

不同加压抗阻训练模式 对运动后人体生理及生物力学特征的影响研究^①

郑 兵¹, 张 舟²

1. 唐山师范学院 体育系, 河北 唐山 063000; 2. 四川省医学科学院 四川省人民医院康复医学科, 成都 610041

摘要: 为探讨单次不同阻力运动搭配不同加压负荷对运动后代谢压力与合成激素反应的影响, 招募 10 名女子网球专项运动员为实验对象, 按照平衡次序法分别进行 5 种训练模式, 即高强度抗阻(HR)、低强度抗阻(LR)、高强度抗阻+低加压(HRLO)、低强度抗阻+高加压(LRHO)、低强度抗阻+低加压(LRLO), 并于运动后即刻、15 min、30 min、60 min 测量相应血清生长激素、睾酮、乳酸及自觉费力程度(RPE)等指标, 结果显示: ①高强度抗阻训练与高强度抗阻+低加压训练模式在运动后皆有较高的生长素质量浓度且能持续至运动后 30 min, HRLO 模式优于 HR 模式; ②与低强度抗阻力训练 3 种模式相比, HRLO 训练模式在运动后即刻有较高的睾酮质量浓度且能在运动后引起较高的压力反应, 即高乳酸浓度与高 RPE 得分; ③与低强度抗阻力训练 3 种模式相比, HRLO 模式训练后 60 min 膝关节伸展最大等长肌力呈显著下降, 而股外肌在最大等长肌力测试中的肌电均方根(RMS)值显著上升, 从而增加肌纤维招募. 认为高强度抗阻运动搭配低加压训练模式可显著提高体内代谢压力, 同时可刺激更多生长素与睾酮分泌, 因而对肌肉组织合成有正向效益.

关键词: 加压运动; 抗阻训练; 生长素; 肌电; 生理反应; 等长肌力

中图分类号: G804

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2021)02-0126-09

加压训练是一种新兴的训练方式, 即在运动过程中, 通过压迫方式, 限制活动肌群的血流及减少静脉回流, 该训练方式常应用于阻力训练中, 甚至在步行运动中亦有采用. 有研究认为^[1-2], 加压训练对诱发肌肉肥大及提升肌力非常有效, 与传统抗阻力训练相比, 加压训练只需用 6~12 RM 最大重复次数的训练量, 训练强度 $\geq 65\%1RM$, 即能达到肌肉肥大或提升肌力之目的^[3-5]. 研究还认为, 当加压抗阻强度达到 20% 1 RM(低强度), 对改善肌肉适能有显效^[6], 而这种抗阻训练强度只相当于日常生活中的基本身体活动量^[7]. 最近几年, 加压训练逐渐替代了传统训练方式^[8-10], 如对于康复治疗阶段的患者可用于恢复因其日常身体活动量不足而导致的肌肉量与肌力下降; 对于高龄者可用于预防肌少症的发生; 对于运动员可用于提升肌力与爆发力.

从抗阻力训练的相关机制看, 抗阻运动后会引起血液中乳酸与 H^+ 等代谢物质增加, 并造成体内酸化环境, 这与生长激素(GH)水平提升具有显著关联性^[11-13], 如类胰岛素生长因子、睾酮与 GH、细胞激素 IL-6 等皆会受到体内代谢压力增加而提升其浓度, 从而刺激肌肉生长及肌肉肥大. 与传统抗阻力训练相比, 加压抗阻训练能引起肌肉组织内的乳酸及 H^+ 堆积, 这种局部代谢产物的刺激是造成肌肉肥大的主要诱因. 但值得注意的是, 不同加压训练过程对体内代谢压力会产生不同的影响. 例如, 以 20% 1 RM 负荷

① 收稿日期: 2019-09-04

作者简介: 郑 兵, 副教授, 主要从事全民健身与运动康复的研究.

通信作者: 张 舟, 康复治疗师.

进行 2 min 单侧腿部屈曲(30 次/min),运动+加压(100~200 mmHg)可显著造成肌肉中磷酸肌酸(PCr)分解,并使肌肉组织 pH 值显著下降,其效果不仅高于单纯低强度抗阻力训练所产生的效应,甚至可达到类似单纯高强度抗阻训练的代谢反应^[14],这些研究结果显示结合阻力与加压的训练模式,较低训练强度即可达到传统训练的效果.总之,先前研究已证明^[15-16],通过阻力搭配加压训练模式能显著提高体内代谢压力,并且呈现正向关联性的剂量反应;这些研究设计皆采用单次低阻力运动、低阻力运动+加压、中等阻力运动+加压、高阻力运动+加压、低阻力运动+高加压、单纯高阻力运动等方式探讨对体内代谢压力的影响.然而,最近有研究却指出^[17],加压训练具有肌力提升的作用,但无法产生传统阻力训练所产生的神经适应效果,仅能借肌肉肥大作用来提升肌力.

