

血流限制训练的效果、作用机制与实践策略

陆锦华

(南京体育学院, 南京 210014)

摘要: 运用文献资料法和逻辑分析法, 对血流限制训练的效果、作用机制与实践策略进行了梳理和总结, 为更好实施BFR训练提供参考。发现, BFR训练对骨骼肌的肌肥大和肌肉力量增强具有积极的促进作用。单独使用BFR训练可以减轻康复期间患者的肌肉废用性萎缩, BFR结合低负荷有氧运动可以促进老年群体肌肥大和力量增强。BFR结合低负荷抗阻训练被证明可以使肌肉收益最大化, 锻炼群体和运动员群体均适用, 既可作为一种独立的训练方法也可与传统高负荷抗阻训练相结合。尽管作用机制尚不完全明确, 但代谢应激反应的增强被认为是其主要的的作用机制。血流限制压力参数与训练变量对肌肉的生理反应和训练适应非常重要。血流限制压力参数需要考虑袖带的材质和宽度以及施加的限制压力值和加压部位, 训练变量需要考虑训练类型、训练负荷、训练量、间歇时间和训练频率。BFR结合低负荷抗阻训练, 要确保使用的袖带宽度以及限制压力值适宜, 通常选择完全闭塞动脉血流压力值的50%—80%。训练类型可以选择单关节训练或多关节训练, 训练负荷一般选择20%—40%1RM, 组间间歇时间一般安排30—60秒, 训练量宜维持在较高水平(75次左右), 短时高频次的训练安排是可行的。

关键词: BFR; 血流限制训练; 有氧运动; 抗阻训练; 袖带; 间歇; 训练量; 频次

中图分类号: G804.2

文献标志码: A

文章编号: 1008-3596 (2020) 03-0077-08

血流限制(BFR)是在四肢部位使用某些特殊加压装置(可充气袖带、止血带、弹性包裹物等)来限制血液从收缩的肌肉中流出^[1]。BFR可以单独使用, 也可以结合有氧低负荷运动或结合传统抗阻训练使用。传统训练学理论普遍认为, 只有中高负荷抗阻训练才能引起骨骼肌肌肉的显著性适应, 外部抗阻负荷通常要大于1RM的70%^[2]。但是, 现在有越来越多的证据表明, BFR与低负荷抗阻训练的结合可以发挥促进肌肥大和增强肌肉力量的效果。当前, 有关BFR训练导致肌肉适应性反应的生理机制尚不明确, 实践中对与BFR训练有关的变量设置也存在分歧。本文对BFR训练的效果、作用机制及其实

践策略进行系统梳理与归纳, 以便为更好实施BFR训练提供参考。

1 BFR训练的效果

不同的BFR训练方案可以对不同的参训群体(如康复群体、老年群体、锻炼群体和运动员群体等)产生有益的促进效果。针对康复群体和老年群体的BFR训练通常是单独使用或者是与有氧运动相结合。针对锻炼群体和运动员群体的BFR训练通常与低负荷抗阻训练相结合。

1.1 康复群体和老年群体应用

老年群体会因机能下降而导致运动量不足进而影响肌肉的功能表现。BFR训练诱发的肌肉

收稿日期: 2020-02-16

作者简介: 陆锦华(1974—), 女, 江苏海门人, 讲师, 硕士, 研究方向为体育教育训练学。

文本信息: 陆锦华. 血流限制训练的效果、作用机制与实践策略[J]. 河北体育学院学报, 2020, 34(3): 77-84.

适应对老年群体和康复群体益处良多。研究表明,在肢体固定期间,单独使用BFR训练可以减缓肌肉的正常萎缩并限制肌肉力量的功能下降,有利于加速患者的术后康复。通过限制肌肉体积和力量的功能性下降,康复群体可以获得足够的活动能力,从而更快地进行康复训练、优化康复效果^[3]。BFR与低负荷有氧运动相结合的方式在康复群体和老年群体中运用广泛,例如BFR与步行或骑功率自行车结合,可以使腿部肌肉力量和大小产生显著的改善^[4]。这对术后、病后、伤后的早期恢复特别有益,康复群体在缺乏助力的情况下正常行走较为困难,可以借助负荷非常低的步行或骑车训练获得肌肉横截面积和力量的增加。对健康老年群体而言,BFR与有氧运动结合被证明有增加肌肉围度和力量的效果,但这些有氧运动的强度一般相对较高(储备心率的60%—80%)^[5]。对只能承受非常低的外部负荷的康复群体和老年群体并不适用,一般情况下,康复群体和老年群体只需要选择一些克服自身体重的训练即可。

