

# 血流限制训练对上肢肌肉适能效益的影响

张玥, 郭英杰, 程杨, 杨婷婷

<https://doi.org/10.12307/2024.292>

投稿日期: 2023-03-01

采用日期: 2023-04-17

修回日期: 2023-05-29

在线日期: 2023-06-08

中图分类号:

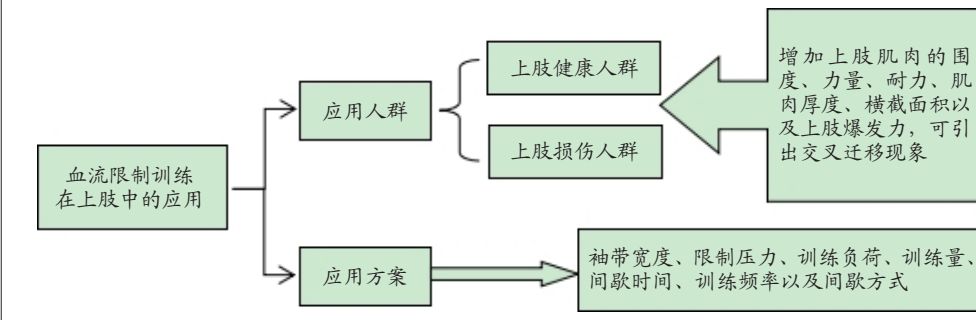
R455; R318; [R875]

文章编号:

2095-4344(2024)14-02248-06

文献标识码: A

文章快速阅读: 总结上肢应用血流限制训练的具体方案及肌肉适能效益



文题释义:

**血流限制训练:** 又称加压训练(KAATSU training), 是指在运动期间通过气动袖带或弹性绷带对四肢的近端进行外部加压, 使静脉血流闭塞的同时部分阻塞动脉血流, 并在此状态下进行低强度或低负荷运动的一种训练方法。

**肌肉适能:** 是体适能的重要组成部分, 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。

摘要

**背景:** 血流限制训练在提高肢体肌肉力量方面有广阔的应用前景, 其中上肢应用血流限制训练的效果较为理想, 且具体应用方案具有较高的研究价值。

**目的:** 阐述血流限制训练对上肢肌肉适能效益的影响, 总结上肢应用血流限制训练的具体方案, 试图依据现有研究给出应用方案的建议。

**方法:** 检索中国知网(CNKI)、万方、维普、CBM、PubMed、Embase、EBSCO、Cochrane Library及Web of Science数据库中发表的上肢应用血流限制训练的相关文献, 中文检索词为“血流限制, 血流限制训练, 加压训练, 上肢, 上臂, 前臂, 手臂, 小臂”, 英文检索词为“Blood Flow Restriction Training, Blood Flow Restriction Exercise, Blood Flow Restriction Therapy, BFR Therapy, Occlusion training, KAATSU training, BFRT, Upper Extremity, Upper Limb, Arm, Forearm”。选择各数据库建库至2022年12月收录的上肢应用血流限制训练的相关文章, 并根据纳入标准和排除标准对所得文献进行筛选。

**结果与结论:** ①目前血流限制训练在上肢应用的人群以健康人、专项运动员和上肢损伤人群为主; ②血流限制训练对上肢肌肉适能的影响主要体现在增加上肢的肢体围度、肌肉的力量、肌肉耐力、肌肉厚度、肌肉横截面积以及上肢爆发力, 其次是引起上肢出现交叉迁移现象; ③上肢应用血流限制训练多使用充气型的血流限制装置, 袖带宽度为3-5 cm, 加压位置在大臂上1/3处, 限制压力为40%-60%动脉闭塞压(AOP)或80-160 mmHg, 训练负荷为20%-30%1RM, 训练量为4组(30-15-15-15次), 间歇时间为30-60 s, 训练频率为每周两三次。

**关键词:** 血流限制训练; 加压训练; KAATSU训练; 上肢; 肌肉适能; 训练方案; 肌肉力量

## Effect of blood flow restriction training on the fitness benefit of upper limb muscles

Zhang Yue, Guo Yingjie, Cheng Yang, Yang Tingting

Shenyang Sport University, Shenyang 110102, Liaoning Province, China

Zhang Yue, Master candidate, Shenyang Sport University, Shenyang 110102, Liaoning Province, China

**Corresponding author:** Guo Yingjie, PhD, Associate professor, Shenyang Sport University, Shenyang 110102, Liaoning Province, China

Abstract

**BACKGROUND:** Blood flow restriction training has broad application prospects in improving limb muscle strength. It has ideal effects on the upper limbs is ideal, and the specific application scheme has high research value.

**OBJECTIVE:** To explain the influence of blood flow restriction training on the fitness benefits of upper limb muscles and summarize the specific programs of blood flow restriction training for upper limb, attempting to give suggestions on application programs based on existing studies.

**METHODS:** Literature on the application of upper limb blood flow restriction training were searched in CNKI, WanFang, VIP, CBM, PubMed, Embase, EBSCO, Cochrane Library and Web of Science databases. The search terms were “blood flow restriction, blood flow restriction training, pressure training, upper limb, upper arm, forearm, arm, forearm” in Chinese and “blood flow restriction training, blood flow restriction exercise, blood flow restriction therapy, BFR therapy, occlusion training, KAATSU training, BFRT, upper extremity, upper limb, arm, forearm” in English. The relevant articles on the application of blood flow restriction training in the upper limbs included in the database from database inception to December 2022 were selected and screened according to inclusion

沈阳体育学院, 辽宁省沈阳市 110102

第一作者: 张玥, 女, 1995年生, 辽宁省阜新市人, 汉族, 沈阳体育学院在读硕士, 主要从事运动损伤的康复与预防研究。

通讯作者: 郭英杰, 博士, 副教授, 沈阳体育学院, 辽宁省沈阳市 110102

<https://orcid.org/0009-0005-9985-0658>(张玥); <https://orcid.org/0000-0002-5803-6124>(郭英杰)

基金资助: 2022年沈阳体育学院研究生创新基金资助项目, 项目负责人: 张玥; 2022年度沈阳体育学院运动健康学院课题, 项目负责人: 程杨

引用本文: 张玥, 郭英杰, 程杨, 杨婷婷. 血流限制训练对上肢肌肉适能效益的影响[J]. 中国组织工程研究, 2024, 28(14): 2248-2253.



criteria and exclusion criteria.

