

血流限制技术联合低强度运动训练对肌肉厚度的影响：荟萃分析

文方林¹, 冯雅丽², 邓艳业², 殷 樱^{2*}

¹重庆医科大学第二临床学院, 重庆

²重庆医科大学附属第二医院康复医学科, 重庆

收稿日期: 2024年3月27日; 录用日期: 2024年4月21日; 发布日期: 2024年4月28日

摘 要

目的: 采用系统综述的方式探索BFR技术联合低强度运动训练对肌肉厚度的影响, 争取对后续BFR应用的细化提供帮助。方法: 计算机检索中文数据库(知网、万方、维普)及英文数据库(Pubmed, Web of science, Cochrane library)所有有关BFR对肌肉厚度有影响的随机对照试验, 截至日期为2024年3月7日, 纳入文献使用在线Rev Man软件进行分析。结果: 共检索到1610篇相关文献, 筛选出符合要求的19篇文献, 高质量文献16篇, 低质量文献3篇。分析结果显示, BFR联合低强度运动训练可以有效改善健康人及需康复群体的股直肌($P = 0.04$)、股外侧肌($P = 0.04$)、股中间肌肌肉厚度($P < 0.05$), 改善肱二头肌($P = 0.25$)、股二头肌($P = 0.27$)效果欠佳。结论: BFR技术联合低强度运动训练可以促进不同人群的肌肉肥大, 对于股四头肌尤其是股外侧肌效果明显, 对于肱二头肌、股二头肌效果欠佳, 对其他肌肉的效果有待后续更深入、更细致的研究开展。

关键词

血流限制, 低强度运动训练, 肌肉厚度, Meta分析

Effects of Blood Flow Restriction Technique Combined with Low-Intensity Exercise Training on Muscle Thickness: A Meta-Analysis

Fanglin Wen¹, Yali Feng², Yanye Deng², Ying Yin^{2*}

¹The Second Clinical College of Chongqing Medical University, Chongqing

²Department of Rehabilitation Medicine, The Second Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing

*通讯作者。

文章引用: 文方林, 冯雅丽, 邓艳业, 殷樱. 血流限制技术联合低强度运动训练对肌肉厚度的影响: 荟萃分析[J]. 临床医学进展, 2024, 14(4): 2278-2286. DOI: 10.12677/acm.2024.1441292

Abstract

Objective: To systematically evaluate the effect of BFR technology combined with low-intensity exercise training on muscle thickness, and strive to provide help for the refinement of subsequent BFR application. **Methods:** A computer-based search of Chinese databases (CNKI, WanFang Data, VIP) and English databases (Pubmed, Web of science, Cochrane library) for all randomized controlled trials on the effect of BFR on muscle thickness, as of March 7, 2024. The included literature was analyzed using online Rev Man software. **Results:** A total of 1610 related literatures were retrieved, and 19 literatures were selected, including 16 high-quality literatures and 3 low-quality literatures. The results showed that BFR combined with low-intensity exercise training could effectively improve the muscle thickness of rectus femoris ($P = 0.04$), lateral femoris muscle ($P = 0.04$) and intermediate femoris muscle ($P < 0.05$) in healthy people and those who needed rehabilitation, but had poor effect on biceps ($P = 0.25$) and biceps femoris ($P = 0.27$). **Conclusion:** BFR technology combined with low-intensity exercise training can promote muscle hypertrophy in different populations, with obvious effect on quadriceps, especially lateral femoris, but poor effect on biceps and biceps femoris. The effect on other muscles needs further and more detailed research.

Keywords

Blood Flow Restriction, Low Intensity Exercise Training, Muscle Thickness, Meta-Analysis

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

自 1999 年相关的第一篇文献发表以来, 关于血流限制(Blood Flow Restriction, BFR)技术的研究开展的如火如荼, 其适用范畴颇广, 在健康人群、膝关节炎、冠心病、骨折等患者当中均有研究开展, 特点是在肢体近端加用训练带以创造运动时限制静脉血流而不限制动脉灌注的环境, 最终以通常为 20%~30% 1RM 的低强度训练可以起到大于 65% 1RM 高强度训练的效果——促成肌力增长、肌肉肥大[1]。同时, BFR 技术带来的生长激素、血管内皮生长因子等改变会引起全身性的改变, 称之为交互效应[2]。这样的效果无疑可以应用于肌肉萎缩、肌力减弱的患者当中, 比如偏瘫、外周神经损伤、老年性肌少症。BFR 的促进肌肉肥大的潜在机制被认为包括两个方面。一是机械张力, 肌肉增大发生在机械力传导的过程中, 当肌肉纤维收缩时, 内侧肌节缩短并从侧面突出, 肌肉细胞膜的这种物理拉伸通常被拉伸感受器感知, 并被视为对细胞结构的威胁, 这种紧张可导致几个生肌通道的激活, 如 mTOR、MAPK 和钙依赖通道, 结果是肌肉合成增加; 另一重要机制是代谢压力, 它通常发生在无氧糖酵解过程中, 这一过程发生在身体利用糖原的速度快于氧气消耗的速度时, 导致乳酸和其他代谢物在细胞内积累, 这可以导致肌肉的肿胀并且代谢产物可能作为信号分子增加对下游通路的激活, 同样可以促成肌肉生长所需激素和原料的增加[3]。