综上所述,生物体内的酸化环境所产生的代谢压力会造成 GH 分泌增加,而加压能阻断局部血流与阻力负荷增加,可能造成肌肉组织与系统性酸化程度提升,若将加压与低阻力运动相结合则被证实可提高 GH 分泌与刺激肌肉肥大的效果.但先前少有学者对中高强度的加压训练能否对诱导 GH 有效进行探讨,因此,本研究将探讨 2 种抗阻(70%与 40%1RM)训练结合 2 种加压(130%与 70%SBP)方式下对合成性激素分泌及代谢压力的影响,以期为运动训练及临床康复提供参考.

1 材料与方法

1.1 实验对象

本次研究招募到 10 位女子网球专项运动员(运动等级皆为 2 级),均自愿参与本次研究.受测对象平均年龄(17.4±0.5)岁,平均身高(166.8±7.5)cm,平均体质量(56.3±7.3)kg,训练年限(6.8±1.3)年,BMI(20.3±1.4)kg/m.高强度抗阻+低加压(HRLO)、低强度抗阻+高加压(LRHO)及低强度抗阻+低加压(LRLO)3 种加压模式的实际压力分别为(81.6±3.7)mmHg,(154.2±5.5)mmHg,(82.4±2.7)mmHg.

表 1 实验对象的基本信息分布表

变 量	均值±标准差	区间分布	变 量	均值±标准差	区间分布
年龄/a	17.4±0.5	16~21	训练年限/a	6.8±1.3	4.3~8.5
身高/cm	166.8±7.5	162~175	HRLO 加压压力/mm Hg	81.6±3.7	73~96
体质量/kg	56.3±7.3	59~75	LRHO 加压压力/mm Hg	154.2±5.5	73~96
体质指数 BMI	20.3±1.4	19.1~24.4	LRLO 加压压力/mm Hg	82.4±2.7	73~96

入围标准:①所有受试者实验前 2 个月内无受伤情况,能正常参加训练;②所有受试者皆没有服用药物与营养品,且自愿完成本次测试;③所有受试者皆处于赛前调整期,运动等级皆为 2 级.④所有受试者在整个实验期间除接受运动处理外,不再进行其他额外训练;⑤所有受试者实验前 24 h 禁止食用咖啡类食品,确保充足的睡眠,并于实验当日前空腹 8 h.

排除标准:①运动等级为健将级或 2 级及以下者排除;②参加本次测试前 2 个月有过严重伤病者排除;③实验前 2 个月有常服用药物与营养品者排除;④双脚有受伤史者排除.

时间安排:实验时间 2019 年 5 月 20 日—6 月 20 日.实验地点:成都体育学院运动人体科学实验室.

1.2 实验设计

- 所有受试者将完成 7 次实验.
- 1) 首先,所有受试者先熟悉操作斜坐推蹬、加压处置及最大肌力测量设备等.
 - 2) 进行斜坐推蹬最大肌力测试(1RM).先用轻负荷让受试者进行斜坐推蹬,然后休息 1 min,再让受试者以约 50% 1 RM 进行 8 次反复推蹬,再休息 1~5 min,增加推蹬负荷,通过 5 次重测,找出个体的最大肌力^[18].
 - 3) 第 3 次至 7 次属于正式实验处理过程.依照平衡次序法要求所有受试者完成 5 种实验过程,次与次之间的间隔时间为 5 天.测验时间皆选择在上午.
 - 4) 5 种实验处理设计.训练模式 1:高强度阻力训练(简称 HR),70% 1 RM;训练模式 2:低强度阻力训练(简称 LR),40% 1 RM;训练模式 3:高强度阻力+低加压训练(简称 HRLO),70% 1 RM+70%

SBP; 训练模式 4: 低强度阻力+高加压训练(简称 LRHO), 40% 1 RM+130%SBP; 训练模式 5: 低强度阻力+低加压训练(简称 LRLO), 40% 1 RM+70%SBP. 参照 Suga 等^[14]学者的分级标准进行高、低加压设定.

