① 1RM/10RM 为重复 1 次或 10 次最大力量; ② MVC 为最大自主收缩; ③ 等速力矩; ④ 握力; ⑤ 肌肉质量; ⑥ 肌肉横截面积 (CSA); ⑦ 肌肉厚度; ⑧ 肌肉含量; ⑨ 躯体能力; ⑩ 躯体功能为 30 s 座椅站立和 SPBP (简易体能状况量表); ⑪ 平衡功能为强化 Romberg 测试; ⑫ 移动能力指标为 TUG、6 min 步行及步速

2.4.2 LL-BFR 和 LL 训练对肌肉力量的影响 纳入的 16 篇文献中有 4 篇 (13 组数据) 比较了 LL-BFR 和 LL 训练对肌肉力量的影响<sup>[12, 16-17, 21]</sup>。异质性检验:  $P=0.06$ ,  $I^2=42%$ , 采用固定效应模型。Meta 分析结果显示, 与 LL 训练相比, LL-BFR 训练对肌肉力量的提高具有显著性意义 ( $SMD=0.57$ ,  $95\%CI: 0.28-0.87$ ,  $P=0.0002$ ), 见图 7。

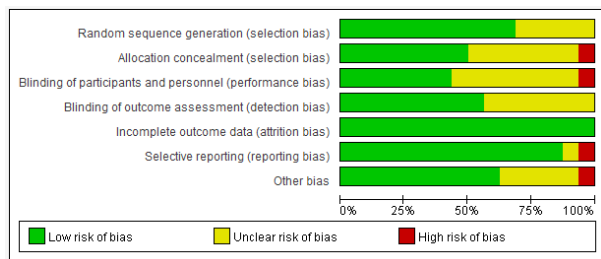
2.4.3 血流限制-步行和步行对肌肉力量的影响 纳入的 16 篇文献中有 3 篇 (10 组数据) 比较了血流限制-步行和步行训练对肌肉力量的影响<sup>[14-15, 18]</sup>。异质性检验:  $P=0.92$ ,  $I^2=0%$ , 无异质性存在, 采用固定效应模型。Meta 分析结果显示, 血流限制-步行训练相较于步行可显著增加肌肉力量 ( $SMD=0.62$ ,  $95\%CI: 0.32-0.91$ ,  $P<0.0001$ ), 见图 8。

有 4 篇文献 (10 组数据) 比较了血流限制-步行和步行训练对肌肉质量的影响<sup>[10, 14-15, 18]</sup>。异质性检验:  $P=1.00$ ,  $I^2=0%$ , 无异质性存在, 采用固定效应模型。Meta 分析结果显示, 两组之间无显著性差异 ( $SMD=0.28$ ,  $95\%CI: -0.01-0.57$ ,  $P=0.06$ ), 见图 9。

有 3 篇文献 (9 组数据) 比较了血流限制-步行和步行训练对躯体能力的影响<sup>[7, 10, 15]</sup>。异质性检验:  $P=0.0004$ ,  $I^2=72%$ , 异质性较高, 采用随机效应模型。Meta 分析结果显示, 两组之间无显著性差异 ( $SMD=0.61$ ,  $95\%CI: -0.04-1.26$ ,  $P=0.07$ ), 见图 10。

2.5 亚组分析结果 根据 Meta 分析结果显示, LL-BFR 和 LL 训练对肌肉力量影响存在异质性 ( $P=0.06$ ,  $I^2=42%$ ), 血流限制步行和步行训练对躯体能力影响存在异质性 ( $P=0.0004$ ,  $I^2=72%$ ), 考虑全部研究结局指标的测试方法不同可能是产生异质性的主要原因, 因此对该方面的异质性进行进一步分析。

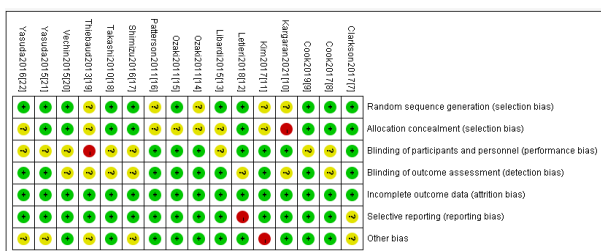
2.5.1 LL-BFR 和 LL 训练对肌肉力量影响的亚组分析结果 对肌肉力量的测试方法进行亚组分析: 2 篇文献采用 1RM 测试肌肉力量评估<sup>[16-17]</sup>, 2 篇文献采用 MVC 测试肌肉力量评估<sup>[16, 21]</sup>, 2 篇文献采用等速力矩测试肌肉力量评估<sup>[12, 16]</sup>。结果显示: ① 1RM 的分析结果无异质性 ( $I^2=0%$ ); ② MVC 的分析结果存在低异质性 ( $I^2=30%$ ); ③ 等速力矩的分析结果存在高异质性 ( $I^2=59%$ ), 提示在目前纳入研究中, 测试方法的不同是异质性来源的可能性较高。合并效应结果显示: 采用 MVC 测试时, LL-BFR 较 LL 训练增加肌肉力量, 且呈显著性差异 ( $P=0.008$ ); 采用等速力矩测试时, LL-BFR 较 LL 训练增加肌肉力量,