尽管如此, 仍有一些学者表达了不一样的意见。在 Hill, E. C. 的研究中, 结合了 BFR 的向心运动和偏心运动均未能发现肌肉的增大[4]; 无独有偶, Kwasi Ampomah 等人在复发性腰痛患者中应用四肢低强度 BFR 训练, 并没有发现躯干肌肉增大的交互效应, 也没有发现肢体肌肉的显著肥大[5]。那么 BFR 的

肌肉增大作用是只针对少数肌肉吗？对其他肌肉的改进效果如何？BFR 在不同的疾病当中是否有相同的效果？甚至于 BFR 促进肌肉肥大的作用是否明确？这些问题仍然值得探究，肌肉厚度是简单直接且有效的评估肌肉大小的指标，是以本文搜集了国内外 BFR 技术对肌肉厚度影响的文献，拟对上述问题进行探索，争取对后续 BFR 应用的细化提供帮助。

2. 资料与方法

2.1. 检索策略

在英文数据库“Pubmed、Web of science、Cochrane library”及中文数据库“知网、维普、万方”查找所需文献，其中英文检索式包括“BFR”、“Blood Flow Restriction”、“Vascular occlusion”、“Katsu”、“Muscle Thickness”、“Muscle Volume”、“Muscle Hypertrophy”，如检索数据库条件允许，则限制条件为“Randomized Controlled Trial”；中文检索式包括“血流限制”、“加压训练”、“阻血训练”、“肌肉厚度”、“肌肉容积”、“肌肉肥大”，最后一次检索日期为 2024 年 3 月 7 日。

2.2. 纳入标准

- 1) 关于 BFR 技术对肌肉厚度影响的临床研究，需为随机对照试验(Randomized Controlled Trial, RCT)，分组明确；
- 2) 受试者包括健康人或具有康复需求的患者，性别不限；
- 3) 干预措施为低强度运动训练，试验组加用 BFR 技术；
- 4) 结局指标包括用肌骨超声、CT、MR 或其他技术检测到的肌肉厚度，并提供具体数据。

2.3. 排除标准

- 1) 运动训练前缺血预处理，运动训练间歇、运动训练后血流限制；
- 2) 对照组中为高强度运动训练或有其他增加的对肌肉厚度有影响的因素；
- 3) 摘要、会议报告、研究计划书等无具体数据的文献。

2.4. 文献质量评价

由 2 名研究人员分别单独按照改良 Jadad 评分细则对纳入的文献进行文献质量评估，评估内容包括随机序列的产生、随机化隐藏、盲法及具体方案、撤出与退出等，总分为 7 分，1~3 分为低质量文献，4~7 分为高质量文献。

2.5. 数据处理

本研究使用在线 Rev Man 软件对获取的数据进行分析，计数资料采用相对危险度(RR)及其 95%CI 表示，计量资料采用均数及其 95%CI 表示。数据处理过程主要包括：异质性检验、森林图的绘制、Meta 分析，以 $P < 0.05$ 为具有统计学意义。当统计量 $I^2 < 50\%$ 时，表明研究间异质性较低，采用固定效应模型分析；当 $I^2 \geq 50\%$ 时，表明研究之间存在较大异质性，采用随机效应模型进行分析。当研究中有两个及以上亚组时，使用 Rev man 推荐数据转换工具合并成整体参与 meta 分析；当研究未给出平均值或标准差时，同样使用 Rev man 推荐数据转换工具计算出结果后参与 meta 分析；当两个或以上研究含有同一个效应量时，需进行 meta 分析，只有一个研究时，进行描述性分析。

3. 结果

检索到中文文献 180 篇，英文文献 1430 篇，排除重复文献 367 篇，通过阅读题目和摘要排除无关文

献 1109 篇，阅读了 134 篇文献全文，去除非随机对照试验设计、有其他干预措施、无具体数据、结局指标无肌肉厚度等文献 115 篇，最终 19 篇文献纳入 meta 分析中，包括中文文献 3 篇，英文文献 16 篇，流程见图 1。

