

·循证医学·

血流限制性阻力训练对膝关节伤病者疼痛和肌肉功能影响的meta分析

赵红波¹ 荣湘江¹ 刘 华¹ 马婷婷^{2,3} 何 艳^{2,3} 张 琦^{2,3,4}

血流限制性阻力训练(blood flow restriction resistance training, BFRT)是在四肢近端使用充气加压的血压袖带或止血带限制动脉的血流量同时进行低负荷阻力运动的一种方法,也称“加压训练”^[1]。血流限制动脉闭塞压力大小与袖带的宽度、肢体的围度、设定的血压等因素相关^[2]。Björnsson T等^[3]对17例健康男性进行血流限制性阻力训练,表明在10—24天肌肉体积和肌肉力量增至最大。Bordessa JM^[4]和Labata-Lezaun N等^[5]研究健康受试者进行血流限制结合低负荷阻力训练,与高负荷阻力训练比较,发现前者股四头肌肌肉力量增加少一些,但与高负荷阻力训练产生的训练效果较相似。但是,Vechin FC等^[6]研究显示,23例老年人12周训练后,血流限制性阻力训练和高负荷阻力训练组间对比,结果显示股四头肌肌肉横断面积增加无显著性差异。

有研究表明,血流限制性训练结合低负荷阻力训练可以是替代无法进行高负荷阻力训练的一种方法^[7-9]。目前该研究多以竞技体育、健康人群为主,膝关节伤病群体受试者较少^[10-11]。膝关节是全身发病率最高的关节,膝关节疼痛既可因交叉韧带、半月板损伤引起,也可因髌股关节异常、关节软骨病变引起。康复目的是缓解或消除症状,尽可能恢复关节功能。关于血流限制性阻力训练对膝关节伤病康复效果的研究结果具有争议性。因此,本文通过meta分析BFRT对膝关节伤病者疼痛和肌肉功能的影响,为临床治疗提供依据。

1 资料与方法

1.1 检索策略与提取

1.1.1 检索策略:检索2015年1月—2022年6月的电子数据库,共9个,包括中国知网、万方、维普、中国生物医学文献数据库、Web of science、PubMed、Embase、Medline、Cochrane。检索式:①中文数据库:(主题词:血流限制性训练、加压训练、阻力训练)AND(主题词:膝关节伤病、膝关节骨关节炎、膝关节交叉韧带术后重建、膝关节镜术后、全膝关节置换术、髌骨疼痛综合征)。②外文数据库:(主题词:blood flow restriction training OR vascular occlusion training

OR KASSTU) AND (主题词:knee diseases OR knee osteoarthritis OR knee cruciate ligament reconstruction OR knee arthroscopy OR Knee replacement OR patellar pain syndrome)。

1.1.2 研究选择、资料提取及资料条目:①研究选择:由1人独立在每个数据库筛选。根据检索式收集文献类型为随机对照试验,将其导入Endnote X9.1;②删除重复文献;③由2人根据题目和摘要剔除无关文献;④阅读全文,确定纳入文献;⑤数据提取:由2人独立提取;⑥资料条目:包括研究者、发表年限、研究对象的数目、试验分组、试验方案、结局指标,制作相应表格,不一致问题进行商议决定。

1.2 方法

1.2.1 纳入标准:遵循PICOS原则,①P(population,研究对象)=膝关节伤病者(韧带术后重建、膝骨关节炎、髌骨疼痛综合征等);②I(intervention,干预措施)=血流限制性阻力训练(血流限制+低负荷阻力训练);③C(compare,比较)=常规阻力训练(高负荷、低负荷或无干预对照组);④O(outcome,结果)=股四头肌肌肉力量、大腿围度、股四头肌横截面积、疼痛等至少一个测量结果;⑤S(study,试验设计):随机对照试验。

1.2.2 排除标准:①非随机对照研究;②系统综述或meta分析;③病例报告;④动物实验;⑤重复文献。

1.2.3 文献质量评估:采用改良后的Jadad量表对纳入文献进行质量评分,4—7分为高质量文献,1—3分为低质量文献。使用Cochrane评估工具,反映其研究结果风险偏倚。由2名研究人员独立进行质量评估,不一致结果进行商讨,如出现争议,由第三名研究人员参与,最终达成一致。

