

血流限制训练中加压装置的应用研究

曾理华 段德鸿

福建师范大学体育科学学院, 福建 福州 350117

[摘要] 血流限制训练在健康人群和临床人群中的应用日益广泛。确保该技术以安全、可控和有益的方式应用于目标人群是至关重要的。袖带是实现训练效果的一个重要因素。然而,目前在袖带应用上的研究还存在许多不一致的看法。因此,研究的目的是从前人的研究中总结出袖带众多变量中影响训练效果和安全的变量,以期寻找袖带各个变量的最适宜范围,为加强血流限制训练过程中的有效性和安全性提出相关建议。

[关键词] 血流限制训练; BFRT; 加压装置; 加压训练

DOI: 10.33142/fme.v3i1.5742

中图分类号: G808.1

文献标识码: A

Research on Application of Compression Device in Blood Flow Restriction Training

ZENG Lihua, DUAN Dehong

School of Physical Education and Sports Science, Fujian Normal University, Fuzhou, Fujian, 350117, China

Abstract: Blood flow restriction training is widely used in healthy and clinical populations. It is essential to ensure that the technology is applied to the target population in a safe, controllable and beneficial manner. Cuff is an important factor to achieve training effect. However, there are still many inconsistent views on the application of cuff. Therefore, the purpose of the research is to summarize the important variables affecting the training effect and safety among the many variables of cuff from the previous research, in order to find the most suitable range of each variable of cuff, and put forward relevant suggestions for strengthening the effectiveness and safety of blood flow restriction training.

Keywords: blood flow restriction training; BFRT; pressurizing device; pressure training

引言

血流限制训练(BFRT)是一种运动训练的方法,它包括执行低强度的阻力运动,并结合由血流限制装置为运动员提供血流限制,血流限制装置放置运动肌肉的近端,可使用袖带或止血带^[1]。血流限制训练作为一种低阻力增加肌肉围度和肌肉力量的训练方式,在力量训练和康复训练中受到人们的认同。血流限制训练取得怎样的训练效果,最主要的一个因素来自于袖带。袖带作为一个加压装置,前人不同的研究采用的袖带有所不同,其宽度、类型、对肌肉施加的压力、固定的位置等可能对血流限制训练产生的效果不同。当研究忽略袖带的宽度或肢体大小的个体间差异并施加压力时,这可能成为一个安全问题^[2]。有学者^[3-4]报道了与血流限制训练相关的潜在副作用,如血凝块发生率增加、静脉充血/扩张、缺血-再灌注损伤等。考虑到缺乏临床大众的长期前瞻性试验,应注意对血流限制训练安全性的一般假设以及一些剩余的不良影响的可能性,但在文献中仍然很大程度上被忽视了。A. Kacin^[5]的研究表明,4周血流限制训练后肌肉耐力显著增强,这与肌肉供氧能力增强有关,高袖压缺血性运动对肌肉和神经的潜在负面影响以及对动脉压调节的潜在负面影响有待进一步研究^[5]。因此,我们有必要对袖带的应用进行回顾。

1 历史起源

1966年, Sato博士在参加佛教活动时,发现长时间

跪坐后引起的腿部肿胀和不适感与提踵训练后的感觉相似,由此获得了血流限制训练的灵感,于1983年开发出了最早的血流限制装置,开始在大众人群中推广使用,并在1997年6月获得了专利。1997年,首次报道了使用血流限制装置进行训练可提升肌肉力量的现象^[6]。

2 血流限制训练的作用机制

研究认为血流限制训练对肢体的主要影响是动脉血流入减少以及动脉血液聚集,这将导致肢体处于一个相对缺氧缺血的状态,乳酸得不到及时的清除,使得代谢压力增加。基于此,不同学者对血流限制的作用机制持有不同观点,主要涉及激素分泌、蛋白质合成与抑制合成调节以及肌纤维募集等^[6]。

研究表明,血流限制结合抗阻训练可显著提升S6K1的活性以及肌肉蛋白合成的表现以及mTOR蛋白路径的磷酸化作用^[7]。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^[6]。

