

血流限制训练修复膝关节疾病的作用与价值

https://doi.org/10.12307/2022.126

卫星, 刘书芳, 毛宁

投稿日期: 2020-10-04

送审日期: 2020-10-12

采用日期: 2020-11-13

在线日期: 2021-06-07

中图分类号:

R459.9; R318; R684

文章编号:

2095-4344(2022)05-00774-06

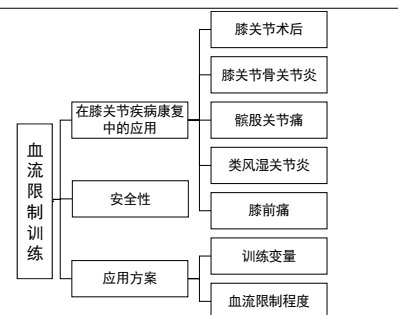
文献标识码: A

文章快速阅读:

文章特点一

△以膝关节疾病为研究对象, 搜索血流限制训练在膝关节疾病康复中的应用的相关文献, 阐述血流限制训练在膝关节疾病康复中的应用现状, 并试图从应用现状和应用方案及安全性对血流限制训练进行综述, 提出亟待解决的问题。

△血流限制训练可有效增加膝关节疾病患者的肌肉大小和力量, 且单独使用还可以预防失用性肌萎缩。在实施血流限制训练时, 必须要确保使用的袖带宽度和限制压力合适, 未来的研究应比较不同血流限制训练方案在不同人群中的应用效果。



文题释义:

血流限制训练: 也称为KAATSU训练, 是指在训练期间通过对肢体近端使用加压袖带, 使静脉血流闭塞的同时部分阻塞动脉血流, 血流限制可结合有氧及抗阻训练形式或单独使用。

膝关节疾病: 膝关节是全身发病率最高的关节, 膝关节疼痛不仅涉及到关节内的各种病损, 也常因各种关节外因素引起。膝关节产生的症状往往不具有特异性, 如疼痛、打软腿、关节交锁等症状, 既可以因为交叉韧带、半月板损伤引起, 也可以因为髌股关节异常、关节软骨病变引起, 甚至可能仅因为异常增生滑膜的嵌顿而引起。膝关节疾病主要包括骨性关节炎、滑膜炎、髌骨软化、半月板损伤等。

摘要

背景: 血流限制训练也称为KAATSU训练, 作为一种新兴的康复训练方式在膝关节疾病康复中的应用在逐渐增加, 其以较低的运动强度便能促进肌肉力量增长和肌肉肥大。然而, 目前的研究缺乏对不同人群进行血流限制训练的方案, 训练变量和血流限制程度对疗效的影响还未知, 且不恰当的使用还可能会造成安全性问题。

目的: 阐述血流限制训练在膝关节疾病康复中的应用现状, 试图从应用现状和应用方案及安全性对血流限制训练进行综述, 提出亟待解决的问题, 旨在为安全有效的应用该技术提供理论支撑和实践指导。

方法: 检索截至2020-10-29, 在PubMed、中国知网(CNKI)等文献数据库中, 搜索血流限制训练应用于膝关节疾病康复的相关研究, 中文检索式包括“血流限制训练OR加压训练”“血流限制训练OR加压训练AND膝关节”“膝关节骨关节炎OR膝关节手术OR髌股关节痛OR膝前痛OR类风湿关节炎AND血流限制训练OR加压训练”。英文检索式包括“(((blood flow restriction training) OR (Occlusion Training)) OR (Kaatsu training) AND (knee))”“((((((knee osteoarthritis) OR (Knee surgery)) OR (patellofemoral pain)) OR (anterior knee pain)) OR (rheumatoid arthritis) AND (blood flow restriction training)) OR (Kaatsu training)”。并根据研究需要确立相应的入选标准, 对最终所得文献进行筛选。

结果与结论: ①通过对国内外的相关文献进行回顾发现, 在膝关节疾病康复中, 血流限制训练主要用于前交叉韧带重建和膝关节术后、膝关节骨关节炎、类风湿关节炎、髌股关节痛及膝前痛患者, 目前血流限制训练在该群体患者中的应用研究发现, 其以较低的运动强度便能促进肌肉力量增长和肌肉肥大; ②而血流限制单独使用可以有效防止由于无负荷状态导致的失用性肌萎缩, 有利于加速膝关节术后康复进程; ③目前研究中很少发现与血流限制相关的不良事件, 但在使用血流限制结合抗阻训练时, 必须要确保使用的袖带宽度和限制压力合适, 未来的研究应比较不同血流限制训练方案在不同人群中的应用效果。

关键词: 膝关节; 血流限制训练; 加压训练; KAATSU训练; 袖带; 运动强度

缩略语: 最大1次重复收缩: repition maximum, RM; 血流限制训练: blood flow restriction training, BFRT

Roles and values of blood flow restriction training in the rehabilitation of knee joint diseases

Wei Xing, Liu Shufang, Mao Ning

Guangzhou Sport University, Guangzhou 510500, Guangdong Province, China

Wei Xing, Master candidate, Guangzhou Sport University, Guangzhou 510500, Guangdong Province, China

Corresponding author: Liu Shufang, MD, Associate professor, Guangzhou Sport University, Guangzhou 510500, Guangdong Province, China

Abstract

BACKGROUND: As a new type of rehabilitation training, blood flow restriction training is gradually increasing in the application of knee joint disease rehabilitation. It can promote muscle strength growth and muscle hypertrophy with lower exercise intensity. However, current research lacks a plan for blood flow restriction training for different groups of people. The effect of training variables and blood flow restriction on the therapeutic efficacy is unknown, and improper use may also cause safety problems.

OBJECTIVE: To explain the application status of blood flow restriction training in knee joint disease rehabilitation, attempt to summarize blood flow restriction training from the aspects of application status, application scheme and safety, and propose urgent problems to be solved, aiming to provide theoretical support and practice for the safe and effective application of this technology guide.

METHODS: in PubMed, CNKI and other literature databases, literature search was conducted for related research on the application of blood flow restriction training in knee joint disease rehabilitation from inception to October 29, 2020. The Chinese search formula included “blood flow restriction training OR plus Compression training,” “blood flow restriction training OR compression training AND knee joint,” “knee osteoarthritis OR knee surgery OR patellofemoral joint pain OR anterior knee pain OR rheumatoid arthritis AND blood flow restriction training OR compression training.” The English search formula included

广州体育学院, 广东省广州市 510500

第一作者: 卫星, 女, 1995年生, 湖北省大冶市人, 汉族, 广州体育学院在读硕士, 主要从事运动损伤的预防与康复研究。

通讯作者: 刘书芳, 博士, 副教授, 广州体育学院, 广东省广州市 510500

https://orcid.org/0000-0001-8783-6983 (卫星)

基金资助: 广东省体育局项目 (GDSS2020N103), 项目负责人: 刘书芳

引用本文: 卫星, 刘书芳, 毛宁. 血流限制训练修复膝关节疾病的作用与价值 [J]. 中国组织工程研究, 2022, 26(5):774-779.