**RESULTS AND CONCLUSION:** Firstly, blood flow restriction training is mainly applied to healthy people, special athletes and people with upper limb injury. Secondly, the influence of blood flow restriction training on upper limb muscle fitness is mainly reflected in the increase of upper limb circumference, muscle strength, muscle endurance, muscle thickness, muscle cross-sectional area and explosive power of upper limb, followed by the cross migration phenomenon of the upper limbs. Thirdly, blood flow restriction training for the upper limbs mainly uses inflatable blood flow restriction devices: the cuff width was 3–5 cm, the pressure position was 1/3 of the upper arm, the limiting pressure was 40%–60% arterial occlusion pressure or 80–160 mmHg, the training load is 20%–30% 1RM, the training volume is four sessions (30-15-15-15 times), the interval time was 30–60 seconds, and the training frequency was 2 or 3 times per week.

**Key words:** blood flow restriction training; pressure training; KAATSU training; upper limb; muscle fitness; training program; muscle strength

**Funding:** 2022 Shenyang Sport University Postgraduate Innovation Fund (to ZY); 2022 Shenyang Sport University Sports Health School Project (to CY)

**How to cite this article:** ZHANG Y, GUO YJ, CHENG Y, YANG TT. Effect of blood flow restriction training on the fitness benefit of upper limb muscles. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu. 2024;28(14):2248-2253.

## 0 引言 Introduction

血流限制训练 (blood flow restriction training, BFRT) 又称加压训练 (KAATSU training), 是由 20 世纪 60 年代日本佐藤仪昭博士最先提出, 并经他长期试验和优化, 最终于 1983 年建立起来的一种新型加压训练方式<sup>[1]</sup>。目前, 从相关研究来看, 人们在 BFRT 中采取较低的运动负荷 (20%–30%1RM) 就可以达到高负荷的肌肉提升效果<sup>[2]</sup>, 而这一优势使其在增加肌肉大小和力量方面成为传统力量训练的一种替代方案<sup>[3]</sup>, 并在一定程度上可降低发生运动损伤的风险<sup>[4]</sup>。

事实上, 尽管 BFRT 已在运动训练<sup>[5-7]</sup>、膝关节康复以及老年康复中广泛应用<sup>[8-14]</sup>, 并达到了较好的训练效果, 但其相关研究还主要集中于下肢, 针对上肢的应用研究相对较少, 上肢应用 BFRT 的最优方案有待探究, 并且公开发表的相关综述文献较为匮乏。基于此, 为便于了解 BFRT 对上肢肌肉适能效益的影响, 知晓 BFRT 在上肢应用中的具体方案, 特对现有相关文献进行收集整理加以综述, 旨在为今后上肢应用 BFRT 的后续研究提供一定的参考。

## 1 资料和方法 Data and methods

### 1.1 资料来源

1.1.1 检索人及检索时间 第一作者在 2022 年 8–12 月进行检索。

1.1.2 检索文献时限 各数据库建库至 2022 年。

1.1.3 检索数据库 中国知网 (CNKI)、万方、维普、CBM、PubMed、Embase、EBSCO、Cochrane Library 和 Web of Science 数据库。

1.1.4 检索词 中文检索词: “血流限制, 血流限制训练, 加压训练, 上肢, 上臂, 前臂, 手臂, 小臂”, 英文检索词: “Blood Flow Restriction Training, Blood Flow Restriction Exercise, Blood Flow Restriction Therapy, BFR Therapy, Occlusion training, KAATSU training, BFRT, Upper Extremity, Upper Limb, Arm, Forearm”。

1.1.5 检索文献类型 临床试验研究。

1.1.6 手工检索情况 无。

1.1.7 检索策略 采用主题词与自由词相结合原则, 以 PubMed 数据库为例, 其具体检索策略见图 1。

```
#1 Blood Flow Restriction Therapy[Mesh]
#2 BFR Therapy OR BFR Therapies OR Therapy, BFR OR Blood Flow Restriction Training OR Blood Flow Restriction Exercise OR KAATSU training OR Occlusion training OR BFRT[Title/Abstract]
#3 #1 OR #2
#4 Upper Extremity[Mesh]
#5 Extremities, Upper OR Upper Extremities OR Membrum superius OR Upper Limb OR Limb, Upper OR Limbs, Upper OR Upper Limbs OR Extremity, Upper[Title/Abstract]
#6 #4 OR #5
#7 Arm[Mesh]
#8 Arms OR Upper Arm OR Arm, Upper OR Arms, Upper OR Upper Arms OR Brachium OR Brachiums[Title/Abstract]
#9 #7 OR #8
#10 Forearm[Mesh]
#11 Forearms OR Antebrachium OR Antebrachiums[Title/Abstract]
#12 #10 OR #11
#13 #6 OR #9 OR #12
#14 randomized controlled trial[Publication Type] OR randomized[Title/Abstract] OR placebo[Title/Abstract]
#15 #3 AND #13 AND #14
```

图 1 | PubMed 数据库检索策略

1.1.8 检索文献量 初步检索得到 413 篇相关文章, 其中英文 331 篇, 中文 82 篇。

### 1.2 纳入与排除标准

1.2.1 纳入标准 ①纳入的文献类型必须为随机对照试验 (RCT); ②试验设计的干预方法为 BFRT/ 加压训练, 并且干预的部位必须为上肢; ③论文中对加压部位、血流限制程度以及训练变量有详细的说明。

1.2.2 排除标准 ①重复发表的文献排除; ②会议摘要、综述文献、动物实验以及案例报告排除; ③与 BFRT 在上肢的应用研究相关性差的文献排除; ④无实验数据及实验结果的文献排除; ⑤质量低、可信度不高的文献; ⑥无法下载阅读全文的文献。

1.3 数据提取和质量评估 计算机初步检索得到 413 篇相关文章 (英文 331 篇, 中文 82 篇), 其中中国知网检索到 26 篇, 万方检索到 30 篇, 维普检索到 4 篇, CBM 检索到 22 篇, PubMed 检索到 23 篇, Embase 检索到 20 篇, EBSCO 检索到 30 篇, Cochrane Library 检索到 168 篇, Web of Science 检索到 90 篇。利用 EndNote X9 软件筛选去除重复的文献, 剔除会议摘要、综述文献、动物实验以及案例报告后得到初筛的 298 篇文献 (英文 262 篇, 中文 36 篇), 再依据文献的纳入标准的排除标准, 通过阅读题目、摘要以及全文阅读后最终纳入 25 篇文献进行综述, 其中英文 21 篇、中文 4 篇。检索流程图见图 2。