图注: “Low risk of bias” 为低偏倚风险; “Unclear risk of bias” 为偏倚风险未知; “High risk of bias” 为高偏倚风险

图 3 | 纳入文献的偏倚风险评价图

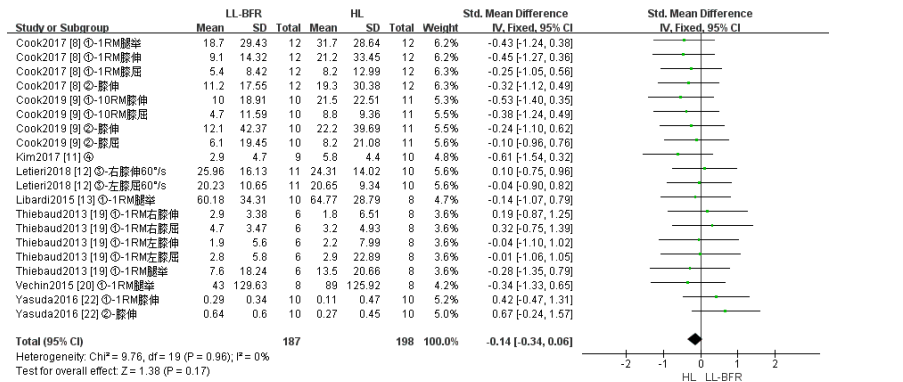
Figure 3 | Bias risk assessment of the included studies



图注: “+” 为低偏倚风险; “?” 为偏倚风险未知; “-” 为高偏倚风险

图 4 | 纳入文献的偏倚风险总结图

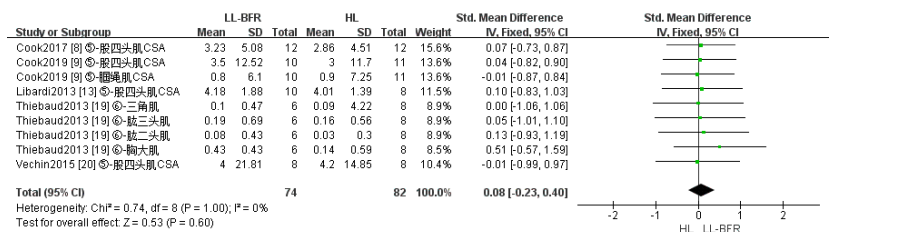
Figure 4 | Summary of bias risks of the included studies



图注: LL-BFR 训练和 HL 训练在增加肌肉力量方面无显著性差异 (P > 0.05); ①为 1RM/10RM; ②为 MVC; ③为等速力矩; ④为握力

图 5 | 高负荷抗阻训练 (HL) 和低负荷血流限制训练 (LL-BFR) 后患者肌肉力量相比较的 Meta 分析森林图

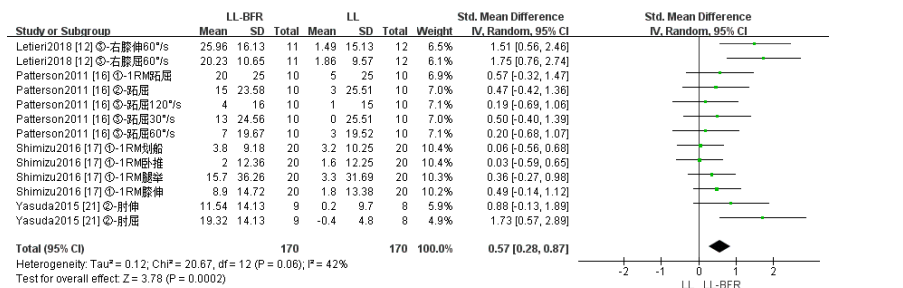
Figure 5 | Forest plot of low-load blood flow restriction training versus high-load resistance training on muscle strength



图注: LL-BFR 训练和 HL 训练在增加肌肉质量方面无显著性差异 (P > 0.05); ⑤为肌肉横截面积 (CSA); ⑥为肌肉厚度

图 6 | 高负荷抗阻训练 (HL) 和低负荷血流限制训练 (LL-BFR) 后患者肌肉质量相比较的 Meta 分析森林图

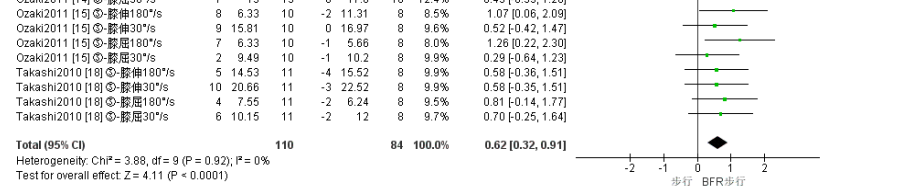
Figure 6 | Forest plot of low-load blood flow restriction training versus high-load resistance training on muscle mass