1.2 锻炼群体和运动员群体应用

锻炼群体和运动员群体需要同时发展肌肉的体积、力量和运动项目所特需的生理素质。BFR结合低负荷抗阻训练可以在降低训练负荷的同时对肌肉适应提供足够的生理刺激,且导致的肌肉损伤相对有限,可能会对锻炼群体和运动员群体有用。利用BFR结合低负荷抗阻训练来替代部分高负荷抗阻训练,对于延长运动寿命也具有积极意义。研究显示,参训群体可以从BFR结合低负荷抗阻训练中获得有益的肌肉适应性。肌肉适应性的改变不仅体现在肌肉体积的增加上,还体现在一系列运动表现指标的提高上,例如最大力量、反向跳跃能力、最大冲刺速度、重复冲刺表现、敏捷性和有氧穿梭跑表现等^[6]。

虽然BFR结合低负荷抗阻训练后,参训者的最大力量得到了改善,但最大力量的增加比例要小于肌肉体积的增加比例,即增肌的效果要好于增加力量的效果。研究表明,BFR结合低负荷抗阻训练后,参训者肌肉的相对力量与训练前相比没有明显变化,这表明肌肉力量的增加可能主要源于肌肉体积的增加,或者说主要源于肌肉

横截面积的增加^[7]。此外,BFR结合低负荷抗阻训练不像传统高负荷抗阻训练会增加肌肉激活,因此无法刺激高阈值运动单元的完全募集。综上所述,进行BFR结合低负荷抗阻训练后,肌肉力量的变化与肌肥大的增加更紧密相关,而不是神经适应性。而在高负荷抗阻训练中,神经适应性变化引起了肌肉力量增加和肌肥大。因此,对于锻炼群体和运动员群体而言,最好不要将BFR结合低负荷抗阻训练作为肌肉发展的唯一手段,与传统抗阻训练结合使用可能会导致最佳的肌肉适应性。有研究证实了BFR结合低负荷抗阻训练与传统高负荷抗阻训练联合运用的益处,该实验将参训者分为三个组^[8]:BFR结合低负荷抗阻训练组(30%1RM)、高负荷抗阻训练组(75%1RM)和联合训练组(每周先进行2次BFR结合低负荷抗阻训练后再安排一次传统高负荷抗阻训练),每周训练3次,持续6周。实验后,高负荷抗阻训练组和联合训练组的1RM升高相似(分别为19.9%和15.3%),高于BFR结合低负荷抗阻训练组(8.7%);高负荷抗阻训练组和联合训练组的相对力量(1RM除以肱三头肌的横截面积)增加(分别为10.5%和6.7%),但BFR结合低负荷抗阻训练组没有发现增加。这些数据证实,虽然在一段时间的BFR结合低负荷抗阻训练后通常不会发生神经适应(通过肌肉相对力量变化来评估),但通过与传统高负荷抗阻训练进行联合运用的方法,可以增强肌肉的功能适应性。有研究证实,在高负荷抗阻训练后补充运用BFR结合低负荷抗阻训练,可以显著增强美式橄榄球运动员的卧推和深蹲1RM。在同一训练课程中先进行高负荷抗阻训练,随后进行BFR结合低负荷抗阻训练,可能会为肌肉的神经适应和形态学增加提供有效的刺激^[9]。有证据显示,运动员群体对BFR结合低负荷抗阻训练的反应可能与运动员的类型有关,耐力跑运动员的代谢压力显著大于短跑运动员。有氧运动能力更强的耐力跑运动员,可能在运动过程中更多地依赖氧气的输送,其能量代谢受到的干扰更大。而短跑运动员更适应由BFR导致的厌氧环境,因此感受到的代谢压力与耐力跑运动员有所不同^[10]。这些发现还