“(((blood flow restriction training) OR (Occlusion Training)) OR (Kaatsu training)) AND (knee)” “((((((knee osteoarthritis) OR (Knee surgery)) OR (patellofemoral pain)) OR (anterior knee pain)) OR (rheumatoid arthritis)) AND (blood flow restriction training)) OR (Kaatsu training)” And according to the research needs, the corresponding selection criteria were established for the screening of final literatures.

RESULTS AND CONCLUSION: A review of relevant literature worldwide found that in the rehabilitation of knee joint diseases, blood flow restriction training is mainly used for patients with anterior cruciate ligament reconstruction and knee arthroscopy, knee osteoarthritis, patellofemoral joint pain, rheumatoid arthritis and anterior knee pain. Currently, in this group of patients, blood flow restriction training with lower exercise intensity has been found to promote muscle strength growth and muscle hypertrophy. The use of blood flow restriction alone can effectively prevent disused muscle atrophy due to no-load state, which is conducive to accelerating the rehabilitation process after surgery on the knee joint. In current studies, there are rarely adverse events related to blood flow restriction, but when using blood flow restriction combined with resistance training, it is necessary to ensure that the cuff width and restriction pressure used are appropriate. Future studies should compare different blood flow restriction training programs in different populations.

Key words: knee joint; blood flow restriction training; occlusion training; KAATSU training; cuff; exercise intensity

Funding: a grant from Guangdong Provincial Sports Bureau Project, No. GDSS2020N103 (to LSF)

How to cite this article: WEI X, LIU SF, MAO N. Roles and values of blood flow restriction training in the rehabilitation of knee joint diseases. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu. 2022;26(5):774-779.

0 引言 Introduction

下肢肌肉萎缩和肌肉无力是患有膝关节骨关节炎和经历膝关节术后常见的问题^[1-6], 伤后患者通常表现出功能受限和生活质量下降^[5, 7]。为使患者能够尽快恢复到损伤前的运动水平, 通过抗阻训练方式增强患者的肌肉大小和力量是必要的。美国运动医学会建议使用 $\geq 70\%$ 最大1次重复收缩(repetition maximum, RM)的负荷进行训练以促进肌肉大小和力量的增长^[8]。然而, 对于膝关节损伤患者而言, 可能无法耐受高强度抗阻训练, 且在康复早期进行高强度抗阻训练可能会增加再损伤风险。因此, 探索对于膝关节疾病更有效的康复策略尤为重要。

血流限制训练(blood flow restriction training, BFRT), 也称为KAATSU训练, 由日本的SATO^[9]开创, 是指在训练期间通过对肢体近端使用加压袖带, 使静脉血流闭塞的同时部分阻塞动脉血流, 血流限制可以结合有氧及抗阻训练形式或单独使用^[10]。近年来, 国内外越来越多的文献证据表明, BFRT在促进肌肉力量增长和肌肉肥大方面有良好的效果^[11-14]。当前, 关于BFRT作用机制尚未明确。目前的研究成果表明, BFRT可通过多种机制刺激肌肉生长, 这些可能的机制包括合成代谢激素分泌的增加、肌肉蛋白质合成信号通路加强、肌肉组织缺血缺氧, 造成快肌纤维募集增加、细胞水合作用增加细胞肿胀反应^[15], 其中代谢应激和机械张力增加是诱导肌肉生长的主要机制^[16]。

BFRT作为一种新型康复治疗手段其优势在于以较低的运动强度(20%-30% 1RM)便可以促进肌肉肥大和增强肌肉力量。HUGHES等^[17]以临床肌肉骨骼康复人群为研究对象, 发现血流限制是安全的, 且与单纯的低强度训练相比, BFRT能提高肌肉力量, 并可以作为高强度训练的代替。这使得血流限制对于无法承受高强度康复训练的患者来说是一个有吸引力的选择。然而, 在临床推广使用前, 还有许多问题尚未解决。目前的研究缺乏对不同人群进行BFRT的方案, 训练变量和血流限制程度对疗效的影响还未知, 不恰当的使用还可能会造成安全性问题, 未来还需要更多的研究来比较不同方案之间的应用效果。此次研究以膝关节疾病患者为研究对象, 试图从应用现状和应用方案及安全性对BFRT进行综述, 提出亟待解决的问题, 旨在为安全有效地应用该技术提供理论支撑和实践指导。

1 资料和方法 Data and methods

1.1 资料来源 研究使用的文献数据库主要包括中国知网(CNKI)、PubMed, 搜索2020-10-29以前收录的BFRT在膝关节疾病康复中的相关研究, 中文检索式包括“血流限制训练 OR 加压训练”, 检索后得到157篇文献; “血流限制训练 OR 加压训练 AND 膝关节”, 检索后得到11篇文献; “膝关节骨关节炎 OR 膝关节手术 OR 髌股关节痛 OR 膝前痛 OR 类风湿关节炎 AND 血流限制训练 OR 加压训练”, 检索后得到92篇文献。英文检索式包括“(((blood flow restriction training) OR

(Occlusion Training)) OR (Kaatsu training)) AND (knee)”, 检索后得到217篇文献; “((((((knee osteoarthritis) OR (Knee surgery)) OR (patellofemoral pain)) OR (anterior knee pain)) OR (rheumatoid arthritis)) AND (blood flow restriction training)) OR (Kaatsu training)”, 检索后得到148篇文献。

1.2 文献选取标准

入选标准: ①文献类型必须为临床试验研究; ②试验对象为患有膝关节疾病的患者; ③干预措施为BFRT/加压训练; ④在国内外权威期刊发表的文章。

排除标准: ①会议摘要、综述文献、案例报告及重复文献排除; ②与研究主题相关性差的文献排除; ③无数据及实验结果的文献排除。

1.3 文献获取 共检索出625篇相关文献(中文260篇, 外文365篇), 通过阅读标题、摘要并按照排除标准进行初步筛选后, 得到64篇文献(中文16篇, 外文48篇), 进一步通过全文阅读进行二次筛选, 最终纳入53篇临床试验文献(中文4篇, 外文49篇)。此过程由第三作者进行监督, 通讯作者进行评估和审核。