1.3 统计学分析

采用RevMan 5.4软件进行数据分析,比较血流限制性阻力训练干预前后的疗效,结局指标均为连续性变量,应用随机效应模型进行分析,数据以平均数±标准差进行收集。假设研究之间存在异质性,0—30%为低异质性、30%—60%为中异质性、60%—100%为高异质性。当异质性较高时,根据PICO原则进行亚组分析,判断其是否为临床异质性;或者

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2023.04.013

1 首都体育学院,北京市,100191; 2 首都医科大学康复医学院; 3 中国康复研究中心北京博爱医院; 4 通讯作者
第一作者简介:赵红波,女,硕士研究生; 收稿日期:2022-10-24

敏感性分析,每次剔除1篇纳入文献,观察合并后的结果是否发生变化。

2 结果

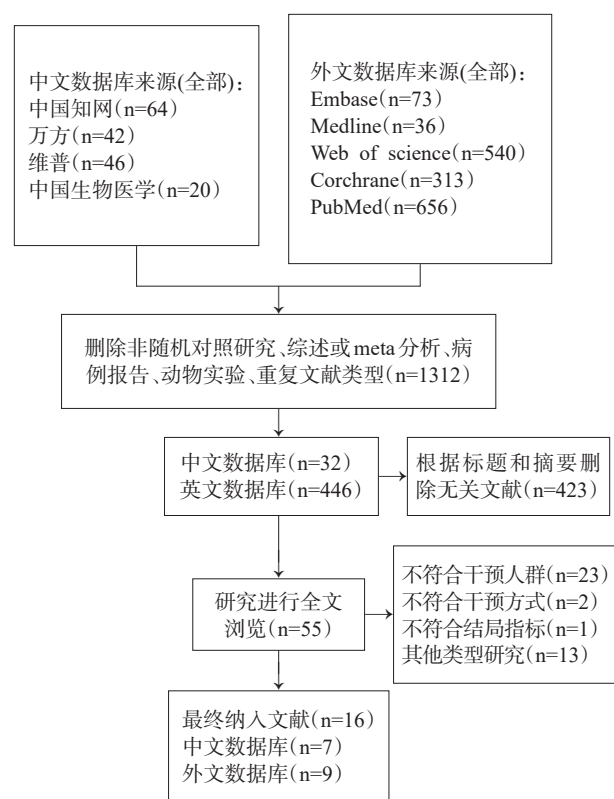
2.1 文献筛选流程图

从数据库检索到相关主题词文献1790项,其中,478项符合随机对照试验,包括血流限制性阻力训练的不同干预方式、不同干预人群、不同结局指标。本研究是血流限制性阻力训练对膝关节伤病的治疗前后对比,筛选55项进行全文浏览,16项文献符合纳入标准(图1)。

2.2 文献基本特征

共纳入16项研究^[12-27],均是随机对照试验,共涉及716例受试者。文献基本特征见表1。9项试验评估肌肉力量,6项试验评估大腿围度,5项试验评估肌肉横截面积,9项研究评估疼痛。

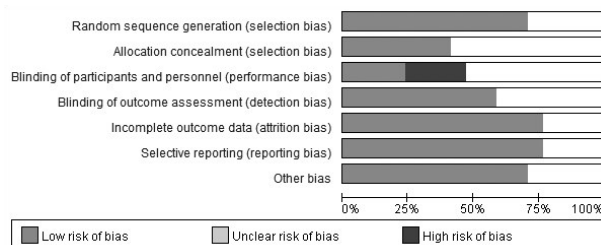
图1 文献筛选流程图



2.3 文献质量评价结果

采用改良Jadad量表评分,1项为低质量文献,15项为高质量文献(表1)。Cochrane系统偏倚风险评估显示总体实施偏倚是高风险,表明受试者和评估者未采用盲法,会造成过度估计研究结果,其余6项条目为低风险(图2)。

图2 文献偏倚评估



2.4 meta分析结果

2.4.1 研究结果数据:根据随机对照试验中血流限制性阻力训练干预前和干预后的数据提取,格式为($\bar{x} \pm s$)。1项低质量文献数据未被纳入分析^[26]。主要结局指标为股四头肌肌肉力量,次要结局指标为大腿围度、股四头肌横截面积和疼痛,相关数据见表2。

2.4.2 血流限制性阻力训练干预前后股四头肌肌肉力量比较:共纳入8项文献,158例受试者。随机效应模型显示,具有低异质性($I^2=0\%$, $P=0.0008$)。结果显示(SMD: -0.38, 95%CI: -0.60—-0.16),表明BFRT干预后股四头肌肌肉力量极显著升高(图3)。