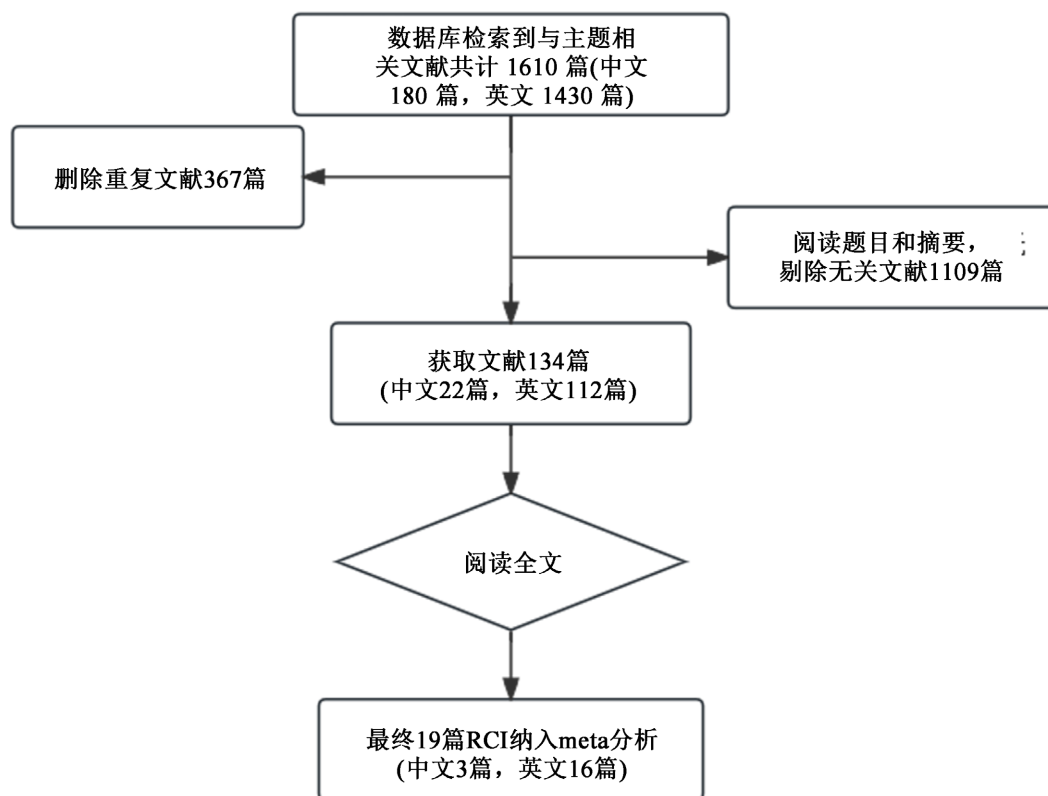


Figure 1. Flow chart of inclusion literature
图 1. 纳入文献流程图

3.1. 纳入文献基本特征

纳入 meta 的文献有 19 篇，均有随机对照试验，根据评分标准，低质量文献为 3 篇英文文献，其余均为高质量文献；涉及群体中健康人最多，同样涉及骨科术后患者、肩袖肌腱病患者、心血管手术患者等多个群体，其中试验组人数 295 人，对照组 254 人；结局指标为肌肉厚度，涉及到的肌肉有股四头肌、肱二头肌、腓肠肌等；训练强度多集中在 20%~30% 1RM；加压部位大部分集中在肢体近心端；训练周期详见表 1。

3.2. 肱二头肌亚组分析

以肱二头肌肌肉厚度为结局指标的文献有 7 篇，试验组总计 94 人，对照组总计 91 人，异质性检验显示 $I^2 < 50\%$ ，选择固定效应模型。Meta 分析结果显示：均值 0.01 cm，95% CI 为[-0.01, 0.04]，总体效应 Z 为 1.14 ($P = 0.25$)，说明总体试验组和对照组股二头肌厚度变化没有统计学差异，详见图 2。

3.3. 股直肌亚组分析

以股直肌肌肉厚度为结局指标的文献有 5 篇，试验组总计 82 人，对照组总计 71 人，异质性检验显示 $I^2 > 50\%$ ，选择随机效应模型。Meta 分析结果显示：评价差值为 0.13 cm，95% CI 为[0.00, 0.26]，总体