应进一步研究,以评估不同类型运动员之间的代谢压力差异是否确实导致了不同的肌肉适应性。

2 作用机制

尽管BFR训练促进肌肉适应性反应的效果已被反复证明,但对其潜在的作用机制仍未有很好的解释。目前的研究成果,强调各种潜在作用机制间复杂的相互作用,其可能会驱动参训者对缺氧抗阻训练的适应性反应。研究认为代谢压力的增加是导致肌肉适应性反应的主要机制,BFR代谢压力的增加主要涉及代谢信号通路的加强、代谢产物累积的加剧以及其它一些机制。

2.1 代谢信号通路的加强

mTOR蛋白为一种丝胺酸/羟丁胺酸激酶,能整合细胞内外的合成性激素、细胞机械性刺激与营养物质刺激,通过改变其活性,可间接调整核糖体与mRNA的结合率,进一步调节细胞内部蛋白质转录速率,在细胞蛋白合成上扮演非常重要的角色。研究显示,BFR结合抗阻训练,可显著提升S6K1的活性、mTOR路径的磷酸化作用和肌肉蛋白合成的表现^[11]。通过这些作用机制,肌肉组织细胞内合成代谢和分解代谢途径的信号传导得到了增强,进而增强了肌肉蛋白质的合成。

2.2 代谢产物累积的加剧

局部缺氧刺激引起的代谢压力在BFR结合低负荷抗阻训练中可能发挥了重要作用,提高了肌肉代谢物的产生速率,而BFR又同时降低了肌肉清除代谢物的能力,最终导致了肌肉代谢物的累积增加,促进了合成代谢反应的增强,进而影响了肌肉的适应性变化。代谢物累积的加剧会大大降低肌肉内环境的pH,进而刺激生长激素(GH)和类胰岛素样生长因子1(IGF-1)的分泌,大大提升两者的浓度水平,而GH和IGF-1浓度水平的上升被认为有利于肌肉的生长^[12]。

2.3 其它一些机制

即使BFR结合较低的外部抗阻负荷训练,也可以立即启动生理反应,例如代谢应激反应增强、内分泌系统反应增强、肌内信号传导增强、细胞肿胀增强和快肌纤维募集增强等^[13]。此外,BFR训练后肌肉损伤标志物(肌酸激酶CK、肌红蛋白、白细胞介素-6)水平的有限升高以及蛋

白水解过程水平的显著降低,都为肌肥大创造了适宜条件^[14]。

尽管人们越来越关注有关BFR训练的作用机制研究,但尚未完全了解BFR训练所涉及的众多生理过程,还有待进一步研究。

3 BFR训练的实践策略

3.1 BFR压力参数

BFR压力参数对BFR训练的实施具有较大影响,它涉及加压装置的材质、宽度、加压部位的围度以及BFR压力值设定等。

3.1.1 加压装置的材质

BFR通常使用特殊加压装置对四肢顶端部位进行局部加压,以限制动脉血液流入肌肉,并阻止静脉血液流出肌肉。充气袖带、止血带和其它一些弹性包裹物(如弹性护膝)是使用广泛的加压装置,其中充气袖带的运用最为广泛。充气袖带的材质主要有弹性材质和尼龙材质两种。大量研究显示,不同材质的充气袖带对于血流限制的效果相当,可以替代使用^[15]。

3.1.2 加压装置的宽度

加压装置的宽度是实施BFR时重点考虑的参数。有研究对不同充气袖带宽度的BFR效果进行了对比,涉及腿部(4.5—18.5厘米)、手臂(3—12厘米)。在相同限制压力值的前提下,与窄袖带(5厘米)加压相比,宽袖带(13.5厘米)加压会使参训者在膝关节伸展运动中感受到更大的疼痛感和劳累感,并对后续的训练产生明显的影响。另有研究指出,在相同的限制压力值下,宽袖带(13.5厘米)比窄袖带(5厘米)更容易造成动脉血流闭塞,下肢运用较宽的袖带可能更容易达成所需的加压效果^[16]。但较宽的袖带可能会限制某些参训者的正常活动范围,尤其是应用于上半身时,可能会对运动表现产生不利影响。此外,运用宽袖带会对袖带下方肌肉的适应性反应产生负面影响。目前有关袖带宽度较为统一的认识是,袖带宽度的选择有利有弊,窄袖带对运动的限制小,运动体验好,不易引起疼痛与疲劳,适宜上肢运用;宽袖带对运动的限制较大,运动体验差,易引起疼痛与疲劳,但易于实现加压效果,适用于下肢运用。值得注意的是,