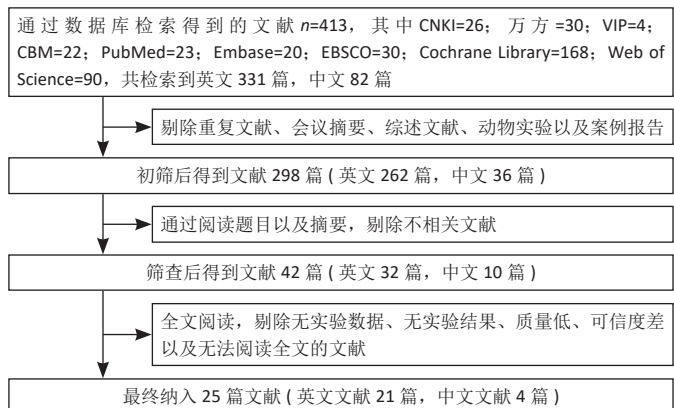


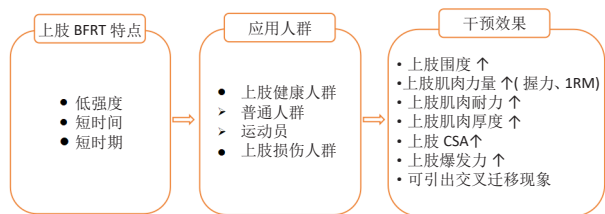
图 2 | 文献筛选流程图

## 2 结果 Results

2.1 BFRT 的应用人群及对上肢肌肉适能效益的影响 研究表明, 血流限制下进行的低强度抗阻训练对肌肉适能所产生的效益与传统高强度的抗阻训练相似, 不仅可以增加肌肉力量、围度以及肌肉激活程度<sup>[15]</sup>, 还不会使损伤指数增加<sup>[16]</sup>, 进而降低运动损伤的风险。BFRT 作为一种新型的训练方式有着“低强度”“短时间”“短时期”的优势, 目前有关 BFRT 在上肢的应用研究主要集中在健康人群和上肢损伤人群, 其主要的干预效果体现在增加上肢肢体围度、肌肉力量、肌肉耐力、肌肉厚度、肌肉横截面积以及上肢爆发力, 详见图 3。

### 2.1.1 上肢健康人群

(1) 普通人群: 随着 BFR 设备的不断革新, 应用方案的不断完善, 国内外大量研究均证实健康的年轻人群中应用 BFRT 能够使上肢肌肉的力量、围度以及横截面积明显增加<sup>[17-21]</sup>, 与传统的抗阻训练相比, BFRT 的训练负荷较低 (20%–30%1RM), 在一定程度上增强了训练的安全性。另有研究指出, 6 周上肢的 BFRT 结果表明, 低强度的 BFRT 不仅能



图注：1RM 为 1 次重复最大收缩；CSA 为肌肉横截面积；BFRT 为血流限制训练；图中箭头 ↑ 表示增加

图 3 | BFRT 在上肢的应用人群及干预效果图

够增加受试者上肢近端肌群和远端肌群的力量，还可以使未佩戴加压装置侧肢体的握力显著增加<sup>[22]</sup>，这表明 BFRT 对对侧肢体的肌肉力量增长也有一定的影响。此外，低负荷的 BFRT 在增加上肢力量的同时还增加了受试者的肌肉厚度，而研究发现这种肌肉厚度的增加与水肿无关，并且低负荷的 BFRT 引起的肌肉厚度的增加要早于肌肉力量的增加<sup>[23]</sup>。近期的一项研究发现，与单独进行低强度运动相比，上肢进行 8 周的低强度 BFRT 可以更大程度地增加肩部和手臂的肌肉质量、肌肉力量和肌肉耐力，而研究者将这一发现归因于使用血流限制时肩部肌肉能够更大程度的激活<sup>[24]</sup>。事实上，以往的研究已经证实了 BFRT 能够使肌肉更大程度激活，该研究将体表电极置于肱二头肌，通过记录肌电图研究后发现，低强度的肌肉收缩结合上肢适度限制 (160 mmHg, 1 mmHg=0.133 kPa) 血液流动，能够引起相对于外部负荷更强烈的肌肉激活<sup>[25]</sup>，这一发现为低强度的 BFRT 能够增强上肢肌肉力量提供了更为可靠理论依据。

同时，在健康年轻人中的实际应用研究中发现，BFRT 与其他训练方式联合使用对上肢肌肉适能效益的影响也是积极的。在等速训练中，通过 4 周后对比低负荷血流限制阻力训练与低负荷抗阻训练 (RT) 的训练效果发现，与低负荷抗阻训练组 (25.8%) 相比，低负荷血流限制阻力训练组的前臂屈伸肌的向心峰力矩增加幅度更大 (36.9%)，但在第 2 周和第 4 周训练后，两组肱二头肌的肌肉横截面积和肌肉厚度均有相似的增加<sup>[26]</sup>，这表明在等速训练中应用低负荷 BFRT 来提高上肢肌肉力量的效果更明显。这一结论在另一项研究中也得到了证实，在经过为期 4 周等速前臂屈伸动作的低强度 BFRT 训练后，受试者的前臂肌肉厚度、向心峰力矩以及最大随意等长收缩 (MVIC) 的数值均显著增加<sup>[23]</sup>，可见等速训练与 BFRT 相结合对前臂肌肉力量的增长有较好的训练效果。另外，还有研究发现，与对照组相比，上肢低强度的 BFRT 结合高强度的抗阻训练在增大肌肉横截面积和提高肌肉力量等方面也有明显的优势，并指出这两种训练方式联合使用可能是促进力量适应的有效训练方案<sup>[18]</sup>。

此外，基于 BFRT “低强度”“短时间”“短时期”的显著优势，已有学者尝试将其应用于健康老年人上肢肌肉适能的改善方面，取得了一定的成果。例如，有学者在进行 12 周 BFRT 后发现，BFRT 组的健康老年人肘屈肌 (17.6%) 和伸肌 (17.4%) 的肌肉横截面积增加，肘屈曲 (7.8%) 和肘关节伸展 (16.1%) 的最大自主等距收缩能力均有提高，并且低强度的 BFRT 对健康老年人的动脉僵硬没有负面影响<sup>[27]</sup>。此外，有研究通过年轻人和老年人进行 BFRT 后的对比发现，4 周的 BFRT 在增加年轻人的肌肉力量、肌肉围度和血液供应方面有效，但在老年人中，只增加肌肉力量和肌肉围度，该研究指出更长的训练时间或更大的训练量可能会引起老年人类似的血管适应<sup>[28]</sup>。