3 袖带的类型

不同材质的袖带对限制血液流动的能力可能不同^[2]。文献中常见的袖带有两种,一种为非弹性气动(加压)尼龙袖带另一种为非气动弹性袖带。Jorge Oliveira的研究报道显

示,在血流限制结合抗阻运动后几乎所有的激素和代谢变量中,在气动和非气动之间没有显著差异^[8]。JP Loenneke^[9]、Takashi Abe^[10]、Samuel L. Buckner^[11]等人的研究表明尼龙袖带与弹性袖带在限制血流方面没有显著差异。

从上述的研究发现,气动袖带和非气动袖带在影响效果上似乎不存在差异,但要提出的是,以上的研究只验证了个别宽度的袖带,并没有对更多宽度的弹性袖带和气动袖带进行验证,这还需要对不同宽度的袖带进行大样本量验证。笔者认为这两种不同类型的袖带有其各自的优点和不足。非弹性气动袖带能够控制血流量,这对于受训者来说是安全的,但限制住了运动员做更多灵活的动作。非气动弹性袖带弥补了非弹性气动袖带的不足,但在血流量的控制方面还是比较困难,这可能是存在安全隐患,此外,弹性袖带在重复利用之后对血流限制的效果可能发生变化。因此,未来袖带制作的研究中应往实用、安全、血流控制能力强的方向发展。

4 袖带压力的选取

4.1 正常训练中袖带压力的选取

血流量随着相对限制压力的增加而非线性减少^[12]。Tyler J. Singer 的研究表明,袖带压力达到 100%静息性动脉闭塞压时,血流限制膝关节伸展可以引起绝对充血反应,而血流量的相对减少在静息、运动和恢复过程中是一致的,每种袖带压力之间的血流、组织灌注和肌肉激活反应似乎相似,但这些变化的幅度随着袖带压力的增加而增加^[13]。Daeyeol Kim, PhD^[14]的研究显示,低至 50%的动脉阻断压力可以产生与传统的高负荷抵抗训练相似的肌肉质量和力量的变化。Manoel E. Lixandrão^[15]的研究显示,在非常低的运动强度(即 20%1-RM)下进行血流限制抗阻训练,在试图改善肌肉质量时,可以从较高的闭合压力(即 80%的闭合压力)中获益。

由于血流在动脉闭塞压力的 50%到 90%之间相对不变,为了让参与者感到舒适,使用接近动脉闭塞压 50%的压力可能更合适^[12]。对此,有学者提出不同的看法,Kevin T. Mattocks^[16]的研究结果显示,施加 40%、50%、60%、70%、80%、90%动脉闭塞压力不适率存在差异,当施加较高的相对压力(90%动脉闭塞压力)时,不适率最高。SD Soligon^[17]的研究表明,当总训练量相等时,与高血流限制方案(动脉阻塞压力的 60%至 80%)相比,低压力方案(40%和 50%)可出现较低的感觉疲劳和疼痛。非常遗憾的是没有研究对训练效果和舒适度进行同时报道。

综上所述,个性化袖带压力的选择仍然没有明确的共识,目前的研究认为压力应设置在动脉闭塞压力的 40%到 90%之间,前人的研究要么只报道了训练不同压力对训练效果的影响,要么只对舒适度进行报道,目前为止,还没有同时报道不同压力对舒适度和训练效果的影响。

4.2 康复训练中袖带压力的选取

与大强度的阻力训练方案相比,使用低强度的训练方

案对康复训练可能带来更少的坏处,在无法从事高强度抵抗运动方案的人群(如老年人、膝关节关节炎患者)中利用血流限制训练作为一种潜在的康复方式引起了大多数人的兴趣。因此,一些作者提出血流限制训练可作为临床实践中^[18]的重要治疗工具,构成一种很有潜力的、可能合适的高强度阻力训练的替代方案用于术后康复、心脏康复和炎症性疾病^[18]。但是,为了在日常工作中适当地实施这种培训模式在临床人群中,在临床人群中常规使用血流限制训练的安全性尚未完全确定。