宽袖带会对袖带下方的肌肉发展影响较大。

3.1.3 加压部位的围度

加压部位（通常是四肢）围度越大，所需的加压压力越大。四肢的围度在预测限制动脉血流所需压力方面比较有效^[17]。因此，实施 BFR 既要考虑袖带的宽度，也要评估四肢的围度。四肢围度较大，所需的加压压力越大，可能需要更宽的袖带来限制下肢。但是上肢训练，窄袖带可能更适用。

3.1.4 限制压力值

BFR 训练最佳的限制压力值应足够高以闭塞肌肉的静脉血回流，但又要是足够低以保持动脉血流入肌肉^[18]。BFR 的最佳限制压力值因人而异，上下肢之间的最佳压力值也差别明显。在设置限制压力值方面，有研究推荐使用相对于肱动脉收缩压来进行设定，但这种方案没有考虑上下肢之间围度的巨大差异。为了应对个体差异，一些研究者建议以完全闭塞动脉血流压力的百分比来估算最佳的限制压力值。研究首先确定了休息时下肢完全闭塞动脉血流所需的压力，随后运用完全闭塞动脉血流压力值的 80% 作为限制压力值进行低负荷抗阻训练，该训练产生的肌肥大和力量促进效应类似于高负荷抗阻训练^[19]。其它的一些研究表明，在低负荷膝关节伸展训练中，运用 50% 完全闭塞动脉血流压力值可能最大程度地增加膝关节肌肉的肌电图振幅及扭矩的急性下降。但进一步增加限制压力值（提高到 60%）并未导致这些反应的进一步增强。研究认为，BFR 与低负荷抗阻训练结合使用时，50% 完全闭塞动脉血流压力值可能会使急性肌肉肿胀和血乳酸反应最大化^[20]。尽管很难对 BFR 训练期间的最佳限制压力值给出准确的标准，但袖带的宽度、加压部位的围度以及完全闭塞训练肢体部位动脉血流的压力值是重点考虑的因素，其共同作用于加压效果，均不应被视为预测最佳限制压力值的独立指标。目前，普遍认为在低负荷抗阻运动中，BFR 限制压力值选取完全闭塞动脉血流所需压力值的 50%—80% 可能是适当的。

3.2 训练变量

3.2.1 训练类型

肌肉在不负载期间，单独使用 BFR 可以减

轻肌肉的废用性萎缩。对术后患者的研究表明，单独使用 BFR（5 组，限制压力值为 180—260 毫米汞柱，组间间歇 3 分钟），可以减轻前交叉韧带手术重建患者的术后废用性肌肉萎缩^[21]。对石膏固定患者的研究表明，以间歇方式单独实施 BFR（5 组，组间间歇 3 分钟），即使限制压力值低至 50 毫米汞柱，也可以防止因长期不负载而导致的废用性肌肉萎缩^[22]。在卧床休息或肢体固定期间应用 BFR 是一种新颖的策略，即使患者不进行主动的运动，也可以帮助患者从受伤或手术中康复。尽管如此，BFR 必须与训练刺激相结合才能增强肌肉发育。事实证明，即使简单地运用 BFR 结合步行，也可以促进肌肉大小和肌肉力量的微小改善。有研究证明，老年群体进行为期 10 周、每周 4 次的 BFR（限制压力值为 140—200 毫米汞柱）结合低负荷步行训练（运动时间为 20 分钟，运动强度为储备心率的 45%），大腿肌肉横截面积增加了 3%，膝关节最大力量增加了 15%^[23]。

