

DOI:10.13718/j.cnki.xsxb.2018.06.027

跑步搭配下肢加压 对网球运动员运动表现的影响研究^①

颜于力^{1,2}, 郭立亚^{1,2}

1. 西南大学体育学院, 重庆 400715; 2. 国家体育总局体质评价与运动机能监控重点实验室, 重庆 400715

摘要: 探讨以跑步搭配下肢加压的方式进行热身(running exercise combined with KAATSU training, RE-KT)对网球运动员运动表现和生理反应的影响. 招募 20 名大学生男性网球运动员, 采用平衡次序分配至两种实验干预, 1) 跑步(50%最大心率, 进行 5 组, 每组 120 s, 组间休息 1 min)搭配下肢加压(加压部位为股四头肌、腓肠肌群, 加压压强为 150 mmHg)进行热身(RE-KT); 2) 单纯跑步热身活动(running exercise, RE). 结果表明, 在心率与运动自觉量表值方面, 受试者接受 RE-KT 实验干预后指标显著高于 RE 干预后指标($p < 0.05$); 在血乳酸、睾酮、生长激素浓度方面, 受试者接受 RE-KT 实验干预后指标显著高于 RE 干预后指标($p < 0.05$); 在爆发力和最大力矩方面, 受试者接受 RE-KT 实验干预后指标显著高于 RE 干预后指标($p < 0.05$). 但在肌耐力方面, 受试者接受 RE-KT 实验干预后指标与接受 RE 干预后指标差异无统计学意义($p > 0.05$). 得出利用跑步搭配下肢加压的方式对网球运动员进行热身能够诱发心率上升、RPE 值增加、血乳酸、睾酮、生长激素浓度累积等生理效应, 并且能够促进下肢爆发力和最大力矩的表现, 但对肌耐力的运动表现没有显著改善作用.

关键词: 加压; 网球; 乳酸; 运动表现; 血流限制

中图分类号: G845

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2018)06-0167-09

加压训练(KAATSU training)是指利用加压限制或短时间阻断静脉血流量, 使加压部分的静脉血量暂时下降, 出现静脉池效应, 以较小的练习强度刺激肌肉生长、改善肌肉功能的新兴训练方法^[1-2]. 美国国家体能协会(National Strength and Conditioning Association)对提升肌力或肌肥大给出的指导意见是进行 80% 1 RM 以上负荷的抗阻训练^[3]. 但研究发现在对相应肌群进行 1.3~1.5 倍收缩压压强加压在 55%~60% 1 RM 负荷下进行抗阻训练能够取得的训练效益与非加压 80% 1 RM 抗阻训练一致, 而 80% 1 RM 负荷的抗阻训练中发生运动损伤的风险是 60% 1 RM 负荷的抗阻训练的 470%. 所以加压训练对于规避运动员训练风险方面有巨大意义. 目前加压训练已为许多高水平运动员所采用, 主要用于肌力的提升, 采取的主要方式为加压与中等负荷抗阻训练搭配. Clark 等在实验中将加压与慢跑相结合, 发现运动后骨骼肌的磷酸肌酸、血液 pH 值均出现显著下降, 其变化程度与高强度运动后的变化量没有显著差别, 但其运动后发炎指标却显著低于高强度运动^[4]. Yasuda 等认为加压与跑步结合诱发的血乳酸堆积、静脉血二氧化碳氧分压提升、肌肉组织氧饱和度和血液 pH 值下降等代谢压力, 有助于输入神经元 III 与 IV 去敏感化, 提升

① 收稿日期: 2018-03-19

基金项目: 中央高校基金创新团队项目(2120122596); 重庆市体育科研项目重点实验室课题(B201619).

作者简介: 颜于力(1994-), 男, 硕士研究生, 主要从事网球运动训练与教学的研究.

通信作者: 郭立亚, 教授, 博士研究生导师.

神经驱力与运动单位招募,进而促进肌肉活化、减少疲劳知觉,提升运动表现^[5]. James 等研究表明,加压与跑步结合的运动方式可显著提升运动员股四头肌和腓肠肌群的活化程度^[6]. Wilson 等研究发现加压与跑步结合的运动方式能够快速提升心率,有助于动脉血管内皮细胞释放一氧化氮,诱发血管舒张,提升氧气的运输^[7]. 综上研究发现加压与跑步结合的运动方式所达到的效果与运动员热身所需要达到的生理目标高度一致. 目前将跑步搭配下肢加压的方式用于热身的研究尚不多见. 跑步热身结合加压是否能够有加乘的效果,提升人体生理反应,诱发肌肉活化与血管舒张,进而促进随后的下肢爆发力与肌耐力表现,目前也不清楚. 本研究旨在探讨将跑步搭配下肢加压作为热身方式对运动员心率、RPE 值、血乳酸反应、下蹲跳与肌耐力表现的影响,为教练员更为有效和合理利用加压训练提供科学的参考.