图注: 与 LL 训练相比, LL-BFR 训练显著增加肌肉力量 (P < 0.05); ①为 1RM; ②为 MVC; ③为等速力矩

图 7 | 低负荷抗阻训练 (LL) 和低负荷血流限制训练 (LL-BFR) 后患者组肌肉力量相比较的 Meta 分析森林图

Figure 7 | Forest plot of low-load blood flow restriction training versus low-load resistance training on muscle strength



图注: 与步行训练相比, 血流限制-步行显著增加肌肉力量 (P < 0.05); ③为等速力矩

图 8 | 血流限制-步行和步行训练组肌肉力量相比较的 Meta 分析森林图

Figure 8 | Forest plot of walking training with blood flow restriction versus walking training on muscle strength

且呈显著性差异 (P=0.01), 提示不同测试方法对结局指标可能存在影响, 见图 11。

2.5.2 血流限制步行和步行训练对躯体能力影响的亚组分析结果 对躯体能力的测试方法进行亚组分析: 3 篇文献采用躯体功能测试躯体能力 [7, 10, 15], 1 篇文献采用平衡功能测试躯体能力评估 [40], 3 篇文献采用移动能力测试躯体能力评估 [7, 10, 15]。结果显示: ①躯体功能的分析结果无异质性 (I<sup>2</sup>=0%); ②平衡功能只有一组数据, 无法分析异质性; ③移动能力的分析结果存在高异质性 (I<sup>2</sup>=84%), 分析可能原因是各研究测试方法及评估指标意义的不同导致。合并效应结果显示: 采用躯体功能测试时, 血流限制步行较步行训练躯体能力改善 (P=0.002), 提示不同测试方法对结局指标可能存在影响, 见图 12。

2.6 敏感性分析结果 文章为检验上述 Meta 分析结果是否稳定可靠, 分别对纳入的 16 篇文献进行敏感性分析 [7-22]。将纳入的文献逐一剔除后进行合并。结果表明, LL-BFR 和 HL 训练干预肌肉力量和肌肉质量、LL-BFR 和 LL 训练干预肌肉力量、肌肉质量的结果改变不明显, 证明研究结果较为稳健。而血流限制步行和步行训练干预躯体能力的结果出现了变化。

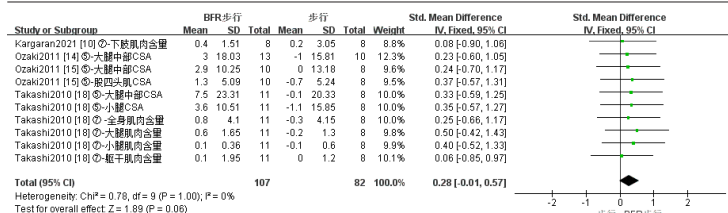
当剔除 KARGARAN 等 [10] 和 OZAKI 等 [15] 的两组研究数据后, 血流限制步行和步行训练对躯体能力影响的结果中 P 值变化较大 (P < 0.05), 说明这两项研究数据对总效应量影响较大, 见图 13。

2.7 发表偏倚分析 文章结果可见, LL-BFR 和 HL 训练中以肌肉力量为结局指标的文献最多, 故以其为例进行漏斗图分析, 见图 14, 漏斗图显示文献分布对称性欠佳, 表示可能存在一定发表偏倚。

### 3 讨论 Discussion

3.1 证据总结 文章共纳入 16 项研究, 探究了不同方式血流限制训练, 包括 LL-BFR 训练和血流限制-步行训练, 对老年人肌肉力量、肌肉质量和躯体能力的影响, 并与传统训练方式比较进行了量化分析。结果发现, 13 项研究显示血流限制训练在提高肌肉力量方面与传统训练效果类似, 其中, 8 项研究显示血流限制训练效果与 HL 训练相似, 5 项研究显示血流限制训练效果优于 LL 训练和步行训练。此外, 与传统训练相比, 6 项关于肌肉质量的研究和 4 项关于躯体能力的研究均显示出相似效果。

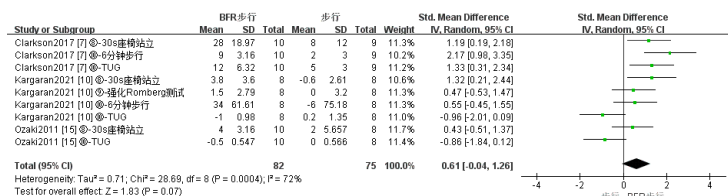
3.1.1 LL-BFR 训练与 HL 训练效果比较分析 文章结果表明, 通过 LL-BFR 训练, 老年人肌肉力量及质量可获得与 HL 训练相似