(2) 运动员：BFRT 作为一种新型的力量训练方式，近年来被广泛应用于竞技体育的体能训练领域。对于游泳、羽毛球等以上肢训练为主专项运动的运动员来说，上肢肌肉质量和力量的维持或提高是降低受伤风险的重要基础，也是运动员提升竞技能力的重要影响因素<sup>[29]</sup>。有研究应用血流限制对游泳专项学生的卧姿划船训练动作进行干预，经过 6 周的试验后发现，虽然加压干预与常规训练对上肢围度的影响基本相同，但是血流限制下进行卧姿划船训练组的上肢最大力量提升效果明显，并且这种训练方式对游泳专项学生的上肢爆发力有十分积极的影响<sup>[21]</sup>。另一项研究则发现，羽毛球专选学生经过 8 周的 BFRT 后，上肢的围度、肌肉力量以及肌肉含量均有不同程度的增长，并且对羽毛球掷远测试指标具有较好的干预效果<sup>[30]</sup>。然而，在上肢和下肢同时应用血流限制进行联合训练的研究中发现，这种训练方式在增加肌肉厚度和力量方面有更好

的训练效果<sup>[31]</sup>，并且有研究还发现，在安全合理的限制压力范围内，随着上肢加压负荷的不断提升，青少年篮球运动员的卧推成绩在一定程度上提升的越明显<sup>[32]</sup>。此外，最新一项研究指出，对于网球和羽毛球等持拍性运动项目而言，推荐采用上下肢结合的加压抗阻训练方式<sup>[33]</sup>，因为这种训练方式在一定程度上更有助于提高专项运动员的训练效果。

2.1.2 上肢损伤人群 事实上，对于大多数因各种原因导致上肢损伤并处于康复阶段的患者来说，往往会因为制动或受损肢体的活动量明显不足等原因，使其上肢的肌肉量及肌力明显不如健侧或同年龄段的正常群体。上肢的 BFRT 不仅能够帮助下肢损伤后处于康复阶段的患者增强肌肉力量，改善关节活动度，还能够有效减轻疼痛和功能障碍的程度。

有研究提出，低强度的 BFRT 可能是增强肩部预防性训练或康复效果较为合适的训练方法<sup>[24]</sup>。近期有研究证实，与传统训练方案相比，6 周 30%1RM 的 BFRT 不仅可以有效提高投掷式或过顶式项目肩袖损伤大学生肩关节的外旋及内旋肌群的肌肉力量、增加关节活动范围、提高肩关节功能，还能明显降低抗阻训练后的疼痛程度<sup>[34]</sup>。此外，对于骨折患者而言，CANCIO 等<sup>[35]</sup>的研究发现 8 周的 BFRT 能够明显减轻桡骨远端骨折患者腕关节活动时的疼痛程度，并且改善其腕关节功能，增强握力。随后，SGROMOLO 等<sup>[36]</sup>在上述研究的基础上又以 9 例桡骨远端骨折患者为研究对象，进一步探究了 BFRT 的有效性和安全性，结果表明 BFRT 能够明显改善腕关节的疼痛和功能障碍，并且在训练过程中患者均耐受治疗，没有明显并发症，可见低强度的 BFRT 训练不仅在一定程度上减轻骨折患者的疼痛，还极大提高了骨折术后的有效性和安全性。

综上所述，大部分研究均证实 20%-30%1RM 的 BFRT 能够增加上肢的肢体围度、肌肉的力量、肌肉耐力、肌肉厚度、肌肉横截面积以及上肢爆发力，并且一侧上肢的 BFRT 对对侧肢体的力量增长也有着十分积极的影响，而这种短时期内单侧肢体进行一段时间抗阻训练后，对侧肢体会表现出一定比例的力量增长的现象叫做交叉迁移现象<sup>[37]</sup>。此外，基于 BFRT 低强度的训练特点，将 BFRT 作为预防老年人肌肉萎缩、增强运动员肌肉力量以及运动损伤后的康复手段在一定程度上已经成为今后发展的一种趋势，不仅能够达到与传统抗阻训练相似的训练效果，在安全性、个体适应性等方面还要更优于传统训练方式。

2.2 上肢应用 BFRT 的具体方案 在实际应用过程中，BFRT 会受到血流限制程度、训练变量以及个体特征影响，主要体现在袖带宽度、限制压力、训练负荷、训练量、间歇时间、训练频率以及间歇方式等方面，BFRT 在上肢应用的具体方案见表 1。

2.2.1 袖带宽度 血流限制装置一般分为充气型和非充气型两类，在上肢应用研究中主要使用充气型的血流限制装置，加压部位为上臂上 1/3 处附近，多数研究者倾向于使用 3 cm 和 5 cm 的袖带<sup>[19, 23, 27, 34]</sup>。有学者对比两种不同宽度袖带的研究发现，应用 5 cm 和 10 cm 宽的袖带进行 BFRT 后上肢肌肉的 1RM 值和肘屈肌的横截面积增加程度相似<sup>[38]</sup>。DANKEL 等<sup>[39]</sup>的研究也证实使用 3 cm 和 5 cm 宽的袖带进行 BFRT 后均对肌肉产生了相似急性反应，都有利于肌肉的生长。然而，也有研究持有不同的观点，发现与 4 cm 的窄袖带对比，只有应用 10 cm 宽的袖带进行 BFRT 才能够对上肢卧推训练过程中的速度和输出功率有影响，这表明袖带宽度是决定 BFRT 期间急性运动适应的关键因素<sup>[40]</sup>。具体应用研究见表 2。虽然大部分的应用研究均详细描述了使用血流限制进行上肢训练时的袖带宽度，但是仍有部分研究并未对袖带宽度进行说明<sup>[17-18, 20-21, 26, 35-36]</sup>，这影响了不同研究间的可比性，对于如何选择最佳的袖带宽度还需进一步的深入研究。

2.2.2 限制压力 目前，多数研究上肢的 BFRT 都将压力值设置为肢体动脉闭塞压 (arterial occlusion pressure, AOP) 的 40%-60%<sup>[20, 22-24, 26, 34-36]</sup>，也有部分研究则根据前人经验设定压力范围在 80-160 mmHg 的较多<sup>[17-18, 21, 28]</sup>，不同的限制压力对血流限制干预效果有着极为重要的影响。有研究指出，部分血流限制 (50 mmHg) 下能够产生更大的握力<sup>[41]</sup>，150 mmHg 压力下的 BFRT 在增加肌肉围度、力量增长方面效果更好<sup>[42]</sup>，160 mmHg 的适度限制血液流动条件下，能够引起更强烈的肌肉激活<sup>[25]</sup>，而对于羽毛球专选学生来说，160 mmHg 结合 30%1RM 的加压训练对肌肉围度 (大臂)、肌肉含量 (右)、上肢 1RM、羽毛球掷远测试指标具有最佳的干预效果，120 mmHg 结合 30%1RM 的加压训练对屈臂悬垂测试指标具有最佳的干预效果<sup>[30]</sup>。此外，有部分研究发现较高限制压力下的