1.4 纳入文献基本情况 文献筛选流程见图1。

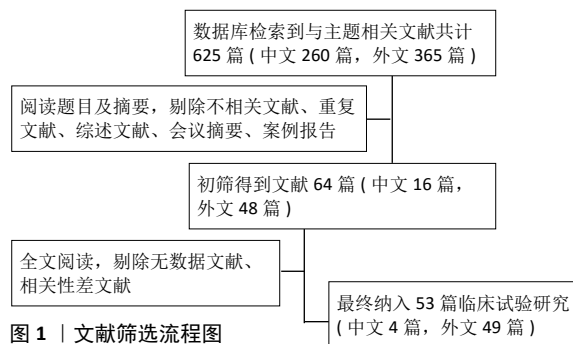


图1 | 文献筛选流程图

2 结果 Results

2.1 BFRT在膝关节疾病康复中的应用 通过对国内外的相关文献进行回顾发现, 在膝关节疾病康复中, BFRT主要用于前交叉韧带重建和膝关节镜术后、膝关节骨关节炎、髌股关节痛、类风湿性关节炎及膝前痛患者, 具体应用详见表1。

2.1.1 膝关节术后 膝关节前交叉韧带和半月板损伤是一种常见的运动损伤, 为了减少活动相关的失能和可能导致再次损伤的膝关节不稳定, 对前交叉韧带撕裂患者, 支持进行外科手术^[18-19]。膝关节术后康复的主要目标是恢复到损伤前的运动水平, 目前的康复指南建议, 为引起肌肉大小和力量的显著增长, 需使用 $\geq 70\%1RM$ 的质量进行训练^[8]。然而, 术后患者常因疼痛或肌无力而无法完成高强度训练或在训练进展阶段不能完全耐受高强度训练; 另外, 术后下肢肌肉萎缩和肌肉无力问题可能导致患者长期康复和预后下降^[20-21]。因此, 预防肌肉萎缩、促进肌肉力量增长和肌肉肥大、使患者能够尽早恢复到伤前运动水平尤为重要。

表 1 | 血流限制训练在膝关节疾病康复中的应用

研究者	受试者	样本量	训练变量				血流限制程度		血流限制干预疗效
			训练负荷 (1RM)	训练量	间歇时间	频率	袖带宽度	限制压力	
张林玲等 ^[24]	膝关节镜术后	78	30%	4 组, 15 次 / 组	30 s	2-4 次 / 周, 3 个月	未具体说明	80% 肢体闭塞压	伸膝肌力、关节功能以及活动度显著改善
孙学斌等 ^[30]	前交叉韧带重建	30	低负荷运动	3 组, 40-50 次 / 组	60 s	3 次 / 周, 3 个月	10 cm	100 mmHg	大腿围度和膝关节功能显著改善
CURRAN 等 ^[33]	前交叉韧带重建	34	70%	4 组, 10 次 / 组	2 min	2 次 / 周, 8 周	未具体说明	80% 肢体闭塞压	股四头肌肌力和股直肌体积等均无显著差异
KILGAS 等 ^[29]	前交叉韧带重建	18	低负荷运动	3 组, 30 次 / 组	60 s	5 次 / 周, 4 周	18 cm	50% 肢体闭塞压	股四头肌的大小、力量和对称性明显改善
HUGHES 等 ^[14]	前交叉韧带重建	28	30%	4 组, 30-15-15-15 次	30 s	2 次 / 周, 8 周	11.5 cm	80% 肢体闭塞压	肌肉肥大、力量、膝关节疼痛及关节功能显著改善
HUGHES 等 ^[28]	前交叉韧带重建	28	30%	4 组, 30-15-15-15 次	30 s	2 次 / 周, 8 周	11.5 cm	80% 肢体闭塞压	膝关节疼痛降低
李奇等 ^[31]	前交叉韧带重建	36	30%	4 组, 30-15-15-15 次	60 s	2 次 / 周, 3 个月	未具体说明	80 mmHg	膝关节功能、股四头肌肌力和横截面积显著增加
ŽARGI 等 ^[52]	前交叉韧带重建术前	20	极低负荷运动	6 组, 至力竭	45-90 s	手术前 8 d, 5 次	14 cm	150 mmHg	术后前 4 周内可有效预防股四头肌肌肉耐力下降
HUGHES 等 ^[27]	前交叉韧带重建	30	30%	4 组, 30-15-15-15 次	30 s	1 次	11.5 cm	80% 肢体闭塞压	运动期间及运动后 24 h 膝关节疼痛较低
刘莉等 ^[25]	膝关节镜术后	77	30%	4 组, 15 次 / 组	30 s	2 次 / d, 2 周	未具体说明	80% 肢体闭塞压	大腿围度、平路步行速度、伸膝肌力及膝关节功能评分显著改善
TENNENT 等 ^[26]	膝关节镜术后	17	30%	4 组, 30-15-15-15 次	30 s	12 次, 2 周	未具体说明	80% 肢体闭塞压	大腿围度和力量显著增加, 功能显著改善
IVERSEN 等 ^[23]	前交叉韧带重建	24	低负荷运动	200 次 / d	3 min	2 次 / d, 14 d	14 cm	130-180 mmHg	股四头肌解剖横截面积显著减少
GRAPAR ZARGI 等 ^[53]	前交叉韧带重建术前	20	极低负荷运动	6 组, 至力竭	45-90 s	手术前 10 d, 5 次	14 cm	150 mmHg	股四头肌肌肉质量、等长肌力和功能无显著差异
OHTA 等 ^[32]	前交叉韧带重建	44	低负荷运动	1-3 组, 20 次 / 组	未具体说明	6 次 / 周, 16 周	未具体说明	180 mmHg	膝伸肌和屈肌肌力显著增加, 膝伸肌横截面积明显增大
TAKARADA 等 ^[22]	前交叉韧带重建	16	单独使用血流限制	5×5 min 闭塞	3 min	2 次 / d, 11 d	9 cm	180-230 mmHg	膝伸肌横截面积减少量明显降低
HARPER 等 ^[45]	膝骨关节炎	35	20%	至力竭	未具体说明	3 次 / 周, 12 周	未具体说明	按公式 (加压量 = 0.5×收缩压 + 2×大腿围 + 5)	膝关节疼痛和功能得到改善
FERRAZ 等 ^[11]	膝骨关节炎	48	20%-30%	4-5 组, 每组 15 次	60 s	2 次 / 周, 12 周	17.5 cm	70% 肢体闭塞压	股四头肌肌力、质量和功能显著增加, 减轻关节压力并改善疼痛
BRYK 等 ^[12]	膝骨关节炎	34	30%	3 组, 每组 30 次	未具体说明	3 次 / 周, 6 周	未具体说明	200 mmHg	股四头肌肌力、膝关节疼痛和功能得到改善
SEGAL 等 ^[43]	膝骨关节炎	40	30%	4 组, 30-15-15-15 次	30 s	3 次 / 周, 4 周	6.5 cm	100-200 mmHg	股四头肌力量显著增加, 体积、疼痛等变化无明显差异
SEGAL 等 ^[44]	膝骨关节炎	41	30%	4 组, 30-15-15-15 次	30 s	3 次 / 周, 4 周	6.5 cm	100-200 mmHg	股四头肌力量增加无显著差异, 疼痛无明显改善
GILES 等 ^[13]	髌股疼痛	69	30%	4 组, 30-15-15-15 次	30 s	3 次 / 周, 8 周	未具体说明	60% 肢体闭塞压	日常生活活动时疼痛显著降低
KORAKAKIS 等 ^[39]	膝前痛	40	低负荷运动	4 组, 力竭-15-15-15 次	30 s	1 次	10 cm	80% 肢体闭塞压	膝关节疼痛显著减轻
RODRIGUES 等 ^[34]	类风湿性关节炎	48	20%-30%	4-5 组, 15 次 / 组	60 s	2 次 / 周, 12 周	17.5 cm	70% 肢体闭塞压	下肢肌力、股四头肌横截面积、功能和生活质量等均有显著改善