2.4.3 血流限制性阻力训练干预前后大腿围度比较:共纳入5项文献,109例受试者。随机效应模型显示,具有中度异质性($I^2=48\%$, $P=0.08$)。结果显示(SMD: -0.36, 95%CI: -0.76—0.04),表明BFRT干预前后对大腿围度无显著改变(图4)。

2.4.4 血流限制性阻力训练干预前后股四头肌横截面积比较:共纳入5项文献,120例受试者。随机效应模型显示,具有低异质性($I^2=0$, $P=0.07$)。结果显示(SMD: -0.24, 95%CI: -0.49—0.02),表明BFRT干预前后对股四头肌横截面积无显著改变(图5)。

2.4.5 血流限制性阻力训练干预前后疼痛比较:共纳入9项文献,148例受试者。随机效应模型显示,有低异质性($I^2=90\%$, $P=0.71$)。根据纳入文献基本特征,包含VAS和KOOS 2个量表,亚组分析异质性变低,并且具有显著性差异($P<0.05$),表明BFRT干预后疼痛显著降低(图6)。

3 讨论

本项meta分析表明,血流限制性阻力训练不仅对膝关节伤病的股四头肌肌肉力量具有极显著性影响,还对减轻膝关节疼痛具有一定作用。另一发现是,大腿围度和股四头肌横截面积无显著性意义。从纳入文献看,血流限制性阻力训练对膝关节伤病适用对象范围较广。试验组以血流限制性结合低负荷阻力训练方式进行随机对照研究。运动训练方案较为一致,但个体动脉闭塞压力略有不同。结局指标主要是股四头肌肌肉力量、大腿围度、股四头肌横截面积、膝关节