Luke Hughes^[14]对前交叉韧带重建术(ACLR)患者施加 80%肢体闭合压进行 30%1RM 的训练,结果表明,ACLR 患者对轻负荷的血流动力学和知觉反应可能不是康复环境中临床医生担心的限制因素。Jon Stavres^[19]对 9 名不完全性脊髓损伤患者进行单侧施加 125%的静脉闭塞压,结果表明,患有脊髓损伤的患者可以安全地进行受控的血流限制运动,而不会增加心血管压力或加剧疼痛^[19]。Peter Ladlow^[5]将 28 例下肢损伤成人分为常规抗阻训练组(每周 3 天)或每日 2 次血流限制训练组(施加 60%肢体闭塞压力)进行康复训练,结果表明,低负荷血流限制训练组和常规训练组在住院康复后肌力和肥大的改善程度相当。

综上所述,血流限制训练在康复训练的运动具有巨大潜力,血流限制训练在康复中运用是值得肯定的,但对袖带压力控制的研究较少,为了保证康复者的安全,接下来的研究中有必要寻找出适合患者的袖带压力。

4.3 初始限制压对血流限制训练的影响

充气前袖带紧绷所产生的外压(也称为初始限制压,IRP)可以改变静脉回流和代谢副产物(如乳酸和 H⁺的积聚和清除)的水平,从而改变骨骼肌的神经活动水平^[20]。然而,在研究中关于初始限制压却极少被报道。Murat Karabulut 研究认为:在血流限制训练研究中,即使初始限制压的微小差异也可能导致研究内部和研究之间的错误和不一致的结果,皮肤和皮下脂肪厚度直接影响使初始限制压整体效果的研究,因为它会导致运动过程中施加在循环路上的压力量的变化^[20]。

综上所述,初始限制压对血流限制训练效果的影响是被肯定的,对于初始限制压的范围还没有相关报道,未来的研究中有必要对初始限制压进行探讨。为了研究的重复性,在进行血流限制训练时有必要报告初始限制压。

5 袖带宽度的选取

在前人的研究中袖带的宽度没有被限定,窄到 3 厘米宽到 17cm,袖带宽窄对血流量的影响不同学者持有不同的看法。

Jessee^[21]的研究表明,气囊的宽度和被限制的肢体周长都会影响动脉闭塞压或血流完全闭塞时的压力。Jeremy P.^[22]、ALYSSA M. WEATHERHOLT^[23]的研究表明,宽的袖带比窄的袖带在更低的压力下限制动脉血。J. Grant Mouser^[12]、Grant Mouser^[24]、GILBERTO CANDIDO LAURENTINO^[25]、Vickie Wong^[21]的研究表明,当限制压力

设置在相对于袖带和参与者的水平时,袖带的宽度对血流量没有区别。产生分歧的主要原因可能是袖带的压力造成的,当学者们采用随意压力时,宽袖带和窄袖带对血流量的影响存在显著性差异,当学者们采用的压力为参与者的相对水平时宽袖带与窄袖带对血流量的影响没有显著性差异。此外,还需要考虑受试者的实验姿势(是坐式还是站立式)、肢体的周长等等。

Ksin 和 Strazar 2011, Ellefsen 等人的研究表明,使用更宽的袖带可能会阻止肌肉在袖带放置在肢体上的位置正下方生长^[26]。Zachary W^[26]的研究表明袖带宽度的急剧变化在宽袖带覆盖的部位和没有袖带覆盖的部位之间没有差别,在性别之间也没有差异。Sten Stray-Gundersen^[27]的研究表明,使用宽刚性袖带与窄弹性袖带相比,血压和心肌耗氧量显著增加,窄弹性袖带对高危人群进行血流限制训练提供了更安全的选择。尽管如此,但是还需要大量的研究来加以验证。

综上所述,训练时采用受试者相对压力时袖带的宽度对结果的影响可能不是太大,但我们必须考虑血流限制训练的其他因素,例如,坐位和站位、肢体的周长、性别、种族等等都可能会对训练效果产生影响,这些因素容易被人们忽略。对于袖带覆盖部位和没有覆盖部位是否存在差别还没有定论,在接下来的研究中需要进一步探讨。

6 袖带佩戴方式

在前人的研究中,关于袖带的佩戴位置的看法相对一致,进行上肢训练时佩戴在上肢近端(即靠近肩部的一端),在进行下肢训练时则佩戴在下肢近端(即腹股沟附近)。很少有文章报道加压时对未加压侧的影响,对腰腹及背部训练时血流限制训练是否存在同样的效果,该如何佩戴加压装置,这些是未来研究需要涉及的内容。