表注: 1RM 为 1 次重复最大收缩, 1 mmHg=0.133 kPa

BFRT 作为一种新兴的康复训练方式在膝关节术后康复中的应用在逐渐增加, 其以较低的运动强度便能促进肌肉力量增长和肌肉肥大。研究表明即使是在单独使用血流限制的情况下, 与对照组相比, 血流限制组使肌肉萎缩减少了近 50%^[22]。而另一项对前交叉韧带重建术后患者的研究采用类似的研究方案 (2 次 / d, 5 组 5 min 闭塞, 限制压力值为 130-180 mmHg, 组间间歇 3 min)

进行股四头肌等长收缩和直腿抬高训练, 干预 14 d 后发现对照组和干预组的股四头肌解剖横截面积均明显减少, 在股四头肌萎缩方面, 两组之间没有显著差异^[23]。值得注意的是, IVERSEN 等^[23]认为结果上的差异可能与研究中训练强度低于减少股四头肌萎缩所必需的最小强度 (10%1RM) 有关, 并建议未来的研究应使用肌肉体积而不是解剖横截面积作为股四头肌萎缩预后指标。

此外,大多数研究表明,即使在低至20%–30%1RM的运动强度下也显示出有益的训练效果。张林玲等^[24]将78例膝关节微创手术患者分为常规康复训练组和常规康复训练结合血流限制组,两组均进行常规康复训练,血流限制组运动前在大腿近端放置充气式止血带,并充气至80%肢体闭塞压以30%1RM的阻力进行伸膝运动,结果发现血流限制组膝关节功能评分、活动度以及伸膝肌力显著高于常规组。研究表明BFRT有助于提高膝关节微创手术早期肌力、关节功能以及活动度,能降低慢性疼痛、下肢瘀斑/肿胀等并发症的发生率。另外刘莉等^[25]和TENNET等^[26]以膝关节术后患者为实验对象,进行为期2周的BFRT,阻力为30%1RM,限制压力值为80%肢体闭塞压,训练量为每次4组,分别重复60次和75次,训练频率分别为每天2次和每周6次,结果发现血流限制组大腿围度、伸膝肌力及膝关节功能在两项研究中均有显著改善。研究表明术后治疗方案中增加BFRT干预可改善患者的肌肉力量、肌肉体积及关节功能,且在研究期间未观察到任何不良事件^[24-26]。HUGHES等^[14]对28例前交叉韧带重建患者进行了为期8周的康复干预,研究发现BFRT(30%1RM)在改善肌肉力量和大小方面与高强度抗阻训练(70%1RM)相似,并且可以更大程度地减少膝关节疼痛和肿胀,从而改善整体身体功能。HUGHES等^[27]比较了前交叉韧带重建患者和非受伤人群对BFRT和高强度抗阻训练的急性知觉和血压反应,对前交叉韧带重建患者研究发现,BFRT组的主观感觉疲劳程度与高强度抗阻训练组相似,肌肉疼痛高于高强度训练组,运动期间及运动后24h膝关节疼痛均低于高强度训练组,两组运动前后血压无异常。因此,作者认为BFRT对训练期间患者的依从性产生积极影响,并对膝关节疼痛产生有利影响。同一作者的另一项关于BFRT舒适性和疼痛性的研究也有类似的发现^[28]。HUGHES等^[14, 27-28]的前后3项研究证明了BFRT比高负荷抗阻训练更适合前交叉韧带重建患者,同时也能有效改善患者的肌力和功能。

在一项基于家庭的BFRT中,KILGAS等^[29]对9例平均前交叉韧带术后5年的患者进行为期4周训练后,发现试验组有效提高了股四头肌大小和力量,且减少了患腿/健腿的不对称性。此外,孙学斌等^[30]、李奇等^[31]和OHTA等^[32]对前交叉韧带重建术后患者进行血流限制结合低负荷训练的研究也发现了BFRT改善肌肉大小和力量的积极作用。然而,CURRAN等^[33]研究了血流限制(80%肢体闭塞压)结合高强度抗阻训练(70%1RM)对前交叉韧带重建患者股四头肌功能恢复的影响,对34例患者进行为期8周(每周2次,每次4组,重复40次,组间间歇2min)的康复介入后,发现血流限制与高强度抗阻训练结合使用对前交叉韧带重建术后股四头肌肌力、激活或萎缩恢复没有显著改善。研究表明前交叉韧带重建术后改善股四头肌肌肉功能,BFRT与高强度抗阻训练的结合使用可能不是必要的。

综上所述,在膝关节术后康复中以较低的运动强度(20%–30%1RM)进行为期2–12周^[11, 25-26, 34]、每周两三次、每次三四组、重复10–50次/力竭的血流限制(50%–80%肢体闭塞压)抗阻训练,便能促进肌肉力量增长和肌肉肥大,并且血流限制单独使用可以有效防止由于无负荷状态导致的失用性肌萎缩,有利于加速膝关节术后康复进程。