Table 1. Includes basic characteristics of the study**表 1.** 纳入研究基本特征

作者	评价	受试者类型	肌肉	训练强度	加压部位	训练周期
李娜等[6]	6	健康人	股直肌、股二头肌	25% 1RM	腹股沟折痕处	5次/周, 6周
孙鹏等[7]	6	健康人	股直肌、股中间肌	20% 1RM	于股骨中上三分之一处	3次/周, 12周
黄凯荣等[8]	4	骨科术后患者	股直肌、股中间肌	30% 1RM	大腿根部	6次/周, 4周
Behringer, M., et al. [9]	5	健康人	股直肌、股二头肌、肱二头肌	60%~70%最大速度	大腿上端近心端	2次/周, 6周
Colomer-Poveda, D., et al. [10]	5	健康人	腓窝与外踝中点距离近端50%、70% (比目鱼肌)	25% MVC	肢体近端	3次/周, 4周
Gavanda, S., et al. [11]	7	健康人	腓肠肌	30% 1RM	髌骨下方	2次/周, 6周
Giles, L., et al. [12]	6	髌骨疼痛	股四头肌	30% 1RM	大腿根部	为期8周
Hill, E. C. [4]	5	健康人	肱二头肌	30% 1RM	肢体近端	3次/周, 4周
Hill, E. C. [13]	5	健康人	肱二头肌	30% 1RM	肢体近端	3次/周, 4周
Hill, E. C. [14]	6	健康人	肱二头肌	30% 1RM	肢体近端	3次/周, 4周
Isrctn [15]	3	心血管手术患者	大腿中部	20%~30% 1RM	大腿近端	2次/周, 3月
Kara, D., et al. [16]	5	肩袖肌腱病患者	肱二头肌、冈上肌、冈下肌、肩胛提肌	20%~30% 1RM	肢体近端	2次/周, 8周
Ke, J., et al. [17]	6	半月板切除术后	股直肌、股内侧肌、股外侧肌肉、股中间肌	20%~30% 1RM	大腿近端	2次/周, 8周
Li, X., et al. [18]	5	ACL 术后	股直肌与股中间肌之和	20%~30% 1RM	大腿近端	为期8周
Loenneke, J. P., et al. [19]	3	健康人	股骨外侧髌与大转子中点	20%~30% 1RM	大腿近端	3次/周, 3月
Park, J., et al. [20]	4	健康人	大腿前部肌肉 60% 及 70% 处	被动活动	大腿近端	10 天内
Slysz, J. T., et al. [21]	5	健康人	股外侧肌	15% MVC	肢体近端	2次/天, 5天/周, 共10天
Wells, E., et al. [22]	3	健康人	肱二头肌	60% 1RM	肢体近端	2次/周, 4周
Yasuda, T., et al. [23]	5	健康人	肱二头肌	20% 1RM	肢体近端	至疲劳

注: AOP, 肢体闭塞压; RM, 最大重复次数; MPV, 最大随意收缩力; ACL: 前交叉韧带。

效应 Z 为 2.01 ($P = 0.04$), 说明总体试验组和对照组股直肌厚度变化有统计学差异, 详见图 3。

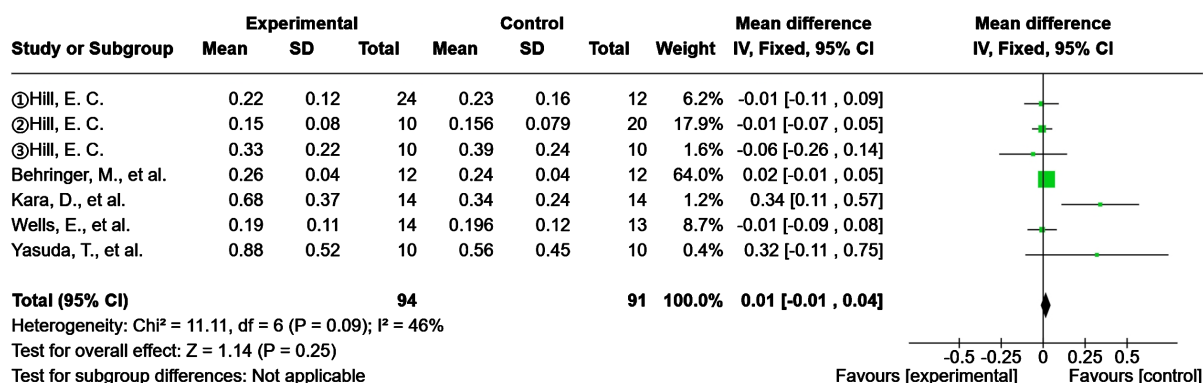
3.4. 股中间肌亚组分析

以股中间肌肉厚度为结局指标的文献有 5 篇, 试验组总计 60 人, 对照组总计 49 人, 异质性检验显示 $I^2 > 50\%$, 选择随机效应模型。Meta 分析结果显示: 平均差值为 0.16 cm, 95% CI 为 [0.16, 0.25], 总体效应 Z 为 3.71 (< 0.05), 说明总体试验组和对照组股中间肌厚度变化有统计学差异, 详见图 4。