图注：血流限制-步行和步行训练在增加肌肉质量方面无显著性差异 ( $P > 0.05$ )；⑤为肌肉横截面积 (CSA)；⑦为肌肉含量

图 9 | 血流限制-步行和步行训练后患者肌肉质量相比较的 Meta 分析森林图

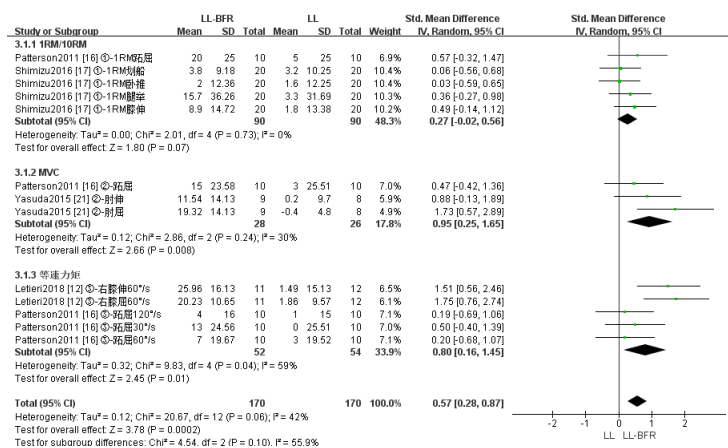
Figure 9 | Forest plot of walking training with blood flow restriction versus walking training on muscle mass



图注：血流限制步行和步行训练在改善躯体能力方面无显著性差异 ( $P > 0.05$ )；⑧为躯体功能：30 s 座椅站立；⑨为平衡功能：强化 Romberg 测试；⑩为移动能力：TUG, 6 min 步行

图 10 | 血流限制-步行和步行训练后患者躯体能力相比较的 Meta 分析森林图

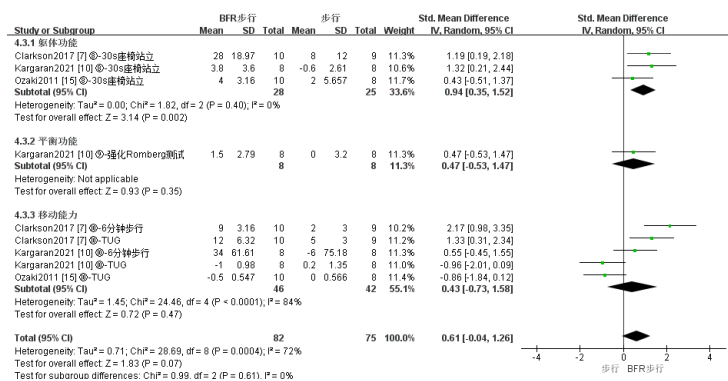
Figure 10 | Forest plot of walking training with blood flow restriction versus walking training on physical performance



图注：①为1RM；②为MVC；③为等速力矩

图 11 | 不同测试方法低负荷抗阻训练 (LL) 和低负荷血流限制训练 (LL-BFR) 后患者肌肉力量亚组分析的 Meta 分析森林图

Figure 11 | Forest plot of muscle strength subgroup analysis with different test methods in low-load blood flow restriction training and low-load resistance training groups



图注：⑧为躯体功能：30 s 座椅站立；⑨为平衡功能：强化 Romberg 测试；⑩为移动能力：TUG, 6 min 步行

图 12 | 不同测试方法血流限制步行和步行训练后患者躯体能力亚组分析的 Meta 分析森林图

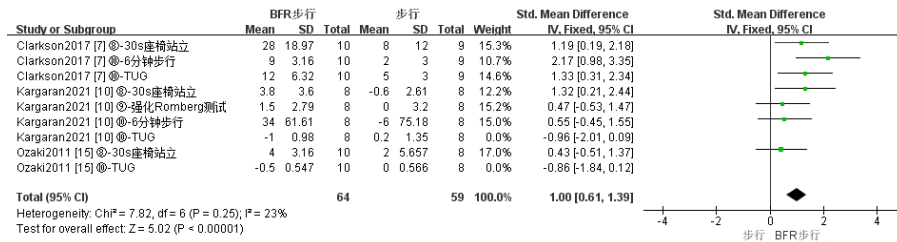
Figure 12 | Forest plot of physical performance subgroup analysis with different test methods in walking training with blood flow restriction and walking training groups