袖带探头的位置会影响闭塞动脉所需的压力。此外,较大的大腿围增加了探头位置对动脉闭塞压力测量的影响。因此,应努力将袖套探头放置在测量动脉闭塞压力的同一位置。动脉闭塞压力是一种相对稳定的测量方法,标准化袖带位置将减少测量动脉闭塞压力的频率,因为它解释了探头位置之间的压力差异。这可能有助于全面实施血流限制,并确保参与者接受适当的刺激^[28]。

除此之外,我们还应当考虑加压部位(一般为四肢)的围度,四肢的围度在预测限制动脉血流所需压力方面比较有效

7 结论与建议

7.1 结论

(1) 目前的研究在袖带类型的选择上更倾向于充气袖带,虽然充气袖带限制了受训练者的活动范围,但是它能够更好地控制压力,这对受训者来说是安全的。

(2) 袖带佩戴的方式目前的研究结果相对一致,应佩戴在肢体近端。

(3) 在袖带宽度的选择上,采用相对压力时,袖带的宽度似乎对结果影响不大。

(4) 袖带压力的选择上目前还没有一致的定论,但可以明确的是采用相对压力是较好的一种方式。

(5) 初始限制压对研究结果可能产生影响。

7.2 建议

安全性高、可控性强、自由活动度高的袖带可能会对我们的训练提供更多的帮助,因此,今后袖带的研发应朝着安全性高、可控性强、自由活动度高的方向出发。今后研究还应当涉及不同人群的比较,如:青少年和老年人、男性和女性、健康者和康复者、有训练经验和无训练经验者、血压异常者和血压正常者、患有不同慢性病者等等。对训练时的初始限制压力进行报道可能会对未来的研究提供更多的帮助。为提高训练的效果以及训练的安全性,训练时充分考虑个体差异性,采取相对限制压力。

[参考文献]

- [1]Cristina-Oliveira M, Meireles K, Spranger MD, O'Leary DS, Roschel H, Peçanha T. Clinical safety of blood flow-restricted training? A comprehensive review of altered muscle metaboreflex in cardiovascular disease during ischemic exercise[J]. American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology, 2020, 318(1).
- [2]P L J, A F C, M R L, et al. Blood flow restriction pressure recommendations: a tale of two cuffs[J]. Frontiers in physiology, 2013(4).
- [3]GRANTHAM B, KORAKAKIS V, O'SULLIVAN K. Does blood flow restriction training enhance clinical outcomes in knee osteoarthritis: A systematic review and meta-analysis[J]. Phys Ther Sport, 2021(49).
- [4]LOENNEKE J P, WILSON J M, WILSON G J, et al. Potential safety issues with blood flow restriction training [J]. Scand J Med Sci Sports, 2011, 21(4): 510-5188.
- [5]A K, K S. Frequent low-load ischemic resistance exercise to failure enhances muscle oxygen delivery and endurance capacity[J]. Scandinavian journal of medicine & science in sports, 2011, 21(6): 231-241.
- [6]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.
- [7]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): 5676-5691.
- [8]JORGE O, YURI C, LUIS L, et al. Does Acute Blood Flow Restriction with Pneumatic and Non-Pneumatic Non-Elastic Cuffs Promote Similar Responses in Blood Lactate, Growth Hormone, and Peptide Hormone? [J]. Journal of human kinetics, 2020(74): 85-97.
- [9]LOENNEKE J, THIEBAUD R S, FAHS C A, et al. Blood flow