3.5. 股外侧肌亚组分析

纳入文献中以股外侧肌为结局指标的仅有两篇, 试验组和对照组各 30 人, 异质性检验显示 $I^2 < 50\%$,

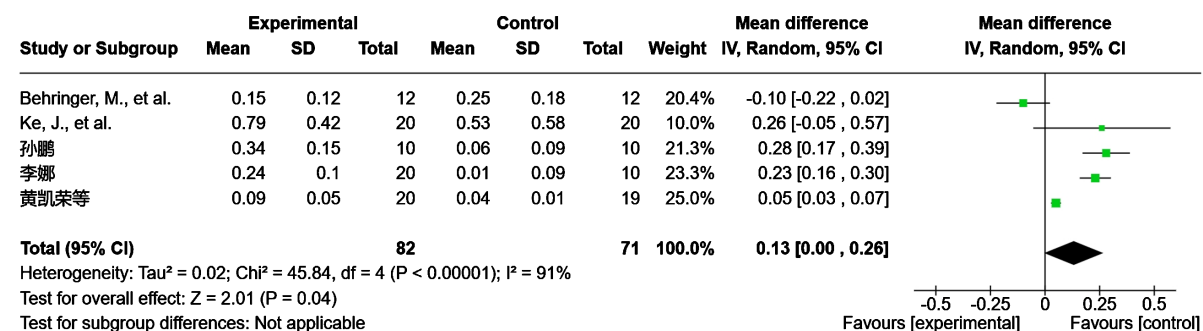
选择固定效应模型。Meta 分析结果显示：平均标准差为 0.28 cm，95% CI 为[0.02, 0.54]，总体效应 Z 为 2.08 (P = 0.04)，说明总体试验组和对照组股外侧肌变化有统计学差异，详见表 2。



注：Mean，平均值；SD，标准差。

Figure 2. Biceps subgroup analysis

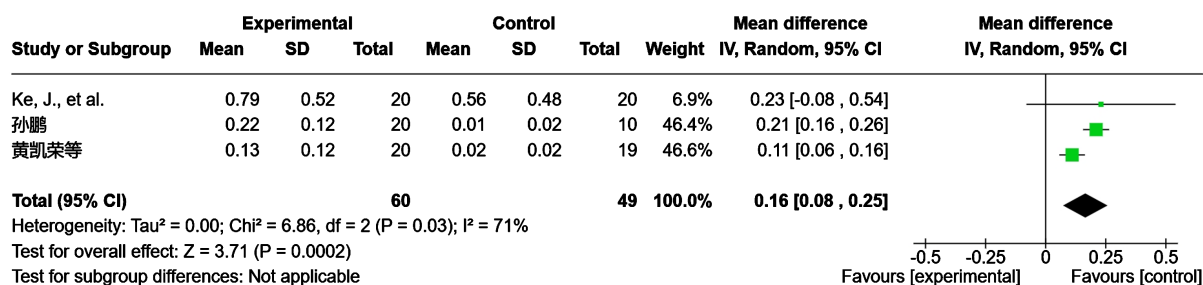
图 2. 肱二头肌亚组分析



注：Mean，平均值；SD，标准差。

Figure 3. Subgroup analysis of rectus femoris muscle

图 3. 股直肌亚组分析



注：Mean，平均值；SD，标准差。

Figure 4. Subgroup analysis of the vastus intermedius muscle

图 4. 股中间肌亚组分析

Table 2. Analysis of lateral muscle subgroups

表 2. 股外侧肌亚组分析

效应指标	文献数量	试验组	对照组	I ² %	总体效应	P	Mean difference IV, Fixed, 95% CI (cm)
股外侧肌	2	30	30	10	2.08	0.04	0.28 [0.02, 0.54]

3.6. 股二头肌亚组分析

以股二头肌肉厚度为结局指标的文献有 2 篇，试验组总计 22 人，对照组总计 22 人，异质性检验显示 $I^2 > 50\%$ ，选择随机效应模型。Meta 分析结果显示：平均标准差为 0.25 cm，95% CI 为[-0.20, 0.69]，总体效应 Z 为 1.10 ($P = 0.27$)，说明总体试验组和对照组股二头肌变化没有统计学差异，详见表 3。