表1 纳入文献基本特征

研究文献	研究对象	运动方式	BFRT方案	袖带类型、部位及压力	结局指标测量工具	Jadad
Kacin ^[12] , 2021	前交叉韧带术后重建(n=18)	血流限制性+低负荷阻力训练 vs 假血流限制性训练 vs 常规训练组	膝关节屈伸;每天4组,每组最少10次,间歇45s,每周3天,共3周	气动袖带;大腿近端;动脉闭塞压力150mmHg	MRI;等速肌力测试(未具体说明品牌)	4
Curran ^[13] , 2020	前交叉韧带术后重建(n=34)	血流限制性+低负荷阻力训练(20%1RM) vs 常规训练组	膝关节屈伸、腿压;每天4组,每组10次,间歇2min,每周2天,共8周	止血带;大腿近端;标准个体动脉闭塞压力(80%)	超声;Biodex测力仪	5
Hughes ^[14] , 2018	前交叉韧带术后重建(n=28)	血流限制性+低负荷阻力训练(30%1RM) vs 高负荷阻力训练(70%1RM)	腿压;每天10次,每周2天,共8周	止血带;部位:大腿近端;标准个体动脉闭塞压力(80%)	超声;Technogym测力仪;KOOS	4
Ferraz ^[15] , 2018	膝关节骨关节炎(n=48,女性)	血流限制性+低负荷阻力训练 vs 高负荷阻力训练(70%1RM) vs 低负荷阻力训练	膝关节屈伸、腿压;每天4组,“最大次数/15/15/15”次,间歇30s,共12周	气动袖带;大腿近端;标准个体动脉闭塞压力(70%)	CT;VAS;WOMAC	4
Segal ^[16] , 2022	膝关节骨关节炎(n=45)	血流限制性+低负荷阻力训练(30%1RM) vs 低负荷阻力训练(30%1RM)	腿压;每天4组,共75次,“30/15/15/15”次,间歇30s,每周3天,共4周	气动袖带;大腿近端;初始动脉闭塞压力100mmHg,每周增加20mmHg	MRI;Biodex测力仪;KOOS	5
Petersson ^[17] , 2022	膝关节骨关节炎(n=14)	血流限制性+低负荷阻力训练	户外步行;20min,每周4天,共8—10周	气动袖带;大腿近端;标准个体动脉闭塞压力(60%)	KOOS	4
Tennent ^[18] , 2017	膝关节镜术后(n=17)	血流限制性+低负荷阻力训练(30%1RM) vs 常规训练组	膝关节屈伸、腿压、反压;每天4组,共75次,“30/15/15/15”次,间歇30s,每周4天,共3周	止血带;大腿近端;标准个体动脉闭塞压力(80%)	Biodex测力仪;髌骨上缘16cm;KOOS	5
Franz ^[19] , 2022	全膝关节置换术(n=30)	血流限制性+低负荷阻力训练 vs 假血流限制性训练 vs 常规训练组	自行车训练;每天50min,两条腿交替应用血流限制装置,3个循环,每周2次,共6周	气动袖带;大腿近端;标准个体动脉闭塞压力(40%)	KOOS	4
Giles ^[20] , 2017	髌骨疼痛综合征(n=69)	血流限制性+低负荷阻力训练(30%1RM) vs 高负荷阻力训练(70%1RM)	膝关节屈伸、腿压;每天4组,共75次,“30/15/15/15”次,间歇30s,共8周	气动袖带;大腿近端;标准个体动脉闭塞压力(60%)	MRI;NORM测力仪;VAS;HUMAC;Kujala量表	4
李震 ^[21] , 2015	膝关节骨关节炎(n=60)	血流限制性+低负荷阻力训练(30%1RM) vs 低负荷阻力训练(35%—65%1RM)	膝关节屈伸;每天4组,共75次,“30/15/15/15”次,间歇60s,每周3次,共6周	气动袖带;大腿近端;标准个体动脉闭塞压力(60%)	MRI;髌骨上缘10cm;WOMAC	4
刘莉 ^[22] , 2017	膝关节镜术后(n=77)	血流限制性+低负荷阻力训练(30%1RM) vs 假血流限制性训练 vs 常规训练组	膝关节屈伸;每天4组,每组15次,间歇5s,每周3次,共8周	止血带(ATS3000);大腿近端;标准个体动脉闭塞压力(80%)	髌骨上缘6cm	4
苏明莉 ^[23] , 2021	前交叉韧带重建术后(n=60)	血流限制性+低负荷阻力训练(30%1RM) vs 常规训练组	膝关节屈伸;每天4组,共75次,“30/15/15/15”次,间歇60s,每周5次,共6周	止血带;大腿近端;标准个体动脉闭塞压力(80%)	超声;髌骨上缘10cm;VAS;LKSS	5
王子心 ^[24] , 2020	髌股疼痛综合征(n=26)	血流限制性+低负荷阻力训练(30%1RM) vs 高负荷阻力训练(70%1RM)	膝关节屈伸;每天3组,每组15次,间歇30s,每周2次,共6周	止血带(HPLUSCUF公司);大腿近端;标准个体动脉闭塞压力(50%)	VAS;LKSS	4
李奇 ^[25] , 2019	前交叉韧带重建术后(n=36)	血流限制性+低负荷阻力训练(30%1RM) vs 常规训练组	膝关节屈伸;每天4组,共75次,“30/15/15/15”次,间歇60s,每周3次,共6周	气动袖带;大腿近端;标准个体动脉闭塞压力未说明	MRI;等速肌力测试仪(未具体说明品牌);髌骨上缘16cm	4
田秀玲 ^[26] , 2021	全膝关节置换术后(n=100)	血流限制性+低负荷阻力训练(30%1RM) vs 常规训练组	膝关节屈伸;每天4组,每组15次,间歇30s,每周2次,共12周	止血带;大腿近端;标准个体动脉闭塞压力(80%)	MRI;E-GST系列肌力测试仪;髌骨上缘6cm;Barthel指数	3
李新通 ^[27] , 2020	髌股疼痛综合征(n=54)	血流限制性+低负荷阻力训练(30%1RM) vs 高负荷阻力训练(70%1RM)	膝关节屈伸;每天4组,共75次,“30/15/15/15”次,间歇30s,共8周	止血带;大腿近端;标准个体动脉闭塞压力(60%)	超声;Isomed 2000肌力测试系统;VAS;Kujala量表	4

注:①MRI(magnetic resonance imaging):磁共振成像;②CT(computed tomography):电子计算机断层扫描;③KOOS(knee injury and osteoarthritis outcome score):膝关节损伤和骨关节炎评分;④WOMAC(western Ontario and McMaster university osteoarthritis index):骨关节炎指数;⑤VAS(visual analogue scale):视觉模拟评分法;⑥LKSS:膝关节 Lysholm and Kujala 功能量表;⑦Barthel 指数(Barthel index):日常生活能力评分。

表2 纳入文献各项结局指标的得分

($\bar{x} \pm s$)