效果，这一点与以往研究的结论相同<sup>[23]</sup>。

HL 训练促进肌肉力量和质量增加主要是通过高负荷刺激募集更高水平高阈值运动单位参与<sup>[24]</sup>，这一点对于老年人，尤其是衰弱、并发多种慢性疾病、活动受限等老年人构成挑战。尽管 LL-BFR 训练改善肌肉力量及质量的具体机制目前尚不明确，但已有研究结果显示 LL-BFR 训练过程中缺血、缺氧环境导致代谢应激增加，包括乳酸、活性氧等积累，促进了生长激素等与肌肉合成代谢相关激素分泌，激活诱导肌肉生长的机制<sup>[25]</sup>。另一方面，FATELA 等<sup>[26]</sup>提出 LL-BFR 训练中的血流限制导致运动中运动单位募集模式的改变。有研究证实 LL-BFR 训练中肌肉低氧环境和代谢产物高堆积抑制了以有氧代谢为主的 I 型慢肌纤维募集，而动员了 II 型快肌纤维参与肌肉工作从而维持肌肉力量，并且提出由于 LL-BFR 训练负荷较小因而高阈值运动单位的募集是逐渐增加的<sup>[27]</sup>。上述研究结果被认为可能是老年人通过 LL-BFR 训练促进肌肉力量及质量获得良好训练效果的有利刺激，但以上机制研究大多来源于青年人群及健康人群，需要在老年人群中进一步验证。

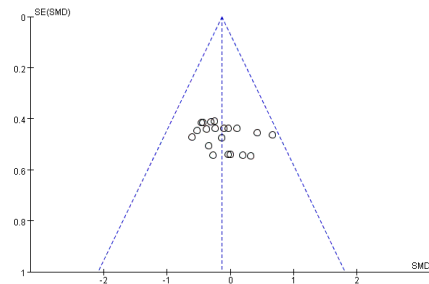
由于纳入与躯体能力相关文献仅有 1 篇，因而无法对 LL-BFR 训练和 HL 训练对老年人躯体能力影响做定量分析。纳入的 COOK 等<sup>[8]</sup>研究中比较了 12 周 LL-BFR 和 HL 下肢屈伸训练对有行动受限风险的 36 名老年人 (73.4–78.5 岁) 400 m 步速及简易肌体功能评估 (short physical performance battery; SPPB) 分值影响。研究结果发现与未干预的对照组相比，LL-BFR 和 HL 训练组干预 12 周后 400 m 步行速度有所提高，SPPB 中 4.0 m 定时行走时间及端坐起立试验也有明显改善，但无显著性意义。研究者认为一方面可能是受试人群训练后下肢肌肉力量增加还未达到提高步速及 SPPB 分值的阈值，另一方面认为与膝关节伸肌力量相比，跖肌屈肌力量增加对步行贡献较多，而试验中仅针对膝关节屈伸进行了抗阻训练。

3.1.2 LL-BFR 训练与 LL 训练效果比较分析与 LL 训练相比，文章发现 LL-BFR 训练可明显改善老年人肌肉力量，这与 GAVANDA 等<sup>[28]</sup>在健康成年人应用结果相一致。相同的低负荷下，由于血流限制的作用使骨骼肌较快疲劳，进而引起一系列低氧反应和代谢应激反应，增加了 II 型快肌纤维的募集，促进力量的增加。还有学者应用肌电图对 LL-BFR 训练中肌纤维募集进行研究，结果显示 LL-BFR 组肌肉的放电频率和幅度均显著大于 LL 对照组<sup>[29-30]</sup>。FRY 等<sup>[31]</sup>对健康男性老年人 [(70±2) 岁] 分别



图注：与步行训练相比，血流限制步行显著改善躯体能力 ( $P < 0.05$ )；⑧为躯体功能采用 30 s 座椅站立评估；⑨为平衡功能采用强化 Romberg 测试评估；⑩为移动能力采用 TUG 和 6 min 步行评估

图 13 | 血流限制步行和步行训练后患者躯体能力相比较的 Meta 分析森林图 (敏感性分析)



图注：文献较集中，但图形对称性欠佳，表示研究可能存在一定发表偏倚

图 14 | 低负荷血流限制和高负荷抗阻训练后患者肌肉力量的发表偏倚漏斗图

Figure 14 | Funnel plot of publication bias of low-load blood flow restriction training and high-load resistance training on muscle strength

进行 LL-BFR 训练及 LL 训练后，通过稳定同位素技术及免疫印迹法检测股外侧肌活检肌肉中肌肉蛋白合成量及雷帕霉素靶蛋白 (mammalian target of rapamycin, mTOR) 信号通路表达，进一步从分子机制进行分析。结果显示 LL-BRT 组肌肉蛋白合成量增加同时 mTOR 信号通路下游靶点 S6 激酶和核糖体蛋白 S6 磷酸化水平也显著升高，而 LL 组并未呈现。研究者认为与 LL 训练相比，LL-BRT 可通过激活调节骨骼肌生长的关键因素 mTOR 信号通路，促进肌肉蛋白质合成，更有利于肌肉力量的增加。但是，也有研究发现 LL-BFR 及 LL 训练至力竭后二者表现出相同的肌肉激活模式，分析可能由于运动至力竭所致，而且此研究发现要获得与 LL-BFR 相似的肌肉力量改善效果，LL 训练量则远大于 LL-BFR<sup>[32]</sup>。但此研究纳入对象为青年人，而实践中大运动量的 LL 训练对老年人来说易诱发肌骨损伤及过度训练的发生。此外，FRY 等<sup>[31]</sup> 在其实验中还观察到 LL-BFR 组训练后生长激素较 LL 显著增加，虽然此发现与以往研究结果一致，但研究者并不确定 LL-BFR 中生长激素的增加是否在激活 mTORC1 信号通路中发挥作用。