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

本研究从西南大学体育学院招募 20 名网球运动员作为本研究受试者,受试者基本信息见表 1,在实验前告知所有受试者研究目的,实验可能存在的意外与风险,并要求所有受试者填写知情同意书,并对所有受试者购买运动意外保险.

表 1 受试者基本状况

项 目	数 值
人数/个	20
性别	男
年龄/年	20.3±2.3
身高/cm	178.3±4.8
体质量/kg	70.9±3.5
训练年限/年	6.82±2.56

1.1.1 必要标准

受试者需符合以下所有标准才可纳入本次实验:1)运动等级需为国家二级运动员及以上;2)训练年限大于 5 年;3)每周运动时间大于 8 h;4)6 个月内无严重运动系统伤害.

1.1.2 排除标准

受试者符合以下任一条件予以排除出实验:1)患有心脏病(包括窦性心律不齐);2)患有高血压(包括青春期高血压);3)患有慢性代谢性疾病(如糖尿病);4)肝、肾器官疾病.

1.2 研究方法

1.2.1 实验设计

本研究采用交叉实验干预,所有受试者均要进行加压跑步干预(running exercise combined with KAATSU training, RE-KT)和单纯跑步干预(running exercise, RE),每种干预各 2 次,其中 1 次干预后进行爆发力测试、1 次干预后进行肌耐力测试,所有受试者共 4 次实验干预,为方便实验安排,每 5 人为 1 组,共分为 4 组,每组进行不同干预或测试,具体实验安排如表 2. 每次实验两组进行加压跑步干预、两组进行单纯跑步干预,每次实验干预前后均对受试者心率、生长激素、血睾酮、运动自觉量表值以及血乳酸浓度进行检测,在实验干预结束后进行 5min 恢复,接着按照实验方案进行爆发力或肌耐力测试. 每次实验干预后仅评估一项运动表现,旨在避免爆发力测验后,影响后续肌耐力表现. 每次实验时间均在 8:00—12:00 完成,所有实验皆安排于同一时段,每次实验干预与下次实验干预时间间隔 1 周(即实验效果清除期为 1 周).

表2 实验干预、运动表现测试方案

时间	组别	加压情况	运动表现测试
第1周	1	有加压	爆发力
第1周	2	有加压	耐力
第1周	3	无加压	爆发力
第1周	4	无加压	耐力
第2周	1	有加压	耐力
第2周	2	有加压	爆发力
第2周	3	无加压	耐力
第2周	4	无加压	爆发力
第3周	1	无加压	爆发力
第3周	2	无加压	耐力
第3周	3	有加压	爆发力
第3周	4	有加压	耐力
第4周	1	无加压	耐力
第4周	2	无加压	爆发力
第4周	3	有加压	耐力
第4周	4	有加压	爆发力

1.2.2 实验流程

第1步:实验前1晚20:00后保持禁食,可适当饮水,运动干预第1d,所有受试者保持隔夜禁食状态;第2步:由专业护士在受试者手臂静脉埋留置针并采集安静状态下血液7 mL进行RPE测试且全程佩戴心率表;第3步:受试者在实验组织者指导下按照实验方案进行实验干预;第4步:实验干预结束马上进行RPE测试;第5步:运动结束后5 min进行RPE测试并按照测试方案进行爆发力或肌耐力测试;第6步:利用留置针采集运动后即刻,15 min,30 min和60 min的血液,如图1。



图1 实验流程图

1.2.3 运动方案

1) 跑步热身方案

本研究参照 Loenneke 等的实验方案^[8]制定跑步热身方案,跑步运动强度设定为50% HRR,组织形式为2 min 间歇跑步,组间休息1 min,共5次.所有受试者跑步运动均在意大利产 RUNNER7410 跑台上完成。

2) 加压方案

本研究采用日本产 KAATSU 专业版加压训练仪进行血流限制,加压强度为150 mm Hg,加压部位为受试者股四头肌和腓肠肌.所有受试者于跑步运动结合加压期间全程进行大腿加压,每次加压实验皆为同一研究人员执行,施测者内信度(intra-class correlation coefficient, ICC)为0.84。