文献	例数	股四头肌肌肉力量(N·m/kg)		大腿围度(cm)		股四头肌横截面积(cm ²)		疼痛(分)	
		干预前	干预后	干预前	干预后	干预前	干预后	干预前	干预后
Kacin ^[12]	12	1.4±0.13	1.5±0.2	—	—	—	—	—	—
Curran ^[13]	9	1.94±1.28	1.14±3.86	—	—	—	—	13.81±11.43	28.23±7.64
Hughes ^[14]	14	—	—	—	—	—	—	30.25±9.29	39.75±11.74
Ferraz ^[15]	16	—	—	—	—	—	—	6.9±3.3	4±2.9
Segal ^[16]	20	2.3±0.6	2.37±0.63	—	—	—	—	80.5±16.9	85.5±19.7
Petersson ^[17]	9	—	—	—	—	—	—	72±15	77±20
Tennent ^[18]	10	1.21±0.16	1.25±0.17	54.5±0.75	57.5±3	—	—	52.8±10.8	75.0±13.2
Franz ^[19]	10	—	—	57±5.2	56.4±4	—	—	52.8±4.1	57.6±3.4
Giles ^[20]	35	1.31±0.62	1.66±0.59	—	—	7.9±1.3	8±1.1	55.7±13.9	27.4±20.1
李震 ^[21]	25	—	—	46.17±3.56	48.15±3.54	52.5±3.11	53.9±3.2	—	—
刘莉 ^[22]	38	2.08±0.82	2.64±0.85	40.53±3.57	42±3.57	—	—	—	—
苏明莉 ^[23]	26	—	—	43.33±0.69	43.07±3.57	2.05±0.53	2.06±0.52	—	—
王子心 ^[24]	13	—	—	—	—	—	—	2.85±0.99	1.46±0.88
李奇 ^[25]	25	—	—	—	—	57.9±3.32	58.6±3.44	—	—
李新通 ^[27]	16	1.6±0.58	1.83±2.01	—	—	2.13±0.36	2.39±0.36	5.98±1.1	3.06±1.55

注:—:无。

功能、疼痛5个方面。所以,本研究探讨血流限制性阻力训练干预前后对比,优点是得出的结果更具可靠性和准确性。虽然每项研究的结局指标测量工具有一些差异,但是meta分析可以进行亚组分析,探讨异质性来源。缺点是检索文献来源为全部类型,但获取到的相关研究数量仍然很少。一般每项研究的结局指标分为主要结局指标和次要结局指标(1—3个),纳入meta亚组分析每项结局指标的文献数量更少。从结果分析看出,股四头肌肌肉力量、大腿围度和肌肉横截面积的3个结局指标异质性较低。因为基本测量工具较为相似,所以随机效应模型得出的结果具有稳定性和真实性。但是,疼痛评分直接合并结果显示效应量存在较大异质性,于是首先考虑临床异质性的特点,根据PICO原则,发现VAS和KOOS疼痛评定量表内容不一样,进行亚组分析得出具有显著性意义。低到中负荷训练会影响中枢和外周神经疼痛机制,可以缓解肌肉骨骼损伤周围疼痛的感觉。这种观点与该项研究疼痛的结果得分产生同一性,但需要进一步证明血流限制性阻力训练降低疼痛相比单纯低负荷训练是否更有效。高负荷阻力训练会出现加重病情的机率,为保持肌肉力量的最佳效果,血流限制性阻力训练是一种不错的选择方式,这是本研究的主要意义所在。分析8项研究证明,BFRT对股四头肌肌肉力量有极显著增高。从临床角度看,血流限制性阻力训练