文章亚组分析结果发现，LL-BFR 和 LL 训练比较时不同的测试方法对肌肉力量指标可能存在影响。采用 MVC 测试和等速力矩测试均证实了 LL-BFR 和 LL 训练在肌肉力量变化方面的差异，而 1RM 测试却未能证实 LL-BFR 和 LL 训练在肌肉力量变化方面的差异，分析主要是纳入的 SHIMIZU 等<sup>[17]</sup> 研究利用 10RM 和公式估

算 1RM 来评估肌肉力量。1RM 测试虽然是一种可靠的评估肌肉力量的方法，但是在临床上 1RM 测试会导致老年人血流动力学不稳定或骨骼肌损伤<sup>[33]</sup>，因此有研究中采用估算方式得出结果反映肌肉力量变化的可靠性还需要进一步证实<sup>[34]</sup>。

纳入文献中仅有 YASUDA 等<sup>[21]</sup> 比较了老年人上肢 LL-BFR 训练与 LL 训练后肌肉力量的变化，研究结果发现 17 名老年人 (61-85 岁) 分别进行 12 周不同训练后，LL-BFR 训练可显著增加老年人上肢肌肉横截面积，而 LL 训练则未有明显变化。而且，纳入研究中没有 LL-BFR 和 LL 训练对老年人躯体能力的评估，因此未来研究需要更大样本量和更细致的评定方式进行研究，以进一步比较分析。

3.1.3 血流限制-步行训练与步行训练效果比较分析 老年人下肢力量的减弱致使其步行能力下降，增加了跌倒风险，因此维持和提高老年人步行能力对于其个体的生活质量非常重要。传统步行训练可通过增加下肢肌力、改善步行能力被老年人广为采纳。OZAKI 等<sup>[35]</sup> 研究发现 17 周的递增步行训练可明显提高老年人下肢肌肉的厚度及力量，但大多研究认为步行训练作为有氧运动对于肌肉力量的提升作用有限。文章对纳入的 5 项血流限制-步行与步行对比的研究进行分析，令人惊讶的是与传统步行训练相比，血流限制-步行明显促进老年人肌肉力量增加，主要原因可能是血流限制-步行训练中血流限制的加入对肌肉系统的合成代谢反应产生更积极的影响，促进了肌肉力量增加<sup>[36]</sup>。另一

方面，文章分析发现血流限制-步行训练虽然可改善老年人肌肉质量，但是与传统步行训练之间没有显著性差异，分析可能与纳入研究中部分运动策略设计的干预时间较短有关，SLYSZ 等<sup>[37]</sup> 通过 Meta 分析提出持续时间超过 8 周以上的训练干预可引起肌肉质量的改变。

躯体能力方面，Meta 分析结果显示血流限制-步行与步行训练无显著性差异；进一步进行敏感性分析发现，血流限制-步行训练优于步行训练，因此血流限制-步行训练能否改善老年人躯体能力需进一步研究明确。研究证实躯体能力与肌肉力量和肌肉质量相关，但是老年人躯体能力的评估是多维度的，不仅包含了躯体功能，而且包含了平衡功能和移动能力<sup>[38]</sup>。文章 Meta 结果显示虽然血流限制-步行训练增加了肌肉力量和肌肉质量，改善了躯体功能，但在平衡功能和移动能力方面未有显著改善，这可能是导致躯体能力改善不明显的原因。另外，由于涉及躯体能力的纳入文献较少，因此这一结论还有待验证。

此外亚组分析发现在血流限制-步行和步行训练关于躯体能力指标的结果中，躯体功能测试具有显著性差异，而平衡功能测试和移动能力测试无显著性差异。分析原因，躯体功能测试中的 30 s 座椅站立测试不仅是躯体功能的评估指标<sup>[39]</sup>，而且也可反映下肢肌肉力量<sup>[40]</sup>。在肌肉力量方面血流限制-步行显著高于步行训练，因此血流限制-步行在躯体功能方面的改善可能来源于下肢肌肉力量的改善。综上所述，血流限制-步行对久坐和体能下降的老年人来说是一种有效的训练方式选择。

3.2 研究的局限性 虽然该 Meta 分析纳入文献经过严格筛选和排除，但仍存在一定的局限性：①由于训练方案、测量方法的差异性，导致部分数据存在异质性，结果可能存在偏倚。②对躯体能力指标进行 Meta 分析时，LL-BFR 和 HL 训练、LL-BFR 和 LL 训练缺乏对躯体能力的研究数据，因此未进行 Meta 分析。③由于纳入与排除标准的严格，纳入文献均为英文文献，缺少中文文献。④纳入文献均为随机对照试验，未对队列研究等其他类型研究进行分析。⑤有部分研究未对分配隐藏、实施过程中的盲法详细说明，故可能存在选择偏倚和实施偏倚，这可能是造成纳入文献 B 级质量较多的原因。