2.1.2 髌股关节痛和膝前痛 髌股疼痛是一种常见的慢性肌肉骨骼疾病,表现为髌股关节负荷活动(如下蹲、上下楼梯和跑步)时髌骨周围或后面的疼痛^[35],与髌股疼痛相关的疼痛和症状限制了对日常和工作活动的参与,并降低了身体活动水平^[36-37]。膝前痛是一种非特异性诊断,常见于前交叉韧带重建和/或半月板手术后,股四头肌强化被认为可以减少膝前痛^[38]。GILES等^[13]将79例髌股疼痛患者分为标准股四头肌强化组(70%1RM)和血流限制

组(30%1RM),进行为期8周的康复干预,结果发现,与标准组相比,血流限制组在减少日常活动的疼痛方面更有效,可以使股四头肌力量得到更大的改善。此外,另一项关于膝前痛患者的研究发现低负荷BFRT可有效减轻功能活动中的疼痛^[39]。因此,对于因疼痛而不能耐受标准化股四头肌强化训练(70%1RM)的髌股疼痛和膝前痛患者而言,BFRT可能是一种有用的替代方案。

2.1.3 膝关节骨关节炎 膝关节骨关节炎是一种慢性退行性病变,其特征是慢性疼痛、身体功能障碍和生活质量下降^[40-41]。美国风湿病学院和关节炎基金会建议,对膝关节炎患者而言,增加力量不仅可以减轻症状,还有助于降低关节恶化风险^[42]。

目前,在对膝骨关节炎人群进行BFRT干预的研究中,受试者主要为女性。且仅有一项研究对限制压力进行个体化设置^[11],其他要么是根据前人研究设置加压值^[12, 43-44],要么是根据公式设置加压值^[45]。HARPER等^[45]为了观察BFRT在老年膝骨关节炎患者中的安全性和可行性,将35例患有膝骨关节炎的老年人(≥60岁)分为BFRT组和中等强度抗阻训练组,血流限制组以20%1RM的负荷进行为期12周、每周3次运动至力竭的康复训练,其中加压值按照公式(加压量=0.5×收缩压+2×大腿围+5)设置,报道了14例膝关节疼痛的报告(血流限制组3例,中等强度抗阻训练组11例),两组的训练出勤率达80%以上,结果发现对于老年骨关节炎患者而言,BFRT是一种安全可行的替代方案,可以改善老年骨关节炎患者的疼痛和功能。FERRAZ等^[11]以48例女性膝骨关节炎患者为研究对象,进行为期12周、每周2次的低强度(20%–30%1RM)血流限制(70%肢体闭塞压)训练,结果发现血流限制组和高强度抗阻训练组均能够增加骨关节炎患者的肌肉力量、质量和功能,而且BFRT还能够在减少关节压力的同时改善疼痛。另一项对34例女性骨关节炎患者的研究[为期6周,每周3次的低强度(30%1RM)血流限制(200 mmHg)训练]也有类似的发现^[12]。SEGAL等^[43]对有膝骨关节炎风险的40例女性进行为期4周、每周3次的低强度康复训练,血流限制组在训练基础上加上100–200 mmHg的限制压力,结果发现与对照组相比,BFRT可有效增加膝骨关节炎风险女性的腿部蹬伸和膝伸肌力量。然而,另一项对有膝骨关节炎风险男性的研究使用相同的BFRT方案,结果发现与对照组相比,BFRT并不能显著增加有膝骨关节炎风险男性的腿部蹬伸和膝伸肌力量^[44]。这种结果上的差异可能是因为性别差异引起的实际血流限制程度不一致,统一设定的限制压力可能不会对所有人的血流造成相同程度的限制,即男性的大腿围通常比女性大,对男性患者而言,统一设置的加压值100–200 mmHg可能不足以诱导肌肉生长。

综上所述,血流限制能够改善膝骨关节炎患者的肌肉力量、肌肉体积,以及减少运动或日常生活中的疼痛和不适感。有学者指出大腿围是血流限制压力的一个重要预测因子^[46],较大的肢体需要更高的压力才能达到与较小肢体相同的压力水平^[47]。因此,在实际应用中,应考虑肢体围度对血流限制程度的影响,建议使用肢体闭塞压的百分比设定加压值以便安全有效地限制血流。

2.1.4 类风湿性关节炎 类风湿性关节炎是一种慢性、全身性自身免疫性疾病,其典型症状为关节疼痛、肿胀、畸形^[48],肌力丧失是类风湿性关节炎患者的常见特征^[49]。RODRIGUES等^[34]将48例类风湿性关节炎患者分为高强度训练组(70%1RM)、血流限制组(30%1RM)和对照组,进行为期12周、每周2次的血流限制(70%肢体闭塞压)训练后,发现BFRT能有效改善类风湿性关节炎患者的下肢肌力、股四头肌横截面积、功能和健康相关的生活质量。研究表明,对于类风湿性关节炎患者而言,低强度抗阻BFRT是一种可行的治疗方法。

2.2 BFRT在膝骨关节炎疾病康复中的应用方案 目前的研究表明,

在膝关节疾病康复中, BFRT 具有与高强度抗阻训练相似的效益, 且膝关节疼痛较少; 与单纯的低强度抗阻训练相比, BFRT 在肌肉肥大和力量方面表现出更有效的提高。BFRT 的低负荷性使其受到越来越多的关注, 但在实际应用中, 血流限制训练仍受训练变量和血流限制程度以及个体特征的影响, 主要包括训练类型、训练负荷、训练量、间歇时间、训练频率、袖带宽度、肢体围度及限制压力等。

2.2.1 训练类型 在膝关节疾病康复中, 血流限制多与低负荷抗阻训练结合使用, 采用单关节和/或多关节力量训练, 这些研究大都证实了其对抗肌肉大小和力量的益处^[11-12, 14, 24-26, 29-32, 34, 43]。

此外, 血流限制的单独使用(5×5 min 闭塞, 限制压力值为 180-230 mmHg, 组间间歇 3 min) 可以减轻前交叉韧带重建患者术后失用性肌肉萎缩^[22]。综合来看, 在康复早期, 对于无法承受低负荷抗阻训练的患者而言, 单独使用血流限制可以减轻失用性肌肉萎缩。在康复进展阶段, 血流限制可结合低负荷的单关节和/或多关节抗阻训练以促进肌肉肥大和力量增长。