5) 斜坐推蹬要求每位受试者完成 5 组、每组 12 次、组间休息 1 min 的推蹬任务. 方法是在双腿伸展与屈曲方式下分别进行 70%1 RM 或 40%1 RM 的阻力推蹬运动. 在抗阻运动时, 同时将充气加压带(130%或 70%的收缩压压力)绑于双腿大腿近端, 要求加压时间与运动时间相等, 运动结束后, 将调节阀门打开泄气(休息时无加压).

1.3 相关指标测试

1) 受试者到达实验室后, 先休息 10 min, 然后进行血压测试、肌电片粘贴、手臂静脉埋滞留针及安静血液采集.

2) 进行脚踏车热身活动, 时间约 5 min, 接着对受试者的右腿进行最大等长肌力测验, 使用设备为 Biodex 等速肌力仪(产地: 美国).

3) 进行双腿斜坐推蹬测试, 方法依上述的实验设计. 当运动结束后, 让受试者端坐于椅子上休息, 利用滞留针采集训练后立即, 15 min, 30 min, 60 min 的血液.

1.4 原始数据处理

1) 将取得的血液装于真空采血管中, 静放 30 min 再进行离心处理(离心机转速 3 000 r/min), 20 min 后使用微量吸管吸取上层血清液装至微管中, 存入-70℃的冰箱中保存. 采用放射免疫分析法获得 GH 与睾酮质量浓度指标(单位 $\mu\text{g/L}$). 血乳酸浓度通过全自动生化分析仪获得.

2) 利用 Biodex 等速肌力分析系统测量受试者右腿膝伸肌最大自主等长肌力(膝关节角度为 70°). 重测 3 次, 取最大值(每次 5 s, 次间休息时间 1 min). 测验过程中, 连接 Biodex 等速肌力分析系统与 Noraxon 肌电仪器(产地: 美国), 进行同步化作业, 观测肌力表现与股外侧肌募集现象.

原始肌电信号经全波整流后, 采用低通滤波器进行平滑处理, 从而获得模式 1—模式 5 下股外侧肌肌电信号值; 对每个受试者的有效肌电值按伸膝动作标准化处理后进行叠加, 叠加后再次将数据滤波, 以获取每块肌肉的肌电图线性包络图. 原始肌电信号经软件处理获得肌电均方根(RMS)指标. 每次实验处理前的最大等长肌力测验中, 收取最大平均肌电强度为常模化标准, 据此将肌电换成相对强度(%MVC)单位, 即所谓的标准化肌电信号.

1.5 数理统计法

选择 SPSS 19.0 统计分析软件, 采用重复测量双因素方差分析方法对 5 种训练模式(HR, LR, HRLO, LRHO, LRLO)与不同测量时间节点(前测、运动后立即、15, 30 与 60 min)的生理参数(GH、睾酮质量浓度、乳酸浓度与 RPE 值)变化进行统计检验, 并对主效应有显著意义的指标再次进行 LSD 事后多重比较; 所有指标的显著水平设置为 $\alpha=0.05$.

2 研究结果

2.1 不同加压抗阻运动训练对生长激素及睾酮的影响分析

由表 1 可知, 不同加压抗阻运动训练对生长素(GH)的影响: ①经双因素方差分析检验, 不同训练模式与不同测量时间点所得血清中生长素(GH)值不存在交互影响($F=1.25$, $p>0.05$); 2 个主效应中, 不同训练模式主效应($F=2.74$, $p<0.05$), 不同测量时间点主效应($F=4.87$, $p<0.05$). ②训练模式 1(HR)与模式 3(HRLO)在不同测量时间点呈现出类似规律, 表现为训练后即刻及训练后 15 min GH 分泌最高, 训练后 60 min 恢复至安静水平, 而另外 3 模式(LR, LRHO, LRLO)在 5 个测量时间上 GH 几乎没什么显著变化. ③同一时间测量点, 不同训练模式 GH 分泌比较发现, GH 的变化集中体现在运动后即刻、15 min 及 30 min, 其中运动后即刻及运动后 15 min 皆以 HRLO 模式下 GH 分泌量最高, HR 次之, 而其他 3 模式(LR, LRHO, LRLO)最小且无差异.