1.2.4 指标检测

1) 生理检测指标

本研究利用芬兰产 V800 心率表和运动自觉量表(RPE)记录受试者心率与运动自觉努力程度,以评估其人体生理反应.记录时间点为运动前、运动后与恢复后。

2) 爆发力评价指标

本研究参照 Yasuda 等的研究^[9]采用原地摆臂垂直跳(counter movement jump, CMJ)和跨步摆臂垂直跳(strides jump, SJ)作为爆发力评价指标。

原地摆臂垂直跳:受试者双脚与肩同宽站立在跳垫上,当仪器绿色灯号发亮代表测验开始,受试者双膝弯曲配合双臂向上摆动的同时,用力向上跳跃,腾空时尽量使身体呈一直线,落地时双脚膝盖微弯以缓冲落地造成的压力,进行 3 次测验,记录腾空时间和跳跃距离,选择最好成绩记录。

跨步摆臂垂直跳:受试者站立于测试垫外准备,当光栅系统绿色灯号亮起,单脚向前跨出一步且双脚同时落于测试垫内,接着膝关节弯曲,配合双臂带动身体向上跳跃,滞空时双腿必须伸直,且身体呈一直线,落地时双脚微弯以减少地面造成的反作用力。进行 3 次测试,记录腾空时间和跳跃距离,选择最好成绩记录。

3) 生化检测指标

抽取的血液于血清真空采血管(7 mL)中,静放 30 min 后,使用高速离心机(4 000 r/min, 1 500 g)离心干预 20 min,使用微量吸管吸取上层血清液装至 Microtube 中,再放入零下 80 °C 的冰箱冷冻保存。GH, 血睾酮浓度利用美国产 Tri-Carb 2810TR 液光闪烁计数器进行放射免疫分析,血乳酸的浓度利用美国产 VITROS 5-1 全自动生化分析仪进行分析。

4) 肌耐力检测指标

本研究参考 Yasuda 等^[9]的研究方案,利用德国产 IOSMED-2000 型等速肌力测量仪对受试者惯用脚股四头肌与腓肠肌的肌耐力表现进行评估。对受试者惯用腿肌耐力表现评估时,测验期间受试者采用坐姿,膝关节活动范围为 0~90°(膝关节完全伸展设定为 0),搭配每秒 180°角速度,进行单脚连续 50 次膝伸展、膝屈曲肌耐力测验。测量期间皆给予受试者视觉与口语化的鼓励,并记录 50 次反复肌肉向心收缩最大力矩、下肢肌力平衡、总做功与疲劳指标值。疲劳指标计算公式为

$$100\% - [\text{最后 10 次膝伸肌(膝屈肌)总做功} \div \text{最先 10 次膝伸肌(膝屈肌)总做功}] \times 100\%$$

1.3 数理统计分析

本研究利用 spss21.0 统计软件进行分析,利用描述性分析、独立样本 *T* 检验、单因素方差分析对受试者腿部肌力,原地摆臂垂直跳,跨步摆臂垂直跳,血乳酸, GH, 血睾酮等指标进行分析,本研究所有指标用平均值±标准差的形式表达,显著水平 $\alpha=0.05$ 。

2 结 果

2.1 生理反应结果

2.1.1 心率和 RPE 值反应效果

表 3 显示:1)在心率方面,运动前 RE-KT 干预与 RE 干预差异无统计学意义($p>0.05$),运动后,RE-KT 干预显著高于 RE 干预($p<0.05$)。恢复后时间点,RE-KT 干预显著高于 RE 干预($p<0.05$);2)在 RPE 值方面,运动前 RE-KT 干预与 RE 干预差异无统计学意义($p>0.05$),运动后,RE-KT 干预显著高于 RE 干预($p<0.05$)。恢复后时间点,RE-KT 干预显著高于 RE 干预($p<0.05$)。