但是，只有将 BFR 与低负荷抗阻训练相结合时，才可能产生最大的实质性肌肉增益。研究显示，BFR 结合单关节抗阻训练后，手臂、大腿都有明显的肌肉适应性促进，而 BFR 结合多关节抗阻训练也可以促进躯干肌肉的明显肥大。一项研究表明，6 周 BFR 结合低负荷卧推训练（每周训练 3 次，抗阻负荷为 30% 1RM）可增加肱三头肌（4.9%）和胸大肌（8.3%）的横截面积，高负荷抗阻训练（3 组，每组 10 次，75% 1RM）的增肌效益更明显（分别为 8.6% 和 17.6%），而且在高负荷抗阻训练组中，肢体肌肉横截面积和躯干肌肉横截面积增加呈显著性相关（ $r=0.70$ ， $p=0.02$ ），而在 BFR 组中则不存在显著性相关（ $r=0.54$ ， $p=0.13$ ）^[24]。但是，该研究不是交叉设计，每个训练组仅包含 10 名参与者，训练反应的个体差异有可能会影响相关性分析，因此需要进一步研究以全面了解 BFR 训练后躯干与肢体肥大之间的关系。同时需要考虑 BFR 训练后，躯干和四肢肌肉对多关节动作的相对贡献是否发生了变化。虽然 BFR 可以使躯干肌肉受益，但比对肢体肌肉的贡献要小得多。多关节动作可能与日常运动方式以及竞

技运动方式更为相关，但长期使用 BFR 训练可能会导致四肢与躯干肌肉之间的失衡。

综上所述，对于那些不便移动、无法承受低负荷抗阻训练的群体而言，在休息或步行中使用 BFR 可以分别起到减轻肌肉废用性萎缩和刺激肌肥大的效果。要想获得最大的肌肉益处，需要 BFR 与低负荷的单关节抗阻训练或多关节抗阻训练相结合。

3.2.2 训练负荷

BFR 结合低负荷训练不会导致骨骼肌损伤、肌肉功能长期下降或夸张的肌肉酸痛等级，对于禁忌高负荷的临床康复群体和老年群体是有益的。实现最佳的肌肉益处需要 BFR 结合抗阻训练，抗阻训练的训练负荷大小是重要的变量。研究显示，BFR 结合低负荷抗阻训练对肌肥大和肌肉力量的影响最大。一项研究表明，8 周 BFR 结合低负荷膝关节伸展训练（20%1RM，每周训练 2 次，每次训练 3 组，每组 15 次重复），导致膝关节伸展力量的 1RM 增加了 40.1%，股四头肌的横截面积增加了 6.3%^[19]。另有研究表明，运用多组训练的方案，持续 BFR（即组间间歇时也保持加压）结合低负荷抗阻训练（20%1RM）会导致与多组次高负荷抗阻训练类似的代谢刺激^[20]。该研究还对比了持续加压、间歇期减压、不加压三种方案与高负荷抗阻训练的差异。研究结果显示，训练期间代谢压力从高到低依次为：高负荷抗阻训练、持续加压的低负荷抗阻训练、间歇期减压的低负荷抗阻训练、低负荷抗阻训练。代谢压力被认为是抗阻训练中肌肥大的有力调节剂，应在整个训练方案中采取持续加压的方案，以优化代谢应激和随后的适应性反应。综合来看，BFR 抗阻训练的训练负荷设置为 20%—30%1RM 可能最有利于增强肌肥大和力量。

3.2.3 训练量

训练量对抗阻训练的肌肉适应性有深远影响。训练负荷强度与训练重复次数成反比关系，与高负荷抗阻训练相比，BFR 结合低负荷抗阻训练中每组训练的重复次数要多得多。在 BFR 结合低负荷抗阻训练的研究中，每次训练的重复次数多在 45—75 次^[25]。当然，也不是重复次数