3.3 适用性和对未来研究的启示 文章的结果提示，血流限制训练相较于传统训练在老年人肌肉功能维持和躯体能力改善方面的应用效果是可观的，对于老年医学和

康复医学的医师和治疗师来说, 可以将血流限制训练作为一种有效的训练方法应用于老年人。然而未来血流限制训练在老年人群应用策略的具体化和标准化(包括袖带压力、不同性别、训练的频次、训练持续时间等), 以及老年人群血流限制训练前的风险筛查的综合评估有待于进一步深入研究。

**3.4 结论** 血流限制性训练中 LL-BFR 与 HL 训练相似, 可促进老年人肌肉力量和肌肉质量增加。与 LL 训练相比, LL-BFR 训练在促进肌肉力量和质量增加方面更具有优势, 而血流限制-步行较步行训练可更好地改善老年人肌肉力量, 因此血流限制训练可应用于延缓老年性肌减症的发生发展。然而, 由于纳入文献数量较少, 躯体能力的结果还存在一定不确定性, 今后需要更多高质量及大样本随机试验来证实。

**致谢:** 感谢西安体育学院运动与健康科学学院老师和同学们为该研究提供的帮助。

**作者贡献:** 文章设计者为潘玮敏及王兵。资料收集者为韩亚兵、李婷、宋嘉琦及刘洋。数据分析者为韩亚兵、李婷及宋嘉琦。潘玮敏和韩亚兵撰写论文。王兵和覃华生审核。

**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中不存在利益冲突。

**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。

**版权转让:** 文章出版前全体作者与编辑部签署了文章版权转让协议。

**出版规范:** 文章撰写遵守了《系统综述和荟萃分析报告规范》(PRISMA 声明)。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表宗旨。

#### 4 参考文献 References

- [1] 姜珊, 康琳, 刘晓红. 2019 亚洲肌少症诊断及治疗共识解读 [J]. 中华老年医学杂志, 2020, 39(4):373-376.
- [2] FRAGALA MS, CADORE EL, DORGO S, et al. Resistance training for older adults: position statement from the national strength and conditioning association. *J Strength Cond Res.* 2019;33(8):2019-2052.
- [3] LORENZ DS, BAILEY L, WILK KE, et al. Blood Flow Restriction Training. *J Athl Train.* 2021;56(9):937-944.
- [4] WANG DXM, YAO J, ZIREK Y, et al. Muscle mass, strength, and physical performance predicting activities of daily living: a meta-analysis. *J Cachexia Sarcopenia Muscle.* 2020;11(1):3-25.
- [5] 汪洋. Cochrane 偏倚风险评估工具简介 [J]. 中国全科医学, 2019, 22(11):1322.
- [6] 刘鸣, 吴红梅, 卫茂玲. 系统评价、Meta-分析设计与实施方法 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2011:68-71.
- [7] 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.
- [8] COOK SB, LAROCHE DP, VILLA MR, et al. Blood flow restricted resistance training in older adults at risk of mobility limitation. *Exp Gerontol.* 2017; 99(1):138-145.
- [9] COOK SB, CLEARY CJ. Progression of blood flow restricted resistance training in older adults at risk of mobility limitations. *J Frontiers in Physiology.* 2019;12(6):738.
- [10] KARGARAN A, ABEDINPOUR A, SAADATMEHR Z, et al. Effects of dual-task training with blood flow restriction on cognitive functions, muscle quality, and circulatory biomarkers in elderly women. *J Physiol Behav.* 2021;239(1):113500.
- [11] KIM J, LANG JA, PILANIA N, et al. Effects of blood flow restricted exercise training on muscular strength and blood flow in older adults. *Exp Gerontol.* 2017;99(1):127-132.
- [12] LETIERI RV, TEIXEIRA AM, FURTADO GE, 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. *Exp Gerontol.* 2018;114(9):78-86.
- [13] LIBARDI CA, CHACON-MIKAHIL MP, CAVAGLIERI CR, et al. Effect of concurrent training with blood flow restriction in the elderly. *Int J Sports Med.* 2015;36(5):395-399.
- [14] 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. *J Angiology.* 2011;62(1):81-86.
- [15] 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.
- [16] PATTERSON SD, FERGUSON RA. Enhancing strength and postocclusive calf blood flow in older people with training with blood-flow restriction. *J Aging Phys Act.* 2011;19(3):201-213.
- [17] SHIMIZU R, HOTTA K, YAMAMOTO S, et al. Low-intensity resistance training with blood flow restriction improves vascular endothelial function and peripheral blood circulation in healthy elderly people. *Eur J Appl Physiol.* 2016;116(4):749-757.
- [18] 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.
- [19] THIEBAUD RS, LOENNEKE JP, FAHS CA, et al. The effects of elastic band resistance training combined with blood flow restriction on strength, total bone-free lean body mass and muscle thickness in postmenopausal women. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2013;33(5):344-352.
- [20] VECHIN FC, LIBARDI CA, CONCEICAO MS, et al. Comparisons between low-intensity resistance training with blood flow restriction and high-intensity resistance training on quadriceps muscle mass and strength in elderly. *J Strength Cond Res.* 2015;29(4):1071-1076.