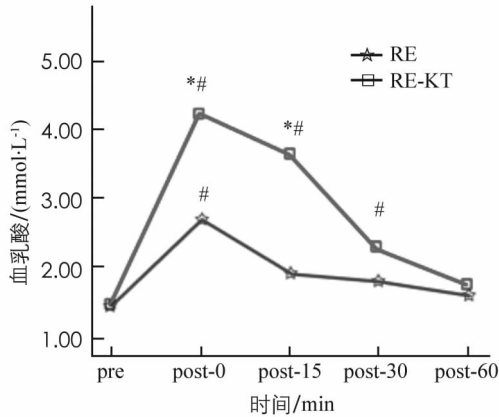
表 3 心率、RPE 测试结果

项目	实验干预	运动前(Pre)	运动后即刻(post-0)	运动后 15min(post-15)
心率	RE-KT	64.32±4.12	165.35±7.45* ^a	93.21±9.56* ^{ab}
	RE	65.21±3.56	133.24±8.31 ^a	79.50±6.45 ^{ab}
RPE	RE-KT	7.45±1.33	15.83±0.91* ^a	10.51±1.65 ^{ab}
	RE	7.34±1.45	10.78±1.32 ^a	8.31±1.78 ^{ab}

注: * 表示与 RE 干预比较差异有统计学意义($p<0.05$); a 表示与 Pre 比较差异有统计学意义($p<0.05$); b 表示与 post-0 比较差异有统计学意义($p<0.05$)。

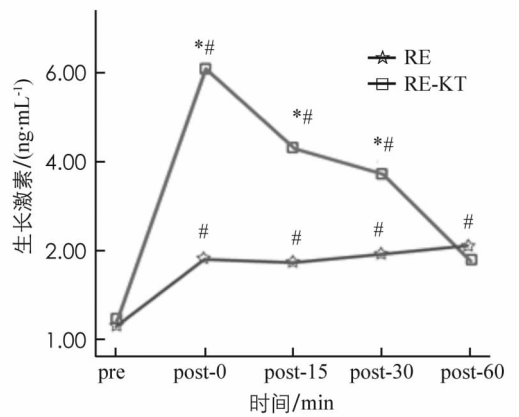
2.1.2 血乳酸、生长激素、睾酮反应结果

图 2—图 4 显示: 1)在血乳酸浓度方面: post-0,post-15,post-30 时, RE-KT 干预后的血乳酸指标高于运动前, 在 post-0 时, RE 干预后血乳酸高于运动前($p < 0.05$); 在 post-0 与 post-15 时, RE-KT 与 RE 差异有统计学意义($p < 0.05$). 2)在生长激素 GH 浓度方面, RE-KT 和 RE 两种干预模式在运动后即刻(Post-0), 运动后 15 min(Post-0), 运动后 30 min(Post-30)均显著高于前测($p < 0.05$), RE-KT 干预后 Post-0,Post-15,Post-30 的 GH 浓度显著高于 RE 干预($p < 0.05$). 3)在睾酮浓度方面, RE-KT 干预后 post-0,post-60 显著高于前测($p < 0.05$), 在 Post-0,Post-15,Post-30,post-60 时间点显著高于 RE 干预($p < 0.05$).



* 表示与 RE 干预比较差异有统计学意义($p < 0.05$)
表示与运动前比较差异有统计学意义($p < 0.05$)

图 2 不同干预对血乳酸浓度影响变化



* 表示与 RE 干预比较差异有统计学意义($p < 0.05$)
表示与运动前比较差异有统计学意义($p < 0.05$)

图 3 不同干预对生长激素浓度影响变化

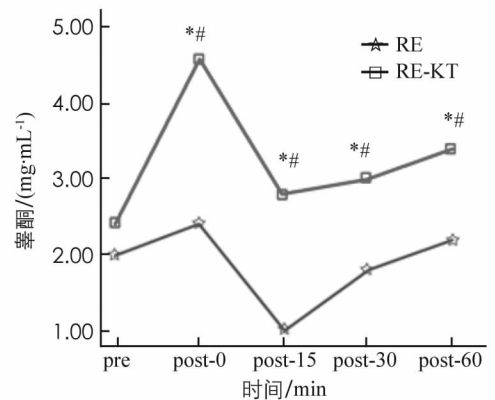
2.2 运动表现结果

2.2.1 爆发力表现结果

表 4 显示: 在代表爆发力表现的原地摆臂垂直跳(CMJ)和跨步摆臂垂直跳(SJ)测试中, CMJ 测试跳跃距离和腾空时间, RE-KT 干预上均显著优于 RE 干预, $p < 0.05$. 在 SJ 测试跳跃距离和腾空时间, RE-KT 干预上均显著优于 RE 干预, $p < 0.05$. 可以认为在爆发力方面 RE-KT 干预优于 RE 干预.