Table 3. Biceps femoris subgroup analysis

表 3. 股二头肌亚组分析

效应指标	文献数量	试验组	对照组	I^2 %	总体效应	P	Mean difference IV, Random, 95% CI (cm)
股二头肌	2	22	22	87	1.10	0.27	0.25 [-0.20, 0.69]

3.7. 其余肌肉分析

以腓肠肌、冈上肌、冈下肌等其余肌肉为结局的文献均只有 1 篇，Colomer-Poveda, D 等人研究中发现 BFR 组的比目鱼肌厚度显著高于对照组[10]；Gavanda, S 等人在试验前后发现有无 BFR 对腓肠肌肌肉厚度并没有过多影响，但如果在试验中期进行测量，BFR 组的腓肠肌肌肉厚度显著高于对照组[11]；Giles, L 等人在髌骨疼痛患者中的研究发现，有无 BFR 技术对股四头肌试验后的厚度并无明显影响，同时，随访 6 月后同样未发现有效的远期效应[12]；Isrctn 研究发现低强度 BFR 训练对改善心血管手术患者的大腿中部肌肉是显著的[15]；Park, J 等人在加了 BFR 的被动活动研究中，并没有发现大腿前部肌肉的增厚[20]；而在股直肌与股中间肌之和、股骨外侧髁与大转子中点处检测发现，低强度 BFR 的增肌作用是有效的[18] [19]；而在肩袖中，BFR 对冈上肌、冈下肌、肩胛提肌的肌肉增厚作用并不显著[16]。

4. 讨论与结论

Meta 分析显示，股直肌、股外侧肌、股中间肌在 BFR 技术的作用下，低强度训练即可发现显著的肌肉增厚作用，Ke, J 等人的研究发现 BFR 对于 ACL 术后患者股内侧肌的增厚作用明显[17]，关于大腿中部肌肉厚度、股直肌与股中间肌厚度之和的研究同样发现明显差异[15] [18]，这表明 BFR 技术对于股四头肌肌群作用显著，股外侧肌分析中 I^2 仅为 10%，说明纳入文献的异质性较低，其中涉及的人群包括健康人群以及 ACL 术后患者，说明 BFR 在两个群体中反应较为一致，但由于测量股外侧肌的纳入文献数量较少，其对于其他受试群体的作用如何无从得知，但目前至少有理由认为，BFR 对于肌肉的增厚作用是明确的，并且对于股四头肌效果更显著。

另外发现，BFR 联合低强度运动训练对于肱二头肌、股二头肌的效果欠佳。这可能与运动训练没有激活相应肌群有关[5]，尽管我们选择的低强度训练普遍集中在 20%~30% 1RM，但对于具体肌群特别是股二头肌的具体 1RM 并不知晓，这要求运动制定干预方案之前先进行具体肌群 1RM 的测量；另一可能原因则是 BFR 训练下产生的激素并不足以促成两组肌群肌肉的生长，这也可以在一定程度上解释 BFR 在部分肌肉中并没有产生交互效应[5]，尽管在不同的受试者中，我们观察到相同肌肉的增厚，同时同一受试者群体中观察到不同肌肉的增厚，但这种多数肌肉均有增厚的作用是否能归根于 BFR 的交互作用，仍需要纳入更多的研究、更细的分组进行分析。不过这倒可以回答文章开头提出的问题，BFR 并非只对单一疾病的单一肌肉起效果。

对于部分肌肉的研究仅有 1 篇文献被纳入，其中发现了 BFR 技术可能对于健康人比目鱼肌、心血管术后患者大腿中部肌肉等的改善，当前也发现对于健康人腓肠肌、肩袖肌腱病患者的部分肩袖肌肉效果不明显，甚至 Gavanda, S 等人提出 BFR 技术在运动训练的早期对于肌肉肥大的作用更为明显[11]，但上述发现容易受到样本量不足带来的偏移，进一步的讨论需要更多更高质量 RCT 的发表。