2.2.2 训练负荷 现有 BFRT 研究常采用的负荷质量为 20%-30%1RM, 血流限制结合低负荷抗阻训练可以有效增加肌肉质量和力量, 减轻关节压力并改善关节疼痛^[11]。一项对膝关节骨关节炎患者的研究表明, 为期 6 周的血流限制结合低负荷抗阻训练(30%1RM, 每周训练 3 次, 每次 3 组, 每组重复 30 次), 可以有效改善股四头肌肌力、功能并减轻疼痛^[12]。另有在同等训练负荷下结合血流限制的研究也显示出同等疗效^[11, 14]。然而, CURRAN 等^[33] 的研究表明, 前交叉韧带重建患者进行为期 8 周、每周 2 次的血流限制(限制压力值为 80% 肢体闭塞压) 结合高强度抗阻训练(4 组, 重复 40 次, 70%1RM, 组间间歇 2 min), 股四头肌肌力和股直肌体积变化均无显著差异。由此可见, 在膝关节疾病康复中, 血流限制抗阻训练的负荷质量设置为 20%-30%1RM 可能有利于增强肌肉的大小和力量。

2.2.3 训练量 以往关于血流限制结合阻力训练的研究中有常用的重复次数方案, 共 4 组练习, 第 1 组重复 30 次, 后 3 组分别重复 15 次共 75 次^[50-51]。有些研究依据 75 次重复方案来实施阻力训练^[13-14, 26-28, 31, 43-44], 有些进行 3-5 组练习, 重复次数 10-50 次不等^[11-12, 24-25, 29-30, 32-34, 42], 或运动至力竭^[45, 52-53]。

2.2.4 间歇时间 大部分血流限制结合低负荷抗阻训练都采用 30-60 s, 有些研究组间间歇两三分钟^[22-23, 33]。为保证足够的静脉阻塞, 研究建议休息期间保持闭塞刺激^[51]。

2.2.5 训练频率 大多保持每周两三次, 持续时间 2-12 周不等。根据以往研究可知, 每周两三次的训练频率足以促进肥大效应^[51], BFRT 的训练频率从 6 次/周到 2 次/d 不等^[22-23, 25, 32]。刘莉等^[25] 采用 30%1RM、4 组共 60 次的方案进行每天 2 次的 BFRT 后, 发现大腿围度、平路步行速度、伸膝肌力及膝关节功能评分显著改善, 且未发现任何不良事件。另一项对前交叉韧带重建患者急性知觉反应的研究(1 d) 发现, 相比于高负荷组, 血流限制组运动期间及运动后 24 h 膝关节疼痛较轻^[27]。

2.2.6 袖带宽度和肢体围度 现有研究的袖带宽度为 6.5-18 cm, 而有些研究未具体说明所使用袖带尺寸^[12-13, 24-26, 31-32, 45]。有学者报道, 宽的血流限制袖带限制动脉血流的压力比窄的血流限制袖带低, 高幅度(160-240 mmHg) 的闭塞压力可能会导致部分人完全缺血, 这取决于肢体围度^[46]。因此, 未来的研究应考虑所用袖带的宽度以及肢体围度, 加压部位围度越大, 所需的加压压力也越大。

2.2.7 限制压力 限制压力是影响 BFRT 效果的一个重要因素, 现有研究中, 设定压力值的方式不尽相同, 12 项研究以肢体闭塞压的百分比(50%-80%) 来确定压力值^[11, 13-14, 24-29, 33-34, 39]; 10 项研究是根据前人经验设定压力值, 主要在 80-230 mmHg 范围

内^[12, 22-23, 30-32, 43-44, 52-53]; 也有研究按公式(加压量 = 0.5 × 收缩压 + 2 × 大腿围 + 5) 设定限制压力值^[45]。

2.3 BFRT 在应用中的注意事项 目前, 血流限制的最佳方案仍是未知的。SCOTT 等^[51] 的指南为 BFRT 的应用提供了一个框架, 建议袖带宽度为下肢(6-13.5 cm) 宽袖带(较宽的袖带在更低的压力下完成闭塞); 血流限制压力为 40%-80% 的肢体闭塞压(较大的肢体需要更高的压力); 训练强度为 20%-40% 1RM/ 最大自主收缩力量; 单关节和多关节运动均有益; 训练量为 50-80 次(分组完成), 推荐标准的 30-15-15-15 方案共 75 次重复; 组间休息 30-45 s(为保证足够的静脉阻塞, 建议休息期间保持闭塞刺激), 训练频率为每周两三次。在使用血流限制进行训练时, 还应该考虑所用袖带的宽度以及肢体围度, 即宽袖带限制动脉血流的压力值比窄袖带低、较大的肢体需要更高的压力才能达到与较小肢体相同的限制性水平。另外, 限制压力应针对每个肢体设定, 以规范个性化 BFRT 运动处方。

2.4 BFRT 在常见膝关节疾病康复中应用的安全性 与 BFRT 相关的不良事件很少发生, OHTA 等^[32] 报道, 在训练期间, 2 例患者因下肢不适或隐痛而脱落。KILGAS 等^[29] 报道, 运动训练后平均肌肉酸痛 < 1.0 cm。IVERSEN 等^[23] 报告的横纹肌溶解症少于 1/10 000 例(0.008%)。另有一些学者报道进行 BFRT 后, 两组患者在训练期间均未出现下肢瘀斑、肿胀及局部压痛等并发症, 彩超检查也未发现深静脉血栓形成^[24-26]。大部分研究报告无不良事件或没有报告血流限制的不良事件, 目前有限的证据表明这种训练方式是安全的, 不良反应很少见。专家建议, 所有患者在临床应用前均应进行血流限制禁忌证筛查^[50]。总体而言, 在应用前对血流限制禁忌证进行筛查, 并且强调个性化的血流限制运动处方以及在适当的医务监督下, BFRT 的风险不会比其他抗阻训练大。

3 总结与展望 Conclusions and prospects

BFRT 被证明可有效增加膝关节疾病患者的肌肉大小和力量, 且单独使用还可以预防失用性肌萎缩。然而, 在实施血流限制进行训练时, 必须确保使用的袖带宽度是合适的, 限制性压力是针对每个肢体设定的。目前的研究中, 通常选择完全闭塞动脉压力值的 50%-80%, 袖带宽度为 6.5-18 cm, 训练负荷为 20%-30%1RM; 训练量大多维持在 4 组 30-15-15-15, 共 75 次重复, 组间间歇时间一般为 30-60 s; 且很少发生与 BFRT 相关的不良事件, BFRT 是一种相对安全的训练方法。