2.2.2 肌耐力表现结果

表 5 显示: 1)最大力矩方面, RE-KT 干预后膝伸肌最大力矩值高于 RE 干预后的最大力矩值, 差异有统计学意义($p < 0.05$); 2)在总做功方面, RE-KT 干预后膝伸肌和膝屈肌的总做功高于 RE 干预后的总做功, 但差异无统计学意义($p > 0.05$); 3)疲劳指标方面, RE-KT 干预后膝伸肌的疲劳指标高于 RE 干预后的疲劳指标, RE-KT 干预后膝屈肌的疲劳指标低于 RE 干预后的疲劳指标, 但差异均无统计学意义($p > 0.05$).



* 表示与 RE 干预比较差异有统计学意义($p < 0.05$)
表示与运动前比较差异有统计学意义($p < 0.05$)

图 4 不同干预对睾酮浓度影响变化

表 4 CMJ 和 SJ 测试结果

	CMJ		SJ	
	跳跃距离/cm	腾空时间/ms	跳跃距离/cm	腾空时间/ms
RE-KT	43.56 ± 3.56 *	589.56 ± 21.45 *	44.89 ± 2.23 *	594.25 ± 17.89 *
RE	40.89 ± 3.02	579.32 ± 17.35	43.48 ± 3.34	582.67 ± 15.92

注: * 表示与 RE 干预比较差异有统计学意义($p < 0.05$).

表 5 最大力矩、总做功、疲劳指标测试结果

干预	最大力矩/Nm		总做功/J		疲劳指标/%	
	膝伸肌	膝屈肌	膝伸肌	膝屈肌	膝伸肌	膝屈肌
RE-KT	161.34±21.21*	109.12±12.12	5 174.21±705.3	4 045.21±651.32	65.19±4.98	57.82±7.32
RE	150.67±18.35	102.21±11.98	5 166.34±682.2	4 021.56±542.56	64.11±7.27	58.32±5.22

注：* 表示与 RE 干预比较差异有统计学意义($p < 0.05$)

3 讨 论

3.1 跑步搭配下肢加压对网球运动员生理反应的影响

大量研究证实运动心率与 RPE 值、血乳酸浓度呈高度相关, Rossow 等研究发现加压搭配抗阻训练后 RPE 值、心率、收缩血压值(SBP)均显著高于单纯抗阻训练^[10]. Abe 等利用跑步搭配加压训练的平均心率比相同速度的单纯跑步训练平均心率高 21.1%, 心率变化速度也更快^[11], 在运动自觉量表方面, 跑步搭配加压训练后的 RPE 值亦显著高于单纯跑步训练, 跑步搭配加压训练后血乳酸浓度为运动前的 5.3 倍. 有研究认为以有氧运动或低强度抗阻运动结合主要运动部位加压, 会导致静脉血液回流减少, 致使心肌前负荷与心搏量降低. 人体通过提升心率与血压等代偿现象, 以维持运动中的能量代谢需求. Kaminsky 等提出人体运动后恢复期, 由于体温与心率提升, 儿茶酚胺浓度与血乳酸等代谢物的累积^[12], 因此氧气的消耗仍持续增加, 简称为运动后过量氧耗(excess postexercise oxygen consumption). 综上所述, 本研究 RE-KT 干预后恢复期, 其心率和 RPE 值显著高于 RE 干预, 是诱发运动后过量耗氧的可能因素. 在血乳酸方面, 先前的研究显示, 低强度抗阻运动结合搭配加压限制血流, 减少动脉血流入动作肌群、诱发组织肌肉的低氧, 引起运动中无氧糖解作用供能, 是运动后血乳酸显著累积的可能因素. 本研究 RE-KT 干预后, 血乳酸浓度显著上升至 4.4 mmol/L. 然而, Loenneke 等研究显示, 健走搭配下肢加压, 在运动后血乳酸浓度仅为 2.0 mmol/L, 未能显著累积代谢压力^[13]. 本实验与 Loenneke 等的研究在干预中主要差异在于运动强度, 本实验运动强度较高. 据此认为, 有氧运动强度不足, 即使对作用肌群进行加压亦无法诱发运动后血乳酸大量累积. 若想通过有氧运动搭配加压引发人体代谢压力累积, 并取代传统高强度有氧运动, 建议运动强度达到适当的强度阈值, 至于最佳的强度范围, 需要进一步研究探讨.