需要注意的是,在股二头肌、股直肌、股中间肌亚组分析中的 I^2 均大于 50%,这提醒我们存在较高同质性差异,可能的原因如下:检测方案的差异,这应该是首先被想到的,CT/MR 以及超声检测仪器的精度不同,其进行检测时患者体位不同,可能带来一定的偏移,对于同一肌群的检测,仍有测量点的差异,比如 Behringer, M.等人在患者仰卧位下髌骨上棘与髌骨上缘之间距离的 50%处测得股直肌厚度[9],而黄凯荣等人则是在髌骨上缘 10 cm 处测得[8],测量位置的不同当然会导致肌肉形态的差异:BFR 训练带不同,Freitas, E. D. S.等人在研究中使用了两种训练带,其中一种为传统的训练带,以调节肢体闭塞压力为主要调节方式,另一种训练带被认为在日常生活中更加实用,其以调节感知压力等级为主要调节方式,这提醒我们训练带的不同可能会带来偏移[24];再者,即便是使用相同的训练带,仍有训练带压力不同的情况,孙鹏等人的研究中讨论了 120 mmHg 压力与 180 mmHg 压力,可能会为分析结果带来偏移[7];另外,Gavanda, S.等人提到 BFR 对肌肉厚度的提高存在显著的时间效应,纳入研究干预周期的长短,以及中途有无对结局指标的再次测量,都有可能产生偏移[11]。

综上所述,我们认为 BFR 技术联合低强度运动训练可以促进不同人群的肌肉肥大,该效果是明确的,对于股四头肌尤其是股外侧肌效果明显,对于肱二头肌、股二头肌效果欠佳,至于 BFR 技术对其他肌肉的效果如何则有待后续更深入、更细致的研究开展。

参考文献

- [1] 冯雅丽. 血流限制联合运动训练对脑卒中患者躯体功能与步态影响的研究[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 西南大学, 2023.
- [2] Beak, H.J., Park, W., Yang, J.H. and Kim, J. (2022) Effect of Low-Intensity Aerobic Training Combined with Blood Flow Restriction on Body Composition, Physical Fitness, and Vascular Responses in Recreational Runners. *Healthcare*, **10**, Article 1789. <https://doi.org/10.3390/healthcare10091789>
- [3] Telfer, S., Calhoun, J., Bigham, J.J., Mand, S., Gellert, J.M., Hagen, M.S., Kweon, C.Y. and Gee, A.O. (2021) Biomechanical Effects of Blood Flow Restriction Training after ACL Reconstruction. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, **53**, 115-123. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002437>
- [4] Hill, E.C. (2020) Eccentric, But Not Concentric Blood Flow Restriction Resistance Training Increases Muscle Strength in the Untrained Limb. *Physical Therapy in Sport*, **43**, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2020.01.013>
- [5] Ampomah, K., Amano, S., Wages, N.P., Volz, L., Clift, R., Ludin, A.F.M., Nakazawa, M., Law, T.D., Manini, T.M., Thomas, J.S., Russ, D.W. and Clark, B.C. (2019) Blood Flow-Restricted Exercise Does Not Induce a Cross-Transfer of Effect: A Randomized Controlled Trial. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, **51**, 1817-1827. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001984>
- [6] 李娜. 血流限制结合肌肉电刺激对低强度深蹲训练效果的影响[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都体育学院, 2021.
- [7] 孙鹏. 血流限制性抗阻训练对青年男性下肢肌肉影响的效果及机制研究[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津体育学院, 2020.
- [8] 黄凯荣, 张国兴, 王俊, 等. 血流量限制结合低强度抗阻训练对下肢骨科术后肌肉功能的影响[J]. *中国康复*, 2022, 37(4): 236-239.
- [9] Behringer, M., Behlau, D., Montag, J.C.K., McCourt, M.L. and Mester, J. (2017) Low-Intensity Sprint Training with Blood Flow Restriction Improves 100-M Dash. *Journal of Strength and Conditioning Research*, **31**, 2462-2472. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001746>
- [10] Colomer-Poveda, D., Romero-Arenas, S., Vera-Ibáñez, A., Viñuela-García, M. and Márquez, G. (2017) Effects of 4 Weeks of Low-Load Unilateral Resistance Training, with and without Blood Flow Restriction, on Strength, Thickness, V Wave, and H Reflex of the Soleus Muscle in Men. *European Journal of Applied Physiology*, **117**, 1339-1347. <https://doi.org/10.1007/s00421-017-3622-0>
- [11] Gavanda, S., Isenmann, E., Schlöder, Y., Roth, R., Freiwald, J., Schiffer, T., Geisler, S. and Behringer, M. (2020) 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. *PLOS ONE*, **15**, e0235377. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235377>
- [12] Giles, L., Webster, K.E., McClelland, J. and Cook, J.L. (2017) Quadriceps Strengthening with and without Blood Flow Restriction in the Treatment of Patellofemoral Pain: A Double-Blind Randomised Trial. *British Journal of Sports*