表 1 | 上肢应用血流限制训练的具体方案

研究者	受试者	血流限制程度		训练变量			
		袖带宽度	限制压力	训练负荷	训练量	间歇时间	训练频率
YASUDA 等 <sup>[17]</sup> (2010)	10 名年轻男性	-	100-160 mmHg	30%1RM	4 组, 30-15-15-15 次	30 s	2 次/d, 6 d/周, 2 周
YASUDA 等 <sup>[18]</sup> (2011)	40 名年轻男性	-	100-160 mmHg	30%1RM	4 组, 30-15-15-15 次	30 s	3 次/周, 6 周
WEATHERHOLT 等 <sup>[19]</sup> (2013)	40 名健康大学生	3 cm	90-180 mmHg	20%1RM	3 组, 15-15-15 次	1 min	3 次/周, 8 周
YASUDA 等 <sup>[27]</sup> (2015)	17 名健康老年人	3 cm	120-270 mmHg	弹力带低负荷运动	4 组, 30-15-15-15 次	30 s	2 次/周, 12 周
KIM 等 <sup>[28]</sup> (2017)	9 名老年人 8 名年轻人	16 cm	老年人: 160 mmHg 年轻人: 150 mmHg	20%MVC	3 组, 至疲劳	1 min	3 次/周, 4 周
CANCIO 等 <sup>[35]</sup> (2019)	13 名桡骨远端骨折闭合复位固定后患者	-	50%AOP	依据标准康复方案	4 组, 30-15-15-15 次	30 s	2-3 次/周, 8 周
SGROMOLO 等 <sup>[36]</sup> (2020)	9 名桡骨远端骨折手术固定后患者	-	50%AOP	依据标准康复方案	4 组, 30-15-15-15 次	30 s	2-3 次/周, 8 周
BRUMITT 等 <sup>[20]</sup> (2020)	46 名健康大学生	-	50%AOP	30%1RM	4 组, 30-15-15-15 次	30 s	2 次/周, 8 周
BOWMAN 等 <sup>[22]</sup> (2020)	24 名健康人	10.16 cm	60%AOP	30%1RM	4 组, 30-15-15-15 次	30 s	2 次/周, 6 周
HILL 等 <sup>[26]</sup> (2020)	30 名健康女性	-	40%AOP	30% 峰力矩	4 组, 30-15-15-15 次	30 s	3 次/周, 4 周
刘振宇 <sup>[21]</sup> (2020)	12 名游泳专项大学生	-	100 mmHg	15RM	5 组, 力竭	3 min	3 次/周, 6 周
LAMBERT 等 <sup>[24]</sup> (2021)	32 名健康成人	11.5 cm	50%AOP	20%1RM	4 组, 30-15-15-15 次	30 s	2 次/周, 8 周
HILL 等 <sup>[23]</sup> (2021)	20 名健康女性	3 cm	40%AOP	30% 峰力矩	4 组, 30-15-15-15 次	30 s	3 次/周, 4 周
宋嘉琦 <sup>[34]</sup> (2022)	66 名肩袖损伤大学生	5 cm	40%AOP	30%1RM	4 组, 30-15-15-15 次	30 s	3 次/周, 6 周

表注: “-”为文献中未提及; AOP 为动脉闭塞压; 1RM 为 1 次重复最大收缩; MVC 为最大自主收缩; 1 mmHg=0.133 kPa

表 2 | 血流限制训练在上肢应用中不同袖带宽度的研究

研究者	受试者	袖带宽度	研究结果
LAURENTINO 等 <sup>[38]</sup> (2016)	14 名健康男性大学生	5 cm 10 cm	使用两种袖带进行血流限制训练后均产生了相似的 1RM 和肘屈肌肌肉横截面积增加
DANKL 等 <sup>[39]</sup> (2017)	15 名健康人	3 cm 5 cm	两种干预方案产生了相似的急性反应, 均能够促进肌肉生长
WILK 等 <sup>[40]</sup> (2022)	14 名健康男性	4 cm 10 cm	宽袖带显著影响了运动过程中杠铃的速度和输出功率

表注: 1RM 为 1 次重复最大收缩

BFRT 效果更好, 低负荷高压 (80%AOP) 下能够使感知反应提高明显<sup>[43]</sup>, 而对于力量训练者而言, 150%AOP 的 BFRT 能够显著增加 1RM 值以及卧推运动期间的肌肉耐力<sup>[44]</sup>。总之, 需要注意的是, 上肢的 BFRT 压力值设定还受袖带宽度、肢体围度以及训练人群不同等因素的影响, 同一压力值不一定能将每个人的血流量限制在同一水平<sup>[45]</sup>, 因此要根据实际情况限制压力。BFRT 在上肢应用中不同限制压力研究见表 3。

表 3 | 血流限制训练在上肢应用中不同限制压力的研究

研究者	受试者	限制压力	研究结果
YASUDA 等 <sup>[25]</sup> (2009)	10 名健康男性学生	0 mmHg 160 mmHg 300 mmHg	160 mmHg 的适度限制血液流动条件下, 能够引起更强烈的肌肉激活
BELL 等 <sup>[43]</sup> (2018)	22 名健康人	0%AOP 40%AOP 80%AOP	低负荷高压下的血流限制训练能够使感知反应提高明显
WILK 等 <sup>[44]</sup> (2020)	12 名健康男性力量训练者	无 BFR 100%AOP 150%AOP	150%AOP 的血流限制训练能够显著增加 1RM 值以及卧推运动期间的肌肉耐力
GUJRAL 等 <sup>[41]</sup> (2021)	39 名学生	0 mmHg 50 mmHg 75 mmHg	部分血流限制 (50 mmHg) 下能够产生更大的握力
康红梅 <sup>[30]</sup> (2021)	18 名羽毛球专项男性学生	80 mmHg 120 mmHg 160 mmHg	160 mmHg 结合 30%1RM 的加压训练对肌肉围度 (大臂)、肌肉含量 (右)、上肢 1RM、羽毛球掷远测试指标具有最佳的干预效果, 120 mmHg 结合 30%1RM 的加压训练对屈臂悬垂测试指标具有最佳的干预效果
何穗 <sup>[42]</sup> (2022)	36 名大学生	0 mmHg 100 mmHg 150 mmHg	150 mmHg 压力下的血流限制训练在增加肌肉围度、力量增长方面效果更好