BFRT 在临床康复中作为一种新型的训练方法, 未来的研究中, 应注意: ①扩大对 BFRT 方案的研究, 以便在临床中安全有效的应用; ②记录不良事件, 以便更好地了解相关风险; ③寻求个性化 BFRT 方案, 进行定期的负荷评估并加强长期随访; ④比较不同训练方案在不同人群中的应用效果; ⑤在膝关节疾病康复中, 本体感觉强化对膝关节功能十分重要, 未来的研究应关注本体感觉测试, 观察 BFRT 对本体感觉功能的影响。

致谢: 感谢广州体育学院为此次研究提供良好的资料收集平台, 感谢刘书芳副教授的细心帮助。

作者贡献: 卫星收集与查阅文献并设计撰写综述, 毛宁负责文献检索及收集资料, 刘书芳教授负责评估与审核。

经费支持: 该文章接受了“广东省体育局项目(GDSS2020N103)”的资助。所有作者声明, 经费支持没有影响文章观点和对研究数据客观结果的统计分析及其报道。

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。

写作指南: 该研究遵守《系统综述和荟萃分析报告规范》(PRISMA 指南)。

文章查重: 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。

文章外审: 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。

文章版权: 文章出版前杂志已与全体作者授权人签署了版权相关协议。

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。

4 参考文献 References

- [1] MARCON M, CIRITSIS B, LAUX C, et al. Quantitative and qualitative MR-imaging assessment of vastus medialis muscle volume loss in asymptomatic patients after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Magn Reson Imaging*. 2015;42(2): 515-525.
- [2] MARCON M, CIRITSIS B, LAUX C, et al. Cross-sectional area measurements versus volumetric assessment of the quadriceps femoris muscle in patients with anterior cruciate ligament reconstructions. *Eur Radiol*. 2015;25(2): 290-298.
- [3] DE JONG SN, VAN CASPEL DR, VAN HAEFF MJ, et al. Functional assessment and muscle strength before and after reconstruction of chronic anterior cruciate ligament lesions. *Arthroscopy*. 2007;23(1):21-28,28.e21-23.
- [4] PETERSON SC, BARRANCE P, BUCHANAN T, et al. Mechanisms underlying quadriceps weakness in knee osteoarthritis. *Med Sci Sports Exerc*. 2008;40(3): 422-427.
- [5] PALMIERI-SMITH RM, THOMAS AC, KARVONEN-GUTIERREZ C, et al. Isometric quadriceps strength in women with mild, moderate, and severe knee osteoarthritis. *Am J Phys Med Rehabil*. 2010;89(7):541-548.
- [6] THOMAS AC, VILLWOCK M, WOJTYK EM, et al. Lower extremity muscle strength after anterior cruciate ligament injury and reconstruction. *J Athl Train*. 2013; 48(5):610-620.
- [7] PAPALIA R, ZAMPOGNA B, TORRE G, et al. Sarcopenia and its relationship with osteoarthritis: risk factor or direct consequence? *Musculoskelet Surg*. 2014; 98(1):9-14.
- [8] GARBER CE, BLISSMER B, DESCHENES MR, et al. American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 2011;43(7):1334-1359.
- [9] SATO Y. The history and future of KAATSU Training. *Int J Kaatsu Train Res*. 2005; 1(1):1-5.
- [10] TEGTBUR U, HAUFE S, BUSSE MW. [Application and effects of blood flow restriction training]. *Unfallchirurg*. 2020;123(3):170-175.
- [11] 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.
- [12] BRYK FF, DOS REIS AC, FINGERHUT D, et al. Exercises with partial vascular occlusion in patients with knee osteoarthritis: a randomized clinical trial. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2016;24(5):1580-1586.
- [13] GILES L, WEBSTER KE, MCLELLAND J, et al. Quadriceps strengthening with and without blood flow restriction in the treatment of patellofemoral pain: a double-blind randomized trial. *Br J Sports Med*. 2017;51(23):1688-1694.
- [14] HUGHES L, ROSENBLATT B, HADDAD F, et al. Comparing the Effectiveness of Blood Flow Restriction and Traditional Heavy Load Resistance Training in the Post-Surgery Rehabilitation of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Patients: A UK National Health Service Randomised Controlled Trial. *Sports Med*. 2019;49(11):1787-1805.
- [15] HWANG PS, WILLOUGHBY DS. Mechanisms Behind Blood Flow-Restricted Training and its Effect Toward Muscle Growth. *J Strength Cond Res*. 2019;33 Suppl 1: S167-s179.
- [16] PEARSON SJ, HUSSAIN SR. A review on the mechanisms of blood-flow restriction resistance training-induced muscle hypertrophy. *Sports Med*. 2015;45(2):187-200.
- [17] HUGHES L, PATON B, ROSENBLATT B, et al. Blood flow restriction training in clinical musculoskeletal rehabilitation: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med*. 2017;51(13): 1003-1011.
- [18] MUSAHL V, KARLSSON J. Anterior Cruciate Ligament Tear. *N Engl J Med*. 2019; 380(24):2341-2348.
- [19] WEINREB JH, YOSHIDA R, COTE MP, et al. A Review of Databases Used in Orthopaedic Surgery Research and an Analysis of Database Use in Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic and Related Surgery. *Arthroscopy*. 2017;33(1):225-231.
- [20] WILLIAMS GN, BUCHANAN TS, BARRANCE PJ, et al. Quadriceps weakness, atrophy, and activation failure in predicted noncopers after anterior cruciate ligament injury. *Am J Sports Med*. 2005;33(3):402-407.
- [21] GOETSCHIUS J, HART JM. Knee-Extension Torque Variability and Subjective Knee Function in Patients with a History of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *J Athl Train*. 2016;51(1):22-27.
- [22] TAKARADA Y, TAKAZAWA H, ISHII N. Applications of vascular occlusion diminish disuse atrophy of knee extensor muscles. *Med Sci Sports Exerc*. 2000;32(12): 2035-2039.
- [23] IVERSEN E, RØSTAD V, LARMO A. Intermittent blood flow restriction does not reduce atrophy following anterior cruciate ligament reconstruction. *J Sport Health Sci*. 2016;5(1):115-118.
- [24] 张林玲, 王玉明, 赵燕燕, 等. 血流限制训练在膝关节微创手术早期康复中的应用 [J]. *护理实践与研究*, 2020,17(16):87-89.
- [25] 刘莉, 李静, 赵冬梅, 等. 血流限制训练在膝关节术后患者康复训练中的应用 [J]. *护理学杂志*, 2017,32(24): 82-84.
- [26] TENNENT DJ, HYLLEN CM, JOHNSON AE, et al. Blood Flow Restriction Training After Knee Arthroscopy: A Randomized Controlled Pilot Study. *Clin J Sport Med*. 2017;27(3):245-252.