- Medicine*, **51**, 1688-1694. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096329>
- [13] Hill, E.C., Housh, T.J., Keller, J.L., Smith, C.M., Anders, J.V., Schmidt, R.J., Johnson, G.O. and Cramer, J.T. (2020) Low-Load Blood Flow Restriction Elicits Greater Concentric Strength than Non-Blood Flow Restriction Resistance Training But Similar Isometric Strength and Muscle Size. *European Journal of Applied Physiology*, **120**, 425-441. <https://doi.org/10.1007/s00421-019-04287-3>
- [14] Hill, E.C., Housh, T.J., Keller, J.L., Smith, C.M., Anders, J.V., Schmidt, R.J., Johnson, G.O. and Cramer, J.T. (2021) Patterns of Responses and Time-Course of Changes in Muscle Size and Strength during Low-Load Blood Flow Restriction Resistance Training in Women. *European Journal of Applied Physiology*, **121**, 1473-1485. <https://doi.org/10.1007/s00421-021-04627-2>
- [15] Ogawa, H., Nakajima, T., Shibasaki, I., Nasuno, T., Kaneda, H., Katayanagi, S., Ishizaka, H., Mizushima, Y., Uematsu, A., Yasuda, T., Yagi, H., Toyoda, S., Hortobágyi, T., Mizushima, T., Inoue, T. and Fukuda, H. (2021) Low-Intensity Resistance Training with Moderate Blood Flow Restriction Appears Safe and Increases Skeletal Muscle Strength and Size in Cardiovascular Surgery Patients: A Pilot Study. *Journal of Clinical Medicine*, **10**, Article 547. <https://doi.org/10.3390/jcm10030547>
- [16] Kara, D., Ozcakar, L., Demirci, S., Huri, G. and Duzgun, I. (2024) Blood Flow Restriction Training in Patients with Rotator Cuff Tendinopathy: A Randomized, Assessor-Blinded, Controlled Trial. *Clinical Journal of Sport Medicine*, **34**, 10-16. <https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000001191>
- [17] Ke, J., Zhou, X., Yang, Y., Shen, H., Luo, X., Liu, H., Gao, L., He, X. and Zhang, X. (2022) Blood Flow Restriction Training Promotes Functional Recovery of Knee Joint in Patients after Arthroscopic Partial Meniscectomy: A Randomized Clinical Trial. *Frontiers in Physiology*, **13**, Article 1015853. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.1015853>
- [18] Li, X., Li, J., Qing, L., Wang, H., Ma, H. and Huang, P. (2023) Effect of Quadriceps Training at Different Levels of Blood Flow Restriction on Quadriceps Strength and Thickness in the Mid-Term Postoperative Period after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Randomized Controlled External Pilot Study. *BMC Musculoskeletal Disorders*, **24**, Article No. 360. <https://doi.org/10.1186/s12891-023-06483-x>
- [19] Loenneke, J.P., Kim, D., Fahs, C.A., Thiebaud, R.S., Abe, T., Larson, R.D., Bemben, D.A. and Bemben, M.G. (2017) The Influence of Exercise Load with and without Different Levels of Blood Flow Restriction on Acute Changes in Muscle Thickness and Lactate. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, **37**, 734-740. <https://doi.org/10.1111/cpf.12367>
- [20] Park, J., Stanford, D.M., Buckner, S.L. and Jessee, M.B. (2020) The Acute Muscular Response to Passive Movement and Blood Flow Restriction. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, **40**, 351-359. <https://doi.org/10.1111/cpf.12649>
- [21] Slys, J.T., Boston, M., King, R., Pignanelli, C., Power, G.A. and Burr, J.F. (2021) Blood Flow Restriction Combined with Electrical Stimulation Attenuates Thigh Muscle Disuse Atrophy. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, **53**, 1033-1040. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002544>
- [22] Wells, E., Eustace, D., Gupton, C.S., Dedrick, G.S. and Bunn, J. (2019) Eccentric and Blood Flow Restriction Exercises in Women Induce Hypertrophy. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, **59**, 1968-1974. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.19.09573-2>
- [23] Yasuda, T., Fukumura, K., Iida, H. and Nakajima, T. (2015) Effect of Low-Load Resistance Exercise with and without Blood Flow Restriction to Volitional Fatigue on Muscle Swelling. *European Journal of Applied Physiology*, **115**, 919-926. <https://doi.org/10.1007/s00421-014-3073-9>
- [24] Freitas, E.D.S., Galletti, B.R.A., Koziol, K.J., Miller, R.M., Heishman, A.D., Black, C.D., Bemben, D. and Bemben, M.G. (2020) The Acute Physiological Responses to Traditional vs. Practical Blood Flow Restriction Resistance Exercise in Untrained Men and Women. *Frontiers in Physiology*, **11**, Article 577224. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.577224>