表注: AOP 为动脉闭塞压; 1RM 为 1 次重复最大收缩; 1 mmHg=0.133 kPa

2.2.3 训练负荷和训练量 BFRT 在上肢的应用研究中大多采用的训练负荷为 20%-30%1RM<sup>[17-20, 22, 24, 34]</sup>, 而在等速训练中介入血流限制时, 训练负荷一般为 30% 峰力矩<sup>[23, 26]</sup>, 这种低负荷的 BFRT 能够有效的增加肌肉的横截面积, 提高肌肉力量。与传统训练不同的是, 上肢的 BFRT 以 4 组/75 次的训练方案为主, 即第 1 组重复 30 次, 第 2, 3, 4 组各重复

15 次, 第 1 组之所以进行较多的重复次数, 主要是因为 BFRT 的强度较小, 较多的重复可以引起足够的代谢刺激, 从而使肌肉产生疲劳<sup>[45]</sup>, 而较短的间歇时间可以提高后续练习中的代谢压力。

2.2.4 间歇时间和训练频率 在上肢的训练过程中, 基于 BFRT “低负荷、多重复” 的训练特点, 其训练的组间间歇时间多为 30-60 s<sup>[17-20, 22-24, 26-28, 34-36]</sup>, 且大部分应用研究的训练频率集中于每周两三次<sup>[17-24, 26-28, 34-36]</sup>, 每次训练之间至少间隔 48 h 以上, 训练持续的时间多为 4-12 周<sup>[18-24, 26-28, 34-36]</sup>, 值得一提的是, 若老年人想通过 BFRT 引起血管的适应可能会需要更长的训练时间<sup>[28]</sup>。

2.2.5 间歇方式 从现有研究来看, 针对上肢的 BFRT 间歇方式的研究有限, 大部分有关 BFRT 在上肢的应用研究中未具体描述训练的间歇方式, 而目前的两项研究所得出的结论也存在争议。NETO 等<sup>[46]</sup>的研究指出, 间歇性血流限制 (整个训练过程中只有训练时加压) 与连续性血流限制 (整个训练过程中持续加压) 的训练效果没有区别, 但间歇性血流限制似乎对不同人群更安全, 而另有研究发现, 持续的血流限制干预效果更好<sup>[47]</sup>。虽然对于上肢的 BFRT 如何采取间歇方式尚未有统一结论, 但是在其他研究中有学者建议 BFRT 过程中休息期间也应保持闭塞刺激<sup>[48]</sup>。此外, 还要注意的 BFRT 训练时总的加压时间不宜过长, 建议将时间控制在 30 min 以内, 从而避免因长时间加压而导致的肢体处于一个相对缺血和缺氧的状态。BFRT 在上肢应用中不同间歇方式的研究见表 4。

表 4 | 血流限制训练在上肢应用中不同间歇方式的研究

研究者	受试者	间歇方式	研究结果
BRANDNER 等 <sup>[47]</sup> (2015)	12 名年轻男性	持续血流限制 间歇血流限制	持续血流限制组的干预效果较好
NETO 等 <sup>[46]</sup> (2019)	25 名健康男性	持续血流限制 间歇血流限制	间歇性血流限制与连续性血流限制训练效果没有区别, 但间歇性血流限制似乎对不同人群更安全

综上所述, 基于现有的 BFRT 在上肢中的相关应用研究, 此次综述总结了 BFRT 的训练方案建议, 具体内容见表 5。当然, 在实际应用中还应该结合具体情况做适当的调整, BFRT 训练的组织者还应该明确 BFRT 的禁忌证<sup>[49]</sup>, 目前 BFRT 的禁忌证主要包括 5 个方面: ①血管血液方面: 有周围血管疾病、肢体深静脉血栓、血栓性静脉炎、血栓闭塞性脉管炎、抗磷脂抗体综合征、血栓病等; ②心肺方面: 心力衰竭、心肌梗死、心绞痛、心肌炎、肺水肿、肺栓塞、肺梗死等; ③神经感觉方面: 周围神经损伤、感觉神经损伤、神经感觉功能障碍等; ④肢体皮肤方面: 肢体畸形者、皮炎、坏疽和近期皮肤移植者等; ⑤其他方面: 对加压材料, 加压压力过敏、孕妇等。此外, 还要熟练掌握血流限制设备的使用和简单问题的处理, 保证在安全的前提下进行 BFRT, 从而达到理想的训练效果。

表 5 | 上肢应用血流限制的训练方案建议

影响因素	建议使用
袖带种类	充气型的血流限制装置
袖带宽度	3-5 cm
加压位置	大臂上 1/3 处
限制压力	40%-60%AOP, 或 80-160 mmHg 老年人限制压力可略低, 运动员或力量训练者可适当增加压力
训练负荷	20%-30%1RM
训练量	4 组, 30-15-15 次
间歇时间	30-60s
训练频率	每周两三次
间歇方式	间歇加压更安全, 适合血流限制训练初期使用者或老年人持续加压 适合有经验的血流限制训练者, 但总加压时间应 ≤ 30 min

表注: AOP 为动脉闭塞压; 1RM 为 1 次重复最大收缩; 1 mmHg=0.133 kPa

### 3 讨论 Discussion

**3.1 既往他人在该领域研究的贡献和存在的问题** 既往的研究表明, BFRT 在上肢的应用研究主要集中在上肢健康人群和上肢损伤人群。目前, 20%-30%1RM 的 BFRT 在增加上肢的肢体围度、肌肉的力量、肌肉耐力、肌肉厚度以及肌肉横截面积等方面的作用已得到证实。现有研究显示, BFRT 不仅能够增强以上肢训练为主专项运动员的上肢爆发力, 减轻骨折患者的疼痛, 还能够引出交叉迁移现象。针对上肢 BFRT 的具体训练方案, 大多数研究使用充气型的血流限制装置, 袖带宽度为 3-5 cm, 加压位置在大臂上 1/3 处, 训练负荷为 20%-30%1RM, 训练量为 4 组 (30-15-15-15 次), 间歇时间为 30-60 s, 训练频率为每周两三次, 限制压力和间歇方式是在参考前人经验的同时, 根据个体的情况而设定。迄今为止, 尽管 BFRT 在上肢的应用研究取得了一定的进展, 但以运动员和上肢损伤人群为研究对象的相关应用研究还很有限, 其干预效果也存在一定局限性, 对于 BFRT 在上肢应用的最优训练方案仍需进一步探究。