表 1 不同训练模式及不同测量时间点的生长素及睾固酮变化规律统计表

		训练模式 1 (HR)	训练模式 2 (LR)	训练模式 3 (HRLO)	训练模式 4 (LRHO)	训练模式 5 (LRLO)	LSD 多重比较
生长素	a 前测/($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	1.30±1.23	1.56±0.55	1.71±0.69	1.63±0.58	1.58±0.57	1=2=3=4=5
	b 运动后即刻/($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	4.87±1.15	1.66±0.89	6.07±1.55	2.33±1.44	1.77±1.01	3>1=2=4=5
	c 运动后 15 min	3.41±1.58	1.75±1.17	4.59±1.77	2.54±1.45	1.66±1.32	3>1=2=4=5
	d 运动后 30 min	3.11±0.95	2.14±1.24	3.74±1.29	2.12±1.30	1.70±0.82	3=1>2=4=5
	e 运动后 60 min	1.69±1.17	1.78±0.91	1.84±1.05	2.01±0.87	1.61±1.23	1=2=3=4=5
	LSD 多重比较	b>c=d>a=e	a=b=c=d=e	b>c=d>e=a	a=b=c=d=e	a=b=c=d=e	
睾固酮	a 前测/($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	6.16±1.59	5.69±1.69	6.48±1.66	5.95±1.64	5.68±1.88	1=2=3=4=5
	b 运动后即刻/($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	6.33±1.27	5.74±1.37	6.87±1.74	5.82±1.44	5.54±1.80	3=1>2=4=5
	c 运动后 15 min	5.87±1.06	5.22±1.63	5.79±1.32	5.33±1.36	5.11±1.51	1=2=3=4=5
	d 运动后 30 min	5.92±1.22	5.59±1.37	6.06±1.78	5.66±1.37	5.37±1.79	1=2=3=4=5
	e 运动后 60 min	6.11±1.64	5.63±1.48	6.35±1.08	5.29±1.60	5.30±1.48	3=1>2=4=5
	LSD 多重比较	a=b=c=d=e	a=b=c=d=e	a=b=c=d=e	a=b=c=d=e	a=b=c=d=e	

注: a>b 与 a=b 分别为“前测值显著高于后测即刻值”及“前测值与后测即刻值无差异”; 1>2 与 1=2 分别为“训练模式 1 的值显著高于训练模式 2 的值”及“训练模式 1 的值与训练模式 2 的值无差异”。其他类似符号含义相同, 不再重复说明。

不同加压抗阻运动训练对睾固酮质量浓度的影响: ①经双因素方差分析检验, 血清睾固酮质量浓度在不同训练模式与不同测量时间点并无交互作用($F=0.615, p>0.05$); 主效应检验发现, 同一模式不同测量点之间不存在差异, 而同一测量点不同模式间存在显著差异($F=4.14, p<0.05$), 表现为血清睾固酮质量浓度在运动后即刻与运动后 60 min 后, HRLO 与 HR 组无明显差异, 但这两个模式下的睾固酮质量浓度皆显著高于 LR,LRHO 及 LRLO。

2.2 不同阻力与加压负荷对血乳酸与自觉费力程度的影响

表 2 显示不同加压抗阻运动训练对血乳酸浓度(mmol/L)的影响: ①经重复测量双因素方差分析后发现, 不同训练模式与不同测量时间节点存在交互作用($F=5.74, p<0.01$), 其中 2 个主效应同样达到显著水平, 即不同测量时间节点主效应($F=5.11, p<0.05$), 不同训练模式主效应($F=9.15, p<0.01$); ②2 个主效应经 LSD 多重比较发现, 训练后即刻、训练后 15 min 及训练后 30 min 时, HR 与 HRLO 之间血乳酸浓度无差异($p>0.05$), 但这两个模式下血乳酸浓度显著高于 LR、LRHO 及 LRLO, 而 LRHO 模式血乳酸浓度显著高于 LR 与 LRLO,LR 与 LRLO 之间血乳酸浓度无差异; ③同一模式不同测量点皆表现相似规律, 即运动后即刻血乳酸浓度达到峰值, 随即开始下降, 约运动后 30 min 恢复到前测水平; 交互效果比较发现, 运动后 15 min 与运动后 30 min 时, HR 与 LRHO 之间及 LR 与 HRLO 之间有显著差异。