更适用于膝关节伤病患者,能早期介入康复治疗,维持肌肉力量和缓解疼痛,可以避免高强度阻力训练造成额外的损伤。

相关综述表明,血流限制性阻力训练对膝骨关节炎、前交叉韧带术后的肌肉力量效果更明显,与本研究结果较为一

图3 血流限制性阻力训练干预前后股四头肌肌肉力量比较

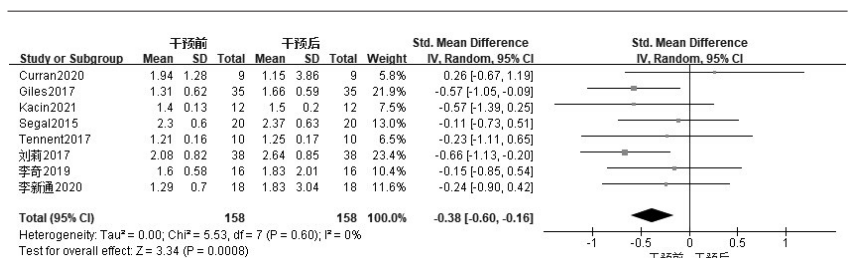


图4 血流限制性阻力训练干预前后大腿围度比较

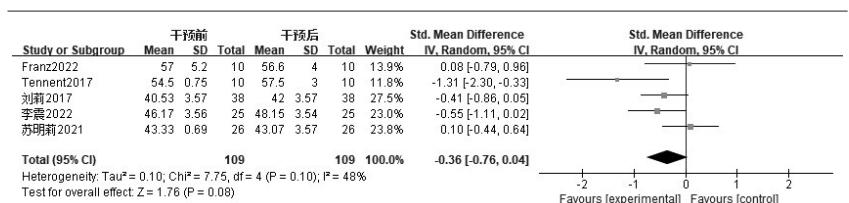


图5 血流限制性阻力训练干预前后股四头肌横截面积比较

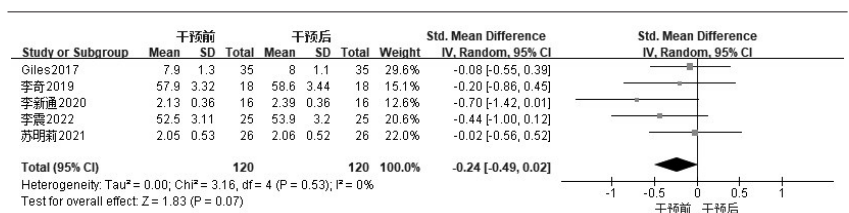
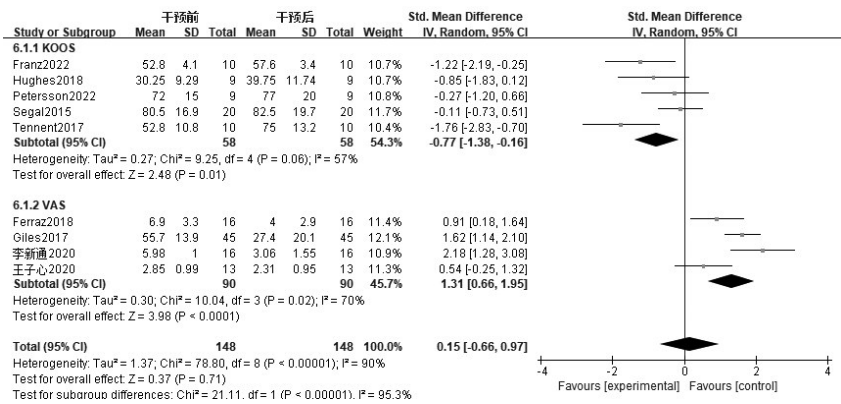


图6 血流限制性阻力训练干预前后疼痛比较



致^[28-29]。但是,Nitzsche N等^[30]研究表明,血流限制性阻力训练对肌肉力量和疼痛评分均无显著性差异。这说明血流限制性阻力训练的临床疗效还具有争议性,本研究为血流限制性训练的康复效果提供有效依据。另外,本研究未与对照组进行对比,无法证实血流限制性阻力训练与常规训练组或高强度阻力训练组是否具有显著性意义。Slysz J等^[31]进行meta分析,纳入47项研究表明,血流限制性阻力训练与高负荷阻力训练组对股四头肌肌肉力量产生的效果相似。这一研究结果与本研究肌肉力量结果具有一致性,间接表明血流限制性阻力训练是可以替代高负荷阻力训练的一种方法。近几年,血流限制性阻力训练作为一种新型临床治疗方式,非常受欢迎。搜集文献发现,临床随机对照研究较少,以至于结论一直具有争议性。目前,临床常见于肌肉骨骼康复,多见于下肢。于是本文选取研究对象范围是膝关节伤病,包含前交叉韧带术后、膝关节置换、膝骨关节炎、髌骨疼痛综合征等。临床表现主要特点是膝关节周围肌肉力量减弱和关节疼痛,因此,本研究结局指标包括膝关节功能和疼痛2个大方面。血流限制性的应用不单是增强膝关节伤病的肌肉力量和缓解疼痛,对全身生理功能等方面都具有积极作用^[32-34]。