**3.2 作者综述区别于他人他篇的特点** 尽管由现有研究可见, BFRT 已广泛应用于预防医学、康复医学、航天医学以及竞技体育等各个领域<sup>[50]</sup>, 但大部分的应用研究主要集中于下肢。基于此, 该综述着眼于 BFRT 在上肢的应用研究, 对现有研究 BFRT 应用人群和干预效果进行分析, 进而探究 BFRT 对不同人群上肢肌肉适能效益的影响, 同时对 BFRT 在上肢应用的具体训练方案进行归纳总结, 进而给出上肢应用 BFRT 的训练方案建议, 旨在为后续上肢 BFRT 的应用研究提供一定的参考。

**3.3 综述的局限性** 目前, 国内外现有涉及运动员和上肢损伤人群应用 BFRT 的相关研究相对有限, 且 BFRT 对上肢所产生的交叉迁移现象也只得到了初步的证实。基于此, 未来是否能够利用 BFRT 来诱导交叉迁移现象进行训练还有待更深入的研究。此外, 上肢应用 BFRT 间歇方式的应用研究较少, 得出的结论尚不统一, 推荐上肢采用哪种间歇方式的理论依据还相对不足, 建议可以根据所应用的人群和前人经验, 在保证安全的前提下, 来选择持续血流限制或间歇血流限制。

**3.4 综述的重要意义** 该综述聚焦 BFRT 在上肢的应用研究, 针对不同人群应用 BFRT 对上肢的干预效果和具体训练方案进行探究, 旨在为后续 BFRT 在上肢的应用研究提供一定的理论参考。目前, 基于对现有文献的综述, 建议未来关于上肢应用 BFRT 的研究应注意: ①扩大 BFRT 的应用人群, 在现有研究的基础上丰富 BFRT 的应用对象; ②进一步探寻上肢个性化的 BFRT 应用方案, 以便在安全有效的前提下开展临床应用; ③将上肢的 BFRT 与相关运动项目运动员的专项训练相结合, 并在长期的训练中进行周期性的评估; ④记录不良事件, 了解 BFRT 的相关风险, 进一步探究 BFRT 的安全性和适应性。

**致谢:** 感谢沈阳体育学院为此次研究提供良好的资料收集平台, 感谢郭英杰副教授的细心指导和帮助。

**作者贡献:** 张玥收集与查阅文献并设计撰写综述, 程杨和杨婷婷负责收集相关的文献资料, 郭英杰副教授负责评估与审核。

**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稿宗旨。

### 4 参考文献 References

- [1] SATO Y. The history and future of KAATSU Training. *Int J Kaatsu Train Res.* 2005;1(1):1-5.
- [2] 陈科奕, 王定宣, 张梦瑶. 加压四肢低负荷训练对核心肌群的表面肌电和等速屈伸肌力的影响 [J]. *中国组织工程研究*, 2022,26(17):2744-2748.
- [3] GRØNFELDT BM, LINDBERG NIELSEN J, MIERITZ RM, et al. Effect of blood-flow restricted vs heavy-load strength training on muscle strength: Systematic review and meta-analysis. *Scand J Med Sci Sports.* 2020;30(5):837-848.
- [4] 牛严君, 乔玉成, 范艳芝. 加压训练对受试者肌肉形态和功能的影响: Meta 分析 [J]. *首都体育学院学报*, 2020,32(1):25-34+86.
- [5] 车同同, 李志远, 杨铁黎, 等. 6 周低强度加压组合高强度抗阻训练对青少年女子摔跤运动员身体核心区和下肢肌肉力量的影响 [J]. *首都体育学院学报*, 2022,34(3):333-341.
- [6] 耿宇, 吴雪萍. 血流限制与高强度组合力量训练对残奥高山滑雪运动员下肢肌肉肌力和募集能力的影响 [J]. *体育科学*, 2021,41(8):19-24.
- [7] WORTMAN RJ, BROWN SM, SAVAGE-ELLIOTT I, et al. Blood Flow Restriction Training for Athletes: A Systematic Review. *Am J Sports Med.* 2021;49(7):1938-1944.
- [8] FERRAZ RB, GUALANO B, RODRIGUES R, et al. Benefits of Resistance Training with Blood Flow Restriction in Knee Osteoarthritis. *Med Sci Sports Exerc.* 2018;50(5):897-905.
- [9] JARDIM RAC, DE SOUSA TS, DOS SANTOS WNN, et al. Blood flow restriction with different load levels in patients with knee osteoarthritis: protocol of a randomized controlled trial. *Trials.* 2022;23(1):41.
- [10] HUGHES L, PATON B, HADDAD F, et al. Comparison of the acute perceptual and blood pressure response to heavy load and light load blood flow restriction resistance exercise in anterior cruciate ligament reconstruction patients and non-injured populations. *Phys Ther Sport.* 2018;33:54-61.
- [11] 李奇, 李蕊, 罗昌禄, 等. 血流限制性运动对前交叉韧带重建术后膝关节功能的影响 [J]. *广东医学*, 2019,40(10):1405-1408.
- [12] KILGAS MA, LYTLE LLM, DRUM SN, et al. Flow Restriction to Improve Quadriceps Function Long After ACL Reconstruction. *Int J Sports Med.* 2019;40(10):650-656.
- [13] 陈蓉, 曾庆, 巩泽, 等. 不同模式下血流限制治疗老年性肌肉减少症的效果与安全因素 [J]. *中国组织工程研究*, 2021,25(32):5215-5221.
- [14] BARBALHO M, ROCHA AC, SEUS TL, et al. Addition of blood flow restriction to passive mobilization reduces the rate of muscle wasting in elderly patients in the intensive care unit: a within-patient randomized trial. *Clin Rehabil.* 2019;33(2):233-240.
- [15] 李新通, 潘玮敏, 覃华生, 等. 血流限制训练: 加速肌肉骨骼康复的新方法 [J]. *中国组织工程研究*, 2019,23(15):2415-2420.
- [16] WILSON JM, LOWERY RP, JOY JM, et al. Practical blood flow restriction training increases acute determinants of hypertrophy without increasing indices of muscle damage. *J Strength Cond Res.* 2013;27(11):3068-3075.
- [17] YASUDA T, FUJITA S, OGASAWARA R, et al. Effects of low-intensity bench press training with restricted arm muscle blood flow on chest muscle hypertrophy: a pilot study. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2010;30(5):338-343.
- [18] YASUDA T, OGASAWARA R, SAKAMAKI M, et al. Combined effects of low-intensity blood flow restriction training and high-intensity resistance training on muscle strength and size. *Eur J Appl Physiol.* 2011;111(10):2525-2533.
- [19] WEATHERHOLT A, BEEKLEY M, GREER S, et al. Modified Kaatsu training: adaptations and subject perceptions. *Med Sci Sports Exerc.* 2013;45(5):952-961.
- [20] BRUMITT J, HUTCHISON MK, KANG D, et al. Blood Flow Restriction Training for the Rotator Cuff: A Randomized Controlled Trial. *Int J Sports Physiol Perform.* 2020;15(8):1175-1180.