先前研究指出, 以 20%~30% 1 RM 搭配 110~220 mmHg 加压压力方案, 运动至衰竭, 可显著促进 GH 浓度^[14]. Takarada 等进行跑步搭配加压研究中 GH 浓度在训练后 60 min 为安静值的 2.9 倍. 本研究也出现 RE-KT 干预和 RE 干预后血液中 GH 的浓度显著上升的现象, 且 RE-KT 干预显著高于 RE 干预. HKffman 研究认为, 高阻力负荷搭配较低压力运动至力竭, 才能取得较高的 GH 反应^[15]. 本研究证实, 中高强度跑步结合较低压强搭配即使不进行至力竭, 也会显著提升 GH 的释放, RE-KT 能够有效刺激 GH 分泌, 效应可持续至运动后 30 min, 而且显著高于 RE 干预, $p < 0.05$. 高负荷抗阻运动能够刺激 GH 与睾酮浓度上升已经得到广泛认可, 较大负荷、配合较短休息时间是促进睾酮浓度升高的常用手段^[16]. 李春涛也表明, 睾酮分泌提高与血乳酸增加幅度呈现高度线性相关, 乳酸本身可刺激睾丸间质细胞内睾酮的合成, 乳酸可能是刺激合成性激素分泌的信息分子^[17]. 本研究中 RE-KT 干预后睾酮浓度变化与乳酸变化非常相似. 在中高强度有氧运动中, 作用肌必须对抗较高的阻力负荷, 因此必须征召较多的快缩肌纤维参与做功, 在较高比例快缩肌纤维的征召下, 会引发较多的糖解反应以提供快速提高的能量需求, 进而导致较多的乳酸产生, 而这也说明 RE-KT 热身模式, 确实可以引起较高的代谢压力反应, 并符合剂量反应的原则. 这可能与加压导致乳酸堆积有关, 对作用肌加压后, 乳酸难以代谢排出, 造成乳酸堆积假象, 从而刺激更多的睾酮分泌, 导致高负荷加压后血睾酮浓度高于单纯高负荷运动. 加压运动的过程中, 会引起血乳酸、血浆乳酸与肌肉内乳酸及 H^+ 浓度快速增加, 这方面的现象说明了加压运动所引起的体内酸化环境可提高下丘脑 GH 的释放^[13]. 而该机制推测是因体内呈现较低 pH 的环境时, 肌肉组织内的代谢接受器以及

group III 与 IV 传入神经会调节化学接受器的反射而刺激交感神经的活性,此路径也被证实可刺激下丘脑释放 GH.

3.2 跑步搭配下肢加压对网球运动员运动表现的影响

在爆发力方面本研究结果显示,RE-KT 干预后 CMJ, SJ 表现显著优于 RE 干预. 在最大力矩方面,本研究 RE-KT 干预在膝伸肌和膝屈肌等速($180^\circ/\text{s}$)最大力矩值显著高于 RE 干预. Tsiokanos 等研究发现成年男性 CMJ 高度与膝伸肌等速最大力矩表现呈高度正相关^[18]. 由此推测, RE-KT 干预后能够显著促进最大力矩值的表现,因此对 CMJ, SJ 高度有正向效益. James 等研究显示,跑步搭配下肢加压通过血流限制诱发人体产生大量代谢压力,血乳酸累积与静脉血液 pH 值下降,有助于骨骼肌运动单位的招募、刺激肌肉活化,促进力量的产生^[6]. 本研究利用跑步搭配加压,引起血乳酸、睾酮、GH 以及心率提升,有助于膝伸肌与膝屈肌的运动单位招募,进而提升下蹲跳与最大力矩表现. 该研究结果与先前抗阻训练结合加压的研究结果基本一致,但也有部分研究相异. Wilson 等利用 30% 1 RM 腿举结合下肢加压,股外侧肌显著活化、血乳酸浓度显著提升,但垂直跳表现没显著改善^[7]. Cook 等研究显示抗阻运动搭配加压训练后,诱发骨骼肌疲劳,并导致膝伸肌 MVIC 表现显著下降^[19]. 由上述研究认为,加压训练后即使代谢压力与骨骼肌活化增加,皆无法促进随后的下蹲跳、最大力矩与下肢肌力的表现,甚至在肌肉疲劳过高时,对于最大力矩表现产生负面的影响. 笔者认为本研究结果与 Wilson 等研究结果差异的主要原因是训练方式的差异,在采用跑步方式搭配下肢加压的方式能够改善爆发力表现和最大力矩,采用抗阻搭配加压的训练方式,即使负荷较小也难以促进下肢爆发力表现最大力矩. 在 Takarada 等的研究中发现,连续 6 周,每周 1 次的 75% 1 RM 阻力训练与每周 2 次的 30% 1 RM 阻力训练结合血流限制的组合训练,可显著提升仰卧推举与肱三头肌 MVIC 表现,并与每周 3 次的 75% 1 RM 阻力训练比较,差异无统计学意义,更减少了长期高强度阻力训练引起运动伤害的风险^[20]. 至于长期使用跑步运动与跑步热身运动结合血流限制的组合训练,是否能同时改善其爆发力与最大力矩,值得更进一步探讨.