越多越好，过度延长训练时间或增加重复次数会导致过度训练。抗阻训练中有时会追求超级组训练，以增强过载负荷刺激，但 BFR 结合低负荷抗阻训练不必遵循这种方法。

BFR 结合低负荷抗阻训练普遍采用 4 组训练的方案，第 1 组重复 30 次，第 2 至第 4 组每组重复 15 次，总共 75 次重复。虽然尚未有公认的 BFR 结合低负荷抗阻训练的最佳方案，但这种方案已被证明可以帮助膝关节的康复，增强急性肌肉激活，增加肌肥大和肌肉力量，而且不会增加肌肉损伤的风险。第 1 组重复次数较多，是因为在袖带加压之前，肌肉中没有大量的代谢物累积，随后的组重复次数减少，是因为疲劳代谢产物的累积和代谢性酸中毒对肌肉收缩功能的影响。实施该方案（20%1RM，4 组重复次数分别为 30 次、15 次、15 次、15 次，组间间歇 60 秒）可以促进肌肥大和力量，但增加总体训练量（例如执行 2 遍），并不会导致肌肉适应性的累积作用。这表明该方案可能存在训练量阈值，超过该阈值进一步增加训练量对肌肉发育不利^[26]。

但是，有研究发现，在持续 BFR（限制压力值为 90—100 毫米汞柱）结合低负荷抗阻训练中（30%1RM，共进行 5 组，组间间歇 45 秒），参训者在第 1 组、第 2 组和第 5 组中能够完成的重复次数分别为 28 ± 5 次、 10 ± 2 次和 6 ± 1 次^[27]。因此，在使用持续 BFR 结合低负荷抗阻训练方案的初期，参训者可能无法达到该训练方案要求的重复次数。在这种情况下，可能需要降低运动负荷（如从 30%1RM 降至 20%1RM）或略微增加组间间歇时间（如从 30 秒变为 45 秒），以尝试完成所需的重复次数。对训练负荷和组间间歇的控制应优先于对每组训练量的控制，因为抗阻负荷为 20%1RM、组间间歇时间超过 30 秒的 BFR 结合低负荷抗阻训练已被多次证明对肌肉适应性反应最有益。此外，与多重重复次数相关的新陈代谢压力增加可能是 BFR 训练适应性的关键调节因素。骨骼肌肥大不仅受负荷强度影响，也受训练量的影响。综合考虑，刚开始进行 BFR 结合低负荷抗阻训练的个体，应注意避免定期进行肌肉力竭训练，当个体逐渐适应训练刺激后，再渐进式地增加训练量，最终目标是运用

30%1RM 训练负荷进行4组训练(每组重复次数分别为30次、15次、15次、15次,组间间歇30秒)。

3.2.4 组间间歇

大部分BFR结合低负荷抗阻训练都采用30—60秒相对短暂的组间间歇方案。采用较短的组间间歇与增加代谢压力有关,这是促发肌肉适应性反应的主要机制。传统高负荷抗阻训练中,组间间歇通常要保证机体的完全恢复,以便保持在下一组训练中能够维持爆发力输出效率,而大部分BFR结合低负荷抗阻训练组间间歇时间的设置要确保机体处于不完全恢复状态。目前普遍认为在组间间歇阶段应保持持续加压,以进一步增强代谢刺激的程度。如果持续加压的限制压力值适当,静脉血流将被闭塞,各组训练之间代谢物的清除率将会大大降低。尽管这种代谢产物的累积无疑会影响随后训练组的运动表现,但其很可能是支持BFR训练产生效果的重要机制。此外,组间静脉血流闭塞会增加肌细胞的肿胀,肌细胞肿胀也被认为在肌肥大适应性反应中起到了重要作用^[28]。

3.2.5 训练频率

与抗阻训练计划相比,BFR结合低负荷抗阻训练可以更频繁地进行。高频次的BFR结合低负荷抗阻训练(例如每天训练2次,进行2周,20%1RM)可以导致深蹲和腿部屈曲1RM和臀部肌肉横截面积的显著增加,每天2次BFR结合低负荷抗阻训练仅需进行6天就能产生明显的肌肥大和力量增加效应,这与采取更长训练时间和更高训练负荷或更大训练量的常规抗阻训练的效果相当^[29]。重要的是,即使在较高的训练频率下,肌肉损伤(肌酸磷酸激酶和肌红蛋白)和氧化应激(脂质过氧化物)的标志物也没有升高。总的来说,BFR结合低负荷抗阻训练不会导致肌肉功能的持续下降,不会出现长时间的肌肉肿胀,产生的肌肉酸痛程度类似于次最大负荷抗阻训练,不会导致血液中肌肉损伤标志物的升高。因此,在计划超负荷训练阶段,安排短时高频次的BFR结合低负荷抗阻训练可能会对整个训练计划有所帮助。