本项研究局限性较多。一是文献数量,查阅相关综述发现,每项研究纳入文献为3—5项,出版物来源条件不限;二是受试对象,不同膝关节伤病之间存在差异性,同一种干预方式产生的显著性意义可能也不同;三是干预方案,每项研究的动脉闭塞压力不统一,对研究结果可能有影响^[35-36];四是结局指标,阅读相关文献全文,膝关节功能评估是临床重要指标之一,本研究没有纳入分析,因为每项研究应用的量表均不同;五是本研究只对试验组训练前后的疗效比较,由于研究对照组有巨大差异,常规训练不单纯是阻力训练,还有其他类型的非运动干预,例如平衡与协调训练、理疗训练、有氧运动等,导致不可控制因素很多;六是干预时间不同,不

同伤病受试者训练的运动处方还不清楚,临床一般建议8—12周,甚至更长,该研究未考虑时间问题,有待进一步研究。其次,该研究结局指标证实,血流限制性阻力训练对大腿围度和股四头肌横截面积无显著性意义,但 P 值比较接近0.05,纳入文献仅有5项,后续还需大量随机对照研究证明。最后,本研究未充分探究异质性的原因,需要更复杂的meta分析方法进行报告,本项研究结果还需高质量研究进行进一步验证。

4 结论

本项meta分析表明,血流限制性阻力训练可以显著改善膝关节伤病患者的股四头肌力量,减轻疼痛,对这些患者不失为一种增强肌肉功能和改善症状的有效运动康复方法选择。但研究提示其在促进肌肉肥大方面没有发挥显著作用,需要进一步高质量研究探讨BFRT训练方案的有效性。

参考文献

[1] Whiteley R. Blood flow restriction training in rehabilitation: a useful adjunct or Lucy's latest trick?[J]. J Orthop Sports Phys Ther,2019,49(5):294—298.

[2] Weatherholt AM, Vanwyke WR, Lohmann J, et al. The effect of cuff width for determining limb occlusion pressure: a comparison of blood flow restriction devices[J]. Int J Exerc Sci,2019,12(3):136—143.

[3] Bjørnsen T, Wernbom M, Paulsen G, et al. Frequent blood flow restricted training not to failure and to failure induces similar gains in myonuclei and muscle mass[J]. Scand J Med Sci Sports,2021,31(7):1420—1439.

[4] Bordessa JM, Hearn MC, Reinfeldt AE, et al. Comparison of blood flow restriction devices and their effect on quadriceps muscle activation[J]. Phys Ther Sport,2021(49):90—97.

[5] Labata-Lezaun N, Llorca-Almazar L, González-Rueda V, et al. Effectiveness of blood flow restriction training on muscle strength and physical performance in older adults: a systematic review and meta-analysis[J]. Arch Phys Med Rehabil,2022,103(9):1848—1857.

[6] Vechin FC, Libardi CA, Conceição MS, et al. Low-intensity resistance training with partial blood flow restriction and high-intensity resistance training induce similar changes in skeletal muscle transcriptome in elderly humans[J]. Appl Physiol Nutr metab,2019,44(2):216—220.

[7] Hayhurst D, Coppack RJ, Ingram C, et al. Integrating blood flow restriction with low-load resistance exercise in a UK specialist military primary care rehabilitation facility[J]. BMJ Mil Health,2022,168(4):329—330.