- [27] 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.
- [28] HUGHES L, PATTERSON S. D, HADDAD F, et al. Examination of the comfort and pain experienced with blood flow restriction training during post-surgery rehabilitation of anterior cruciate ligament reconstruction patients: A UK National Health Service trial. *Phys Ther Sport*. 2019;39:90-98.
- [29] KILGAS MA, LYTLE LLM, DRUM SN, et al. Exercise with Blood Flow Restriction to Improve Quadriceps Function Long After ACL Reconstruction. *Int J Sports Med*. 2019;40(10):650-656.
- [30] 孙学斌, 岐飞, 曹力. 不同康复治疗方法对关节镜下前交叉韧带重建术后患者的短期疗效观察 [J]. *新疆医学*, 2020,50(5):441-445.
- [31] 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.
- [32] OHTA H, KUROSAWA H, IKEDA H, et al. Low-load resistance muscular training with moderate restriction of blood flow after anterior cruciate ligament reconstruction. *Acta Orthop Scand*. 2003;74(1):62-68.
- [33] CURRAN MT, BEDI A, MENDIAS CL, et al. Blood Flow Restriction Training Applied With High-Intensity Exercise Does Not Improve Quadriceps Muscle Function After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Randomized Controlled Trial. *Am J Sports Med*. 2020;48(4):825-837.
- [34] RODRIGUES R, FERRAZ RB, KURIMORI CO, et al. Low-Load Resistance Training With Blood-Flow Restriction in Relation to Muscle Function, Mass, and Functionality in Women With Rheumatoid Arthritis. *Arthritis Care Res (Hoboken)*. 2020;72(6):787-797.
- [35] COLLINS NJ, BARTON CJ, VAN MIDDELKOOP M, et al. 2018 Consensus statement on exercise therapy and physical interventions (orthoses, taping and manual therapy) to treat patellofemoral pain: recommendations from the 5th International Patellofemoral Pain Research Retreat, Gold Coast, Australia, 2017. *Br J Sports Med*. 2018;52(18):1170-1178.
- [36] RATHLEFF MS, RATHLEFF CR, OLESEN JL, et al. Is Knee Pain During Adolescence a Self-limiting Condition? Prognosis of Patellofemoral Pain and Other Types of Knee Pain. *Am J Sports Med*. 2016;44(5):1165-1171.
- [37] HALL R, BARBER FOSS K, HEWETT TE, et al. Sport specialization's association with an increased risk of developing anterior knee pain in adolescent female athletes. *J Sport Rehabil*. 2015;24(1):31-35.
- [38] CULVENOR AG, COOK JL, COLLINS NJ, et al. Is patellofemoral joint osteoarthritis an under-recognised outcome of anterior cruciate ligament reconstruction? A narrative literature review. *Br J Sports Med*. 2013;47(2):66-70.
- [39] KORAKAKIS V, WHITELEY R, GIAKAS G. Low load resistance training with blood flow restriction decreases anterior knee pain more than resistance training alone. A pilot randomised controlled trial. *Phys Ther Sport*. 2018;34:121-128.
- [40] FRANSEN M, MCCONNELL S, HARMER AR, et al. Exercise for osteoarthritis of the knee: a Cochrane systematic review. *Br J Sports Med*. 2015;49(24): 1554-1557.
- [41] CROSS M, SMITH E, HOY D, et al. The global burden of hip and knee osteoarthritis: estimates from the global burden of disease 2010 study. *Ann Rheum Dis*. 2014; 73(7):1323-1330.
- [42] KOLASINSKI SL, NEOGI T, HOCHBERG MC, et al. 2019 American College of Rheumatology/Arthritis Foundation Guideline for the Management of Osteoarthritis of the Hand, Hip, and Knee. *Arthritis Care Res (Hoboken)*. 2020;72(2):149-162.
- [43] SEGAL NA, WILLIAMS GN, DAVIS MC, et al. Efficacy of blood flow-restricted, low-load resistance training in women with risk factors for symptomatic knee osteoarthritis. *PM R*. 2015;7(4):376-384.
- [44] SEGAL N, DAVIS MD, MIKESKY AE. Efficacy of Blood Flow-Restricted Low-Load Resistance Training For Quadriceps Strengthening in Men at Risk of Symptomatic Knee Osteoarthritis. *Geriatr Orthop Surg Rehabil*. 2015;6(3):160-167.
- [45] HARPER SA, ROBERTS LM, LAYNE AS, et al. Blood-Flow Restriction Resistance Exercise for Older Adults with Knee Osteoarthritis: A Pilot Randomized Clinical Trial. *J Clin Med*. 2019;8(2):265.
- [46] LOENNEKE JP, FAHS CA, ROSSOW LM, et al. Effects of cuff width on arterial occlusion: implications for blood flow restricted exercise. *Eur J Appl Physiol*. 2012;112(8):2903-2912.
- [47] HEITKAMP HC. Training with blood flow restriction. Mechanisms, gain in strength and safety. *J Sports Med Phys Fitness*. 2015;55(5):446-456.
- [48] SINGH JA, SAAG KG, BRIDGES SL JR, et al. 2015 American College of Rheumatology Guideline for the Treatment of Rheumatoid Arthritis. *Arthritis Care Res (Hoboken)*. 2016;68(1): 1-25.
- [49] SUL B, LEE KB, JOO YB, et al. Twelve Weeks of Strengthening Exercise for Patients with Rheumatoid Arthritis: A Prospective Intervention Study. *J Clin Med*. 2020; 9(9):2792.
- [50] DEPHILIPPO NN, KENNEDY MI, AMAN ZS, et al. The Role of Blood Flow Restriction Therapy Following Knee Surgery: Expert Opinion. *Arthroscopy*. 2018;34(8): 2506-2510.
- [51] 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.
- [52] ŽARGI T, DROBNIC M, STRAŽAR K, et al. Short-Term Preconditioning With Blood Flow Restricted Exercise Preserves Quadriceps Muscle Endurance in Patients After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Front Physiol*. 2018;9:1150.
- [53] GRAPAR ŽARGI T, DROBNIC M, JKODER J, et al. The effects of preconditioning with ischemic exercise on quadriceps femoris muscle atrophy following anterior cruciate ligament reconstruction: a quasi-randomized controlled trial. *Eur J Phys Rehabil Med*. 2016;52(3):310-320.

(责任编辑: GD, ZN, SX)