- restriction: Effects of cuff type on fatigue and perceptual responses to resistance exercise[J]. *Acta Physiologica Hungarica*, 2014, 101(2): 158-166.
- [10] TAKASHI A, GRANT M J, J D S, et al. A method to standardize the blood flow restriction pressure by an elastic cuff[J]. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 2019, 29(3): 329-335.
- [11] L B S, J D S, R C B, et al. Influence of cuff material on blood flow restriction stimulus in the upper body[J]. *The journal of physiological sciences: JPS*, 2017, 67(1): 207-215.
- [12] GRANT M J, J D S, B J M, et al. A tale of three cuffs: the hemodynamics of blood flow restriction[J]. *European journal of applied physiology*, 2017, 117(7): 1493-1499.
- [13] J S T, J O N S, J E S, et al. Knee extension with blood flow restriction: Impact of cuff pressure on hemodynamics[J]. *European journal of applied physiology*, 2020, 120(1).
- [14] DAEYEOL K, P L J, XIN Y, et al. Low-load resistance training with low relative pressure produces muscular changes similar to high-load resistance training[J]. *Muscle & nerve*, 2017, 56(6): 79-90.
- [15] E L M, CARLOS U, GILBERTO L, et al. Effects of exercise intensity and occlusion pressure after 12 weeks of resistance training with blood-flow restriction[J]. *European journal of applied physiology*, 2015, 115(12): 2471-2480.
- [16] CANDIDO L G, PAUL L J, LUIZ T E, et al. The Effect of Cuff Width on Muscle Adaptations after Blood Flow Restriction Training[J]. *Medicine and science in sports and exercise*, 2016, 48(5): 920-925.
- [17] SOLIGON S, LIXANDRÃO M, BIAZON T, et al. Lower occlusion pressure during resistance exercise with blood-flow restriction promotes lower pain and perception of exercise compared to higher occlusion pressure when the total training volume is equalized[J]. *Physiology International*, 2018, 105(3): 276-284.
- [18] PATTERSON S D, HUGHES L, WARMINGTON S, et al. Blood Flow Restriction Exercise: Considerations of Methodology, Application, and Safety[J]. *Front Physiol*, 2019, 10(533).
- [19] STAVRES J, SINGER T J, BROCHETTI A, et al. The Feasibility of Blood Flow Restriction Exercise in Patients With Incomplete Spinal Cord Injury[J]. *PM&R*, 2018, 10(12): 1368-1379.
- [20] KARABULUT M, PEREZ G. Neuromuscular response to varying pressures created by tightness of restriction cuff[J]. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 2013, 23(6): 1494-1498.
- [21] B J M, L B S, J D S, et al. The Influence of Cuff Width, Sex, and Race on Arterial Occlusion: Implications for Blood Flow Restriction Research[J]. *Sports medicine (Auckland, NZ)*, 2016, 46(6): 913-921.
- [22] 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]. *Eur J Appl Physiol*, 2012, 112(8): 2903-2912.
- [23] M W A, R V W, JACKIE L, et al. The Effect of Cuff Width for Determining Limb Occlusion Pressure: A Comparison of Blood Flow Restriction Devices[J]. *International journal of exercise science*, 2019, 12(3): 136-143.
- [24] GRANT M J, J D S, T M K, et al. Blood flow restriction and cuff width: effect on blood flow in the legs[J]. *Clinical physiology and functional imaging*, 2018, 38(6): 944-948.
- [25] MATTOCKS K T, JESSEE M B, COUNTS B R, et al. The effects of upper body exercise across different levels of blood flow restriction on arterial occlusion pressure and perceptual responses[J]. *Physiology & Behavior*, 2017(171): 181-186.
- [26] BELL Z W, ABE T, WONG V, et al. Muscle Swelling Following Low Load Blood Flow Restriction Exercise Does Not Differ Between Cuff Widths In The Lower Body: 3362 Board #183 May 29 1:30 PM - 3:00 PM [J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2020, 52(7): 925.
- [27] STEN S-G, SAVANNAH W, HIROFUMI T. Walking With Leg Blood Flow Restriction: Wide-Rigid Cuffs vs. Narrow-Elastic Bands [J]. *Frontiers in physiology*, 2020(11): 568.
- [28] SPITZ R W, BELL Z W, WONG V, et al. The position of the cuff bladder has a large impact on the pressure needed for blood flow restriction[J]. *Physiol Meas*, 2020, 41(1).
- 作者简介: 曾理华(1996-), 男, 汉族, 福建福州, 在读硕士, 福建师范大学, 研究方向: 体育教学; 段德鸿(1998-), 男, 汉族, 福建福州, 在读硕士, 福建师范大学, 研究方向: 体育教学。