在肌耐力表现方面,先前的研究显示,有氧或抗阻训练搭配加压诱发心率与血流速度增加,提升血管内剪力,有助于血管内皮细胞释放一氧化氮,进而诱发血管舒张,促进血液中的氧气运输至作用肌群,以维持运动表现. 然而,本研究 RE-KT 干预后,在反复 50 次的肌肉向心收缩总做功、疲劳指标方面,与 RE 干预比较,差异无统计学意义. Takarada 等研究显示,疲劳指标的改善与否,跟骨骼肌的酸-碱缓冲能力与氧化能量代谢能力有关^[20]. 相关的研究亦显示,15 min 大腿加压不结合运动的实验干预后,休息 5 min 进行恢复,接着进行心肺耐力测验,其最大摄氧量表现并未显著提升,但自行车踩踏总运动时间、总功率与最大功率皆显著提升,并与无血流限制干预比较,总运动时间增加约 40 s、最大功率增加约 4%,其研究作者推测,血流限制引起神经元 III 与 IV 去敏感化,进而减少疲劳知觉、提升力量输出,是总运动时间与最大功率获得提升的可能因素^[21]. 因此,本研究推测,RE-KT 干预后无法改善最大力矩值与骨骼肌氧化代谢能力,是总做功无法显著改善的可能因素. 由于本研究为反复 50 次、等速膝伸展与膝屈曲肌耐力测验,因此总运动时间固定,无法评估 RE-KT 干预后对总运动时间的影响. Takarada 连续 8 周、每周 2 次,50% 1 RM 膝伸展阻力运动结合大腿加压,可显著提升橄榄球员反复 50 次的膝伸肌等速($180^\circ/\text{s}$)肌耐力表现;其研究作者推测,运动搭配加压诱发组织肌肉的低氧与 pH 值下降,经长期适应的结果,有助于疲劳指标的改善^[21]. 综上所述单次跑步搭配下肢加压的方式进行热身,即使心率、运动自觉量表值与血乳酸增加,能够提升爆发力、最大力矩的表现,但下肢肌耐力并未得到显著改善.

4 结 论

将跑步搭配下肢加压作为热身活动与单纯进行跑步热身运动相比能够更显著提升心率、运动自觉量表值血乳酸浓度、睾酮浓度、生长激素浓度等生理反应,同时能够更好地促进下肢爆发力、膝伸屈肌的最大力矩表现,但对肌耐力与疲劳指标表现影响方面两种热身干预没有显著差别.

参考文献:

- [1] 许 飞, 王 健. 加压力量训练: 释义及应用 [J]. 体育科学, 2013, 33(12): 71—80.
- [2] MANINI T M, VINCENT K, LEEUWENBURGH. Myogenic and Proteolytic mRNA Expression Following Blood Flow Restricted Exercise [J]. *Acta Physiologica*, 2011, 201(2): 255—263.
- [3] REEVES G V, KRAEME R R, HOLLANDER D B, et al. Comparison of Hormone Responses Following Light Resistance Exercise with Partial Vascular Occlusion and Moderately Difficult Resistance Exercise Without Occlusion [J]. *Journal of Applied Physiology*, 2006, 101(6): 1616—1622.
- [4] CLARK B C, MANINI T M, HOFFMAN R L, et al. Relative Safety of 4 Weeks of Blood Flow-Restricted Resistance Exercise in Young, Healthy Adults [J]. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 2010, 21(5): 653—662.
- [5] 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—2533.
- [6] JAMES E G, KARABULUT M. Vascular Restriction Decreases EMG Regularity During Walking [J]. *Human Movement Science*, 2013, 32(3): 389—399.
- [7] WILSON J M, LOWERY R P, JOY J M, et al. Practical Blood Flow Restriction Training Increases Acute Determinants of Hypertrophy Without Increasing Indices of Muscle Damage [J]. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 2013, 27(11): 3068—3075.
- [8] LOENNEKE J P, THIEBAUD R S, FAHS C A, et al. Blood Flow Restriction Does Not Result in Prolonged Decrements in Torque [J]. *European Journal of Applied Physiology*, 2013, 113(4): 923—931.
- [9] YASUDA T, ABE T, BRECHUE W F, et al. Venous Blood Gas and Metabolite Response to Low-Intensity Muscle Contractions with External Limb Compression [J]. *Metabolism: Clinical and Experimental*, 2010, 59(10): 1510—1519.
- [10] 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]. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 2012, 32(5): 331—337.
- [11] 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 and Medicine*, 2010, 9(3): 452—458.
- [12] KAMINSKY L A, PADJEN S, LAHAM-SAEGER J. Effect of Split Exercise Sessions on Excess Post-Exercise Oxygen Consumption [J]. *British Journal of Sports Medicine*, 1990, 24(2): 95—98.
- [13] LOENNEKE J P, THROWER A D, BALAPUR A, et al. Blood Flow-Restricted Walking Does Not Result in an Accumulation of Metabolites [J]. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 2012, 32(1): 80—82.
- [14] NIELSEN J L, AAGAAR D P, BECH R D, et al. Proliferation of Myogenic Stem Cells in Human Skeletal Muscle in Response to Low-Load Resistance Training with Blood Flow Restriction [J]. *Journal of Physiology*, 2012, 590(17): 4351—4361.
- [15] LOENNEKE J P, THROWER A D, BALAPU A, et al. Blood Flow-Restricted Walking Does Not Result in an Accumulation of Metabolites [J]. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 2012, 32(1): 80—82.
- [16] WERNBOM M, AUGUSTSSON J, RAASTAD T. Ischemic Strength Training: A Low-load Alternative to Heavy Resistance Exercise? [J]. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 2008, 18(4): 401—416.
- [17] 李春涛. 水下阻力增强式训练对男排运动员下肢运动表现影响研究 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2018, 43(2): 115—122.
- [18] TAKANO H, MORITA T, IIDA 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—73.
- [19] COOK S B, CLARK B C, PLOUTZ-SNYDER L L. Effects of Exercise Load and Blood-Flow Restriction on Skeletal

Muscle Function [J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2007, 39(10): 1708—1713.

- [20] TAKARADA Y, SATO Y, ISHII N. Effects of Resistance Exercise Combined with Vascular Occlusion on Muscle Function in Athletes [J]. *European Journal of Applied Physiology*, 2002, 86(4): 308—314.
- [21] CRISAFULLI A, TANGIANU F, TOCCO F, et al. Ischemic Preconditioning of the Muscle Improves Maximal Exercise Performance But Not Maximal Oxygen Uptake in Humans [J]. *Journal of Applied Physiology*, 2011, 111(2): 530—536.

Effects of Running Exercise Combined with of Lower KAATSU Training on Sports Performance of Tennis Athletes

YAN Yu-li^{1,2}, GUO Li-ya^{1,2}

1. College of Physical Education, Southwestern University, Chongqing 400715, China;

2. State Key Laboratory of Physical Fitness Evaluation and Sports Function Monitoring, Chongqing 400715, China

Abstract: In this paper, researches have been done to investigate the effects of running exercise combined with KAATSU training (RE-KT) on the performance and physiological responses of tennis athletes. Twenty college male tennis players were enrolled and assigned to two experimental interventions in a balanced order: 1) running (50% maximal heart rate, 5 in each group, 120s in group with 1min rest) with lower extremity compression parts of the quadriceps, thigh muscles, pressure is 150mmHg) warm-up; 2) pure running warm-up activity (running exercise, RE). Results show that, in the heart rate and exercise-conscious scale, the index of subjects receiving RE-KT intervention was significantly higher than that of RE after intervention ($p < 0.05$). In terms of blood lactate, testosterone and growth hormone concentration, The indexes of -KT after intervention were significantly higher than those of RE after intervention ($p < 0.05$). However, in terms of explosive force and maximum torque, the index of RE subjects receiving RE-KT intervention was significantly higher than that of RE subjects ($p < 0.05$), but in endurance of muscle, After receiving RE intervention there was no significant difference ($p > 0.05$). It is concluded that running warm-up of tennis players by running with leg compression can induce physiological effects such as increase of heart rate, increase of RPE, accumulation of blood lactate, testosterone and growth hormone concentration, and promote the performance of lower limbs explosive force and maximum torque. However, No significant improvement in motor performance of muscular endurance.

Key words: KAATSU training; tennis; lactic acid; exercise performance; blood flow limitation

责任编辑 周仁惠