4 结语

尽管作用机制尚不明确,但BFR训练对促进不同群体的肌肉适应性反应具有重要意义。单独使用BFR可以在康复期间减轻患者的肌肉废用性萎缩,而BFR结合低负荷有氧运动可以诱发老年群体的肌肥大和力量增强。BFR结合低负荷抗阻训练已被证明可以使肌肉收益最大化,锻炼群体和运动员群体都可以从中获益,可以将其作为一种独立的训练方法,或者与传统高负荷抗阻训练相结合。使用BFR结合低负荷抗阻训练时,要确保使用的袖带宽度以及限制压力值适宜,通常选择完全闭塞动脉血流压力值的50%—80%;训练类型可以选择单关节训练也可以选择多关节训练,训练负荷一般选择20%—40%1RM,组间间歇时间一般安排30—60秒,训练量最好维持在较高水平(75次左右),短时高频次的训练安排是可行的。

参考文献:

- [1] SCOTT B R, LOENNEKE J P, SLATTERY K M, et al. Exercise with Blood Flow Restriction: An updated evidence-based approach for enhanced muscular development [J]. Sports Medicine, 2015, 45 (3): 313.
- [2] Progression Models in resistance training for healthy adults [J]. Medicine & Science in Sports & Exercise, 2009, 41(3): 687.
- [3] KUBOTA A, SAKURABA K, SAWAKI K, et al. Prevention of disuse muscular weakness by restriction of blood flow [J]. Medicine & Science in Sports & Exercise, 2008, 40(3): 529.
- [4] ABE T, FUJITA S, NAKAJIMA T, et al. Effects of low-intensity cycle training with restricted leg blood flow on thigh muscle volume and Vo2max in young men [J]. Journal of sports science & medicine, 2010, 9(3): 452.
- [5] HARBER M P, KONOPKA A R, DOUGLASS M, et al. Aerobic exercise training improves whole muscle and single myofiber size and function in older women [J]. American Journal of Physiology-regulatory Integrative and Comparative Physiology, 2009, 297(5): 1452.

- [6] MANIMMANAKORN A, HAMLIN M J, ROSS J J, et al. Effects of low-load resistance training combined with blood flow restriction or hypoxia on muscle function and performance in netball athletes [J]. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 2013, 16(4):337.
- [7] KUBO K, KOMURO T, ISHIGURO N, et al. Effects of low-load resistance training with vascular occlusion on the mechanical properties of muscle and tendon [J]. *Journal of Applied Biomechanics*, 2006, 22(2):112.
- [8] 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 [J]. *European Journal of Applied Physiology*, 2011, 111(10):2525.
- [9] YAMANAKA T, FARLEY R S, CAPUTO J L. Occlusion training increases muscular strength in division ia football players [J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2012, 26(9):2523.
- [10] TAKADA S, OKITA K, SUGA T, et al. Blood Flow Restriction Exercise in Sprinters and Endurance Runners [J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2012, 44(3):413.
- [11] 彭一腾, 黄骅. 加压力量训练的研究评述 [J]. *基因组学与应用生物学*, 2018, 37(12):5676.
- [12] 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.
- [13] TAKANO H, MORITA T, LIDA H, et al. Hemodynamic and hormonal responses to a short-term low-intensity resistance exercise with the reduction of muscle blood flow [J]. *European Journal of Applied Physiology*, 2005, 95(1):65.
- [14] MANINI T M, VINCENT K R, LEEUWENBURGH C L, et al. Myogenic and proteolytic mRNA expression following blood flow restricted exercise [J]. *Acta Physiologica*, 2011, 201(2):255.
- [15] LOENNEKE J P, PUJOL T J. The use of occlusion training to produce muscle hypertrophy [J]. *Strength and Conditioning Journal*, 2009, 31(3):77.
- [16] ROSSOW L M, FAHS C A, LOENNEKE J P, et al. Cardiovascular and perceptual responses to blood-flow-restricted resistance exercise with differing restrictive cuffs [J]. *Clin Physiol Funct Imaging*, 2012, 32(5):331.
- [17] LOENNEKE J P, FAHS C A, ROSSOW L M, et al. Effects of cuff width on arterial occlusion; implications for blood flow restricted exercise [J]. *European Journal of Applied Physiology*, 2012, 112(8):2903.
- [18] LOENNEKE J P, THIEBAUD R S, ABE T, et al. Blood flow restriction pressure recommendations: The hormesis hypothesis [J]. *Medical Hypotheses*, 2014, 82(5):623.
- [19] LAURENTINO G C, UGRINOWITSCH C, ROSCHEL H, et al. Strength training with blood flow restriction diminishes myostatin gene expression [J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2012, 44(3):406.
- [20] LOENNEKE J P, KIM D, FAHS C A, et al. Effects of exercise with and without different degrees of blood flow restriction on torque and muscle activation [J]. *Muscle & Nerve*, 2015, 51(5):713.
- [21] TAKARADA Y, TAKAZAWA H, ISHII N. Applications of vascular occlusion diminish disuse atrophy of knee extensor muscles [J]. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2000, 32(12):2035.
- [22] KUBOTA A, SAKURABA K, KOH S, et al. Blood flow restriction by low compressive force prevents disuse muscular weakness [J]. *Journal of Science & Medicine in Sport*, 2011, 14(2):95.
- [23] 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.
- [24] YASUDA T, OGASAWARA R, SAKAMAKI M, et al. Relationship between limb and trunk muscle hypertrophy following high-intensity resistance training and blood flow-restricted low-intensity resistance training [J]. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 2011, 31(5):347.
- [25] 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 [J]. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 2010, 30(5):338.
- [26] Marshall P W M, McEwen M, Robbins D W. Strength and neuromuscular adaptation following one, four, and