- [21] 刘振宇. 卧姿划船动作加压抗阻训练对游泳专项学生上肢力量的影响研究 [D]. 北京: 北京体育大学, 2020.
- [22] BOWMAN EN, ELSHAAR R, MILLIGAN H, et al. Upper-extremity blood flow restriction: the proximal, distal, and contralateral effects—a randomized controlled trial. *J Shoulder Elbow Surg.* 2020;29(6):1267-1274.
- [23] HILL EC, HOUSH TJ, KELLER JL, et al. Patterns of responses and time-course of changes in muscle size and strength during low-load blood flow restriction resistance training in women. *Eur J Appl Physiol.* 2021;121(5):1473-1485.
- [24] LAMBERT B, HEDT C, DAUM J, et al. Blood Flow Restriction Training for the Shoulder: A Case for Proximal Benefit. *Am J Sports Med.* 2021;49(10):2716-2728.
- [25] YASUDA T, BRECHUE WF, FUJITA T, et al. Muscle activation during low-intensity muscle contractions with restricted blood flow. *J Sports Sci.* 2009;27(5):479-489.
- [26] HILL EC, HOUSH TJ, KELLER JL, et al. Low-load blood flow restriction elicits greater concentric strength than non-blood flow restriction resistance training but similar isometric strength and muscle size. *Eur J Appl Physiol.* 2020;120(2):425-441.
- [27] 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.
- [28] 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;99:127-132.
- [29] 魏佳, 李博, 杨威, 等. 血流限制训练的应用效果与作用机制 [J]. *体育科学*, 2019,39(4):71-80.
- [30] 康红梅. 不同剂量加压训练对羽毛球专项学生上肢专项力量的影响研究 [D]. 长春: 东北师范大学, 2021:15-43.
- [31] YAMANAKA T, FARLEY RS, CAPUTO JL. Occlusion training increases muscular strength in division IA football players. *J Strength Cond Res.* 2012;26(9):2523-2529.
- [32] 郑林. 血流限制训练对青少年运动员篮球专项力量素质的影响研究 [D]. 昆明: 云南师范大学, 2021:15-54.
- [33] 李志远, 虞松坤, 楼恒阳, 等. 加压训练对大学生男子网球运动员最大力量和灵敏素质的影响 [J]. *福建体育科技*, 2022,41(3):49-54.
- [34] 宋嘉琦. BFR 训练对过顶投掷式项目肩袖损伤大学生肩关节功能影响的研究 [D]. 西安: 西安体育学院, 2022:9-22.
- [35] CANCIO JM, SGROMOLO NM, RHEE PC. Blood Flow Restriction Therapy after Closed Treatment of Distal Radius Fractures. *J Wrist Surg.* 2019;8(4):288-294.
- [36] SGROMOLO NM, CANCIO JM, RHEE PC. Safety and Efficacy of Blood Flow Restriction Therapy after Operative Management of Distal Radius Fractures: A Randomized Controlled Study. *J Wrist Surg.* 2020;9(4):345-352.
- [37] 王永超, 王保臣, 魏祝颖等. 血流限制法对交叉迁移现象的诱导及肌肉功能重建的作用 [J]. *中国组织工程研究*, 2022,26(17):2762-2767.
- [38] LAURENTINO GC, LOENNEKE JP, TEIXEIRA EL, et al. The Effect of Cuff Width on Muscle Adaptations after Blood Flow Restriction Training. *Med Sci Sports Exerc.* 2016;48(5):920-925.
- [39] DANKEL SJ, BUCKNER SL, COUNTS BR, et al. The acute muscular response to two distinct blood flow restriction protocols. *Physiol Int.* 2017;104(1):64-76.
- [40] WILK M, KRZYSZTOFIK M, FILIP A, et al. Short-Term Blood Flow Restriction Increases Power Output and Bar Velocity During the Bench Press. *J Strength Cond Res.* 2022;36(8):2082-2088.
- [41] GUJRAL T, SUBBURAJ J, SHARMA K. Effect of moderate intensity resistance training with blood flow restriction on muscle strength and girth in young adults—a randomized control trial. *J Complement Integr Med.* 2021. doi: 10.1515/jcim-2021-0271.
- [42] 何穗. 血流限制抗阻训练对大学生上肢肌适能的影响 [D]. 武汉: 江汉大学, 2022.
- [43] BELL ZW, BUCKNER SL, JESSEE MB, et al. Moderately heavy exercise produces lower cardiovascular, RPE, and discomfort compared to lower load exercise with and without blood flow restriction. *Eur J Appl Physiol.* 2018;118(7):1473-1480.
- [44] WILK M, KRZYSZTOFIK M, FILIP A, et al. The Acute Effects of External Compression With Blood Flow Restriction on Maximal Strength and Strength-Endurance Performance of the Upper Limbs. *Front Physiol.* 2020;11:567.
- [45] 魏佳, 李博, 冯连世, 等. 血流限制训练的方法学因素及潜在在安全性问题 [J]. *中国体育科技*, 2019,55(3):3-12.
- [46] NETO GR, DA SILVA JCG, FREITAS L, et al. Effects of strength training with continuous or intermittent blood flow restriction on the hypertrophy, muscular strength and endurance of men. *Acta Scientiarum. Health Sciences.* 2019;41: 42273.
- [47] BRANDNER CR, KIDGELL DJ, WARMINGTON SA. Unilateral bicep curl hemodynamics: Low-pressure continuous vs high-pressure intermittent blood flow restriction. *Scand J Med Sci Sports.* 2015;25(6):770-777.
- [48] SCOTT BR, LOENNEKE JP, SLATTERY KM, et al. Exercise with blood flow restriction: an updated evidence-based approach for enhanced muscular development. *Sports Med.* 2015;45(3):313-325.
- [49] 瞿超艺, 覃飞, 徐旻霄, 等. 加压训练在体育应用时的禁忌与风险防范 [J]. *中国体育科技*, 2019,55(5):3-7.
- [50] 刘申, 王硕, 姬卫秀. 加压训练的应用及限制研究进展 [J]. *中国康复医学杂志*, 2022,37(3):421-426.

(责任编辑: ZN, WL, WL, LCH)