[8] Dos Santos LP, Santo RCDE, Ramis TR, et al. The ef-

- fects of resistance training with blood flow restriction on muscle strength, muscle hypertrophy and functionality in patients with osteoarthritis and rheumatoid arthritis: a systematic review with meta-analysis[J]. PLoS One, 2021, 16 (11): e0259574.
- [9] Hughes L, Paton B, Rosenblatt B, et al. Blood flow restriction training in clinical musculoskeletal rehabilitation: a systematic review and meta-analysis[J]. Br J Sports Med, 2017, 51(13): 1003—1011.
- [10] Gavanda S, Isenmann E, Schlöder Y, et al. 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[J]. PLoS One, 2020, 15(6): e0235377.
- [11] Shimizu R, Hotta K, Yamamoto S, et al. Low-intensity resistance training with blood flow restriction improves vascular endothelial function and peripheral blood circulation in healthy elderly people[J]. Eur J Appl Physiol, 2016, 116(4): 749—757.
- [12] Kacin A, Drobnič M, Marš T, et al. Functional and molecular adaptations of quadriceps and hamstring muscles to blood flow restricted training in patients with ACL rupture[J]. Scand J Med Sci Sports, 2021, 31(8): 1636—1646.
- [13] 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[J]. Am J Sports Med, 2020, 48(4): 825—837.
- [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[J]. Sports Med, 2019, 49(11): 1787—1805.
- [15] Ferraz RB, Gualano B, Rodrigues R, et al. Benefits of resistance training with blood flow restriction in knee osteoarthritis[J]. Med Sci Sports Exerc, 2018, 50(5): 897—905.
- [16] 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[J]. PM R, and Rehabilitation, 2015, 7(4): 376—384.
- [17] Petersson N, Langgård Jørgensen S, Kjeldsen T, et al. Blood flow restricted walking in elderly individuals with knee osteoarthritis: a feasibility study[J]. J Rehabil Med, 2022(54): jrm00282.
- [18] Tennent DJ, Hylden CM, Johnson AE, et al. Blood flow restriction training after knee arthroscopy: a randomized controlled pilot study[J]. Clin J Sport Med, 2017, 27(3): 245—252.
- [19] Franz A, Ji S, Bittersohl B, et al. Impact of a six-week prehabilitation with blood-flow restriction training on pre- and postoperative skeletal muscle mass and strength in patients receiving primary total knee arthroplasty[J]. Front Physiol, 2022(13): 881484.
- [20] Giles L, Webster KE, McClelland J, et al. Quadriceps strengthening with and without blood flow restriction in the treatment of patellofemoral pain: a double-blind randomised trial[J]. Br J Sports Med, 2017, 51(23): 1688—1694.
- [21] 李震. 血流限制性运动对膝关节骨性关节炎患者的康复疗效观察[D]. 天津: 天津体育学院, 2022.
- [22] 刘莉, 李静, 赵冬梅, 等. 血流限制训练在膝关节镜术后患者康复训练中的应用[J]. 护理学杂志, 2017, 32(24): 82—84.
- [23] 苏明莉. 血流限制训练对前交叉韧带重建术后患者早期股四头肌萎缩的影响研究[D]. 陕西: 西安体育学院, 2021.
- [24] 王子心. 血流限制训练对髌股疼痛综合征治疗效果的临床研究[D]. 四川: 成都体育学院, 2020.
- [25] 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.
- [26] 田秀玲, 孙宇石, 徐涛, 等. 加压训练与低负荷阻力训练在全膝关节置换术后康复中的应用效果观察[J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2021, 36(12): 1312—1314.
- [27] 李新通. 低强度抗阻训练复合血流限制对大学生运动员髌股关节疼痛影响的实验研究[D]. 陕西: 西安体育学院, 2020.
- [28] Ferlito JV, Pecce SAP, Oselame L, et al. The blood flow restriction training effect in knee osteoarthritis people: a systematic review and meta-analysis[J]. Clin Rehabil, 2020, 34(11): 1378—1390.
- [29] Charles D, White R, Reyes C, et al. A systematic review of the effects of blood flow restriction training on quadriceps muscle atrophy and circumference post ACL reconstruction[J]. Int J Sports Phys Ther, 2020, 15(6): 882—891.
- [30] Nitzsche N, Stäuber A, Tiede S, et al. The effectiveness of blood-flow restricted resistance training in the musculoskeletal rehabilitation of patients with lower limb disorders: a systematic review and meta-analysis[J]. Clin Rehabil, 2021, 35(9): 1221—1234.
- [31] Slys J, Stultz J, Burr JF. The efficacy of blood flow restricted exercise: a systematic review & meta-analysis[J]. J Sci Med Sport, 2016, 19(8): 669—675.
- [32] Miller BC, Tirko AW, Shipe JM, et al. The systemic effects of blood flow restriction training: a systematic review[J]. Int J Sports Phys Ther, 2021, 16(4): 978—990.
- [33] Brandner CR, Kidgell DJ, Warmington SA. Unilateral bicep curl hemodynamics: low-pressure continuous vs high-pressure intermittent blood flow restriction[J]. Scand J Med Sci Sports, 2015, 25(6): 770—777.
- [34] Ampomah K, Amano S, Wages NP, et al. Blood flow-restricted exercise does not induce a cross-transfer of effect: a randomized controlled trial[J]. Med Sci Sports Exerc, 2019, 51(9): 1817—1827.
- [35] Minniti MC, Statkevich AP, Kelly RL, et al. The safety of blood flow restriction training as a therapeutic intervention for patients with musculoskeletal disorders: a systematic review[J]. Am J Sports Med, 2020, 48(7): 1773—1785.
- [36] Clarkson MJ, May AK, Warmington SA. Is there rationale for the cuff pressures prescribed for blood flow restriction exercise? a systematic review[J]. Scand J Med Sci Sports, 2020, 30(8): 1318—1336.