- eight sets of high intensity resistance exercise in trained males[J]. *European Journal of Applied Physiology*, 2011, 111(12): 3007.
- [27] WERNBOM M, PAULSEN G, NILSEN T S, et al. Contractile function and sarcolemmal permeability after acute low-load resistance exercise with blood flow restriction[J]. *European Journal of Applied Physiology*, 2012, 112(6): 2051.
- [28] LOENNEKE J P, WILSON G J, WILSON J M, et al. A mechanistic approach to blood flow occlusion [J]. *International Journal of Sports Medicine*, 2010, 31(1): 1.
- [29] SAKAMAKI M, YASUDA T, SATO Y, et al. Comparison of muscle hypertrophy during follicular and luteal phases following 6-days blood-flow Restricted resistance training[J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2010, 42(5): 741. .
- [28] LOENNEKE J P, WILSON G J, WILSON J M, et

Effect, Mechanism and Practical Strategy of Blood Flow Restriction Training

LU Jinhua

(Nanjing Sport Institute, Nanjing 210014, China)

Abstract: This paper summarizes the effect, mechanism and practice strategy of blood flow restriction training by using the methods of literature and logic analysis to provide reference for better implementation of BFR training. It shows that BFR training had a positive effect on muscle hypertrophy and muscle strength. BFR training alone can reduce the muscle wasting atrophy of patients during rehabilitation. BFR combined with low load aerobic exercise can promote muscle hypertrophy and strength enhancement in the elderly. BFR combined with low load resistance training has been proved to maximize muscle benefits, which can be used as an independent training method or combined with traditional high load resistance training. Although the mechanism of action is not clear, the enhancement of metabolic stress is regarded to be the main mechanism. Blood flow restriction pressure parameters and training variables are very important for muscle physiological response and training adaptation. The material and width of the cuff, the limited pressure value and the pressurized part need to be considered for the parameters of blood flow limited pressure. The training type, training load, training volume, interval time and training frequency need to be taken into account for the training variables. BFR combined with low load resistance training should be ensured the appropriate cuff width and limited pressure value, usually 50%—80% of the total occlusion arterial blood pressure value is adopted. The training type can be single joint training or multi joint training. The training load is generally 20%—40% 1RM and the interval between groups is generally 30—60 seconds. The training amount should be kept at a high level (about 75 times) and the training arrangement of short time and high frequency is feasible.

Key words: BFR; blood flow restriction training; aerobic exercise; resistance training; cuff; interval; training volume; frequency