- [21] YASUDA T, FUKUMURA K, UCHIDA Y, et al. Effects of low-load, elastic band resistance training combined with blood flow restriction on muscle size and arterial stiffness in older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2015;70(8):950-958.
- [22] YASUDA T, FUKUMURA K, TOMARU T, et al. Thigh muscle size and vascular function after blood flow-restricted elastic band training in older women. *Oncotarget.* 2016;7(23):33595-33607.
- [23] CENTNER C, WIEGEL P, GOLLHOFER A, et al. Effects of blood flow restriction training on muscular strength and hypertrophy in older Individuals: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med.* 2019;49(1):95-108.
- [24] SARTO F, FRANCHI MV, RIGON PA, et al. Muscle activation during leg-press exercise with or without eccentric overload. *Eur J Appl Physiol.* 2020;120(7):1651-1656.
- [25] VOPAT BG, VOPAT LM, BECHTOLD MM, et al. Blood flow restriction therapy: where we are and where we are going. *J Am Acad Orthop Surg.* 2020;28(12):e493-e500.
- [26] FATELA P, MENDONCA GV, VELOSO AP, et al. Blood flow restriction alters motor unit behavior during resistance exercise. *Int J Sports Med.* 2019; 40(9):555-562.
- [27] OKITA K, TAKADA S, MORITA N, et al. Resistance training with interval blood flow restriction effectively enhances intramuscular metabolic stress with less ischemic duration and discomfort. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2019;44(7):759-764.
- [28] GAVANDA S, ISENMANN E, SCHLÖDER Y, et al. Low-intensity blood flow restriction calf muscle training leads to similar functional and structural adaptations than conventional low-load strength training: a randomized controlled trial. *J PLoS One.* 2020;15(6):0235377.
- [29] PIGNANELLI C, PETRICK HL, KEYVANI F, et al. Low-load resistance training to task failure with and without blood flow restriction: muscular functional and structural adaptations. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* 2020;318(2):R284-R295.
- [30] THIEBAUD RS, ABE T, LOENNEKE JP, et al. Acute muscular responses to practical low-load blood flow restriction exercise versus traditional low-load blood flow restriction and high-/low-load exercise. *J Sport Rehabil.* 2019;29(7):984-992.
- [31] 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.
- [32] CENTNER C, LAUBER B. A systematic review and meta-analysis on neural adaptations following blood flow restriction training: what we know and what we don't know. *Front Physiol.* 2020;11:887.
- [33] GRGIC J, LAZINICA B, SCHOENFELD BJ, et al. Test-retest reliability of the one-repetition maximum (1RM) strength assessment: a systematic review. *Sports Med Open.* 2020;6(1):31.
- [34] LEA JVD, O'DRISCOLL JM, COLEMAN DA, et al. Validity and reliability of the 'Isometric Exercise Scale' (IES) for measuring ratings of perceived exertion during continuous isometric exercise. *Sci Rep.* 2021;11(1):5334.
- [35] OZAKI H, NAKAGATA T, YOSHIMURA T, et al. Effects of progressive walking and stair-climbing training program on muscle size and strength of the lower body in untrained older adults. *J Sports Sci Med.* 2019;18(4):722-728.
- [36] 毛宁, 刘书芳, 卫星. 血流限制训练在老年人中的应用研究进展 [J]. 中国老年保健医学, 2020, 18(6):117-121.
- [37] SLYSZ J, STULTZ J, BURR JF. The efficacy of blood flow restricted exercise: a systematic review meta-analysis. *J Sci Med Sport.* 2016;19(8):669-675.
- [38] MASCIOCCHI E, MALTAIS M, ROLLAND Y, et al. Time effects on physical performance in older adults in nursing home: a narrative review. *J Nutr Health Aging.* 2019;23(6):586-594.
- [39] 孙志成, 王彤, 王青, 等. 虚拟现实训练对养老院老年人跌倒相关危险因素的影响 [J]. 中国康复医学杂志, 2018, 33(6):687-692.
- [40] BALACHANDRAN AT, VIGOTSKY AD, QUILES N, et al. Validity, reliability, and measurement error of a sit-to-stand power test in older adults: a pre-registered study. *Exp Gerontol.* 2021;145:111202.

(责任编辑: WJ, ZN, ZIP)