表 2 不同训练模式及不同测量时间点的血乳酸及自觉努力程度变化统计表

		训练模式 1 (HR)	训练模式 2 (LR)	训练模式 3 (HRLO)	训练模式 4 (LRHO)	训练模式 5 (LRLO)	LSD 多重比较
血 乳 酸	a 前测/(mmol·L ⁻¹)	1.66±0.71	1.48±0.72	1.61±0.66	1.58±0.71	1.60±0.49	1=2=3=4=5
	b 运动后即刻/(mmol·L ⁻¹)	4.37±1.02	3.14±1.01	4.53±1.16	3.46±1.05	3.41±1.22	1=3>2=4=5
	c 运动后 15 min	3.28±0.88	2.09±0.82	3.30±1.13	2.39±0.81	2.30±0.75	1=3>2=4=5
	d 运动后 30 min	2.27±0.69	1.96±0.53	2.58±0.66	2.18±0.77	2.14±0.66	1=2=3=4=5
	e 运动后 60 min	2.07±0.66	1.63±0.48	1.98±0.54	2.06±0.53	1.97±0.68	1=2=3=4=5
	LSD 多重比较	b>c=d>a=e	b>c=d=e=a	b>c=d>e=a	b>c=d=e=a	b>c=d=e=a	
自 觉 用 力 RPE	a 前测/(mmol·L ⁻¹)	0.87±0.45	0.78±0.55	0.71±0.52	0.70±0.36	0.81±0.47	1=2=3=4=5
	b 运动后即刻/(mmol·L ⁻¹)	5.57±1.30	3.91±0.71	6.02±1.45	3.82±0.56	3.88±0.63	3>1>2=4=5
	c 运动后 15 min	1.87±0.77	1.24±0.52	2.65±0.63	1.19±0.63	1.33±0.74	3>1=2=4=5
	d 运动后 30 min	1.54±0.61	1.20±0.46	2.05±0.74	1.14±0.47	1.28±0.51	3>1=2=4=5
	e 运动后 60 min	0.81±0.51	0.79±0.55	1.84±0.69	0.91±0.48	0.82±0.71	3>1=2=4=5
	LSD 多重比较	b>c=d>e=a	b>c=d=e=a	b>c=d>e=a	b>c=d=e=a	b>d=c=e=a	

注: a>b 与 a=b 分别为“前测值显著高于后测即刻值”及“前测值与后测即刻值无差异”; 1>2 与 1=2 分别为“训练模式 1 的值显著高于训练模式 2 的值”及“训练模式 1 的值与训练模式 2 的值无差异”。其他类似符号含义相同, 不再重复说明。

不同加压抗阻运动训练对自觉用力程度(RPE)的影响:①经重复测量双因素方差分析后发现,不同训练模式与不同测量时间点存在交互作用($F=7.12, p<0.01$),2 个主效应的检验亦达到显著水平($F=5.97, p<0.05$ 与 $F=6.41, p<0.01$);②不同训练模式经 LSD 多重比较发现,运动后即刻、运动后 15 min、运动后 30 min 与运动后 60 min 时,HRLO 皆显著高于 LR,LRHO 与 LRLO;运动后即刻,HR 皆显著高于 LR,LRHO 与 LRLO;运动后 15 min、运动后 30 min 与运动后 60 min 时,HR 与 HRLO 之间亦存显著差异;③从同一训练模式不同时间测量点看,HR 与 HRLO 表现出相同的变化规律,即运动后即刻 RPE 得分达到峰值,随即下降,且在运动后 30 min 后仍高于前测;LR,LRHO 与 LRLO 表现相同的变化规律,即在运动后即刻 RPE 得分达到峰值,随即迅速下降并恢复至前测水平。

2.3 不同阻力与加压负荷对最大等长肌力表现的影响

经重复测量双因素方差分析发现(表 3),不同训练模式与测量时间无交互作用($F=1.02, p>0.05$);不同模式主效应不显著($F=1.26, p>0.05$),但在测量时间主效应中有显著差异($F=7.18, p<0.01$).经进一步深入分析,HRLO 模式下的膝关节伸展最大等长肌力(关节角度 70°)在实验处理后 60 min 呈现显著下降趋势,其下降率约 9.95%.同样分析发现,股外肌在最大等长肌力测试中的肌电信号方面,运动前与运动后第 60 min(膝关节角度 70°)RMS 值经标准化处理后发现,HRLO 模式下的 RMS 值在运动后 60 min 时有显著上升的趋势,上升率达 22.77%.

表 3 不同训练模式前、后 60 min 后测等长肌力及肌电差异比较统计表

	最大等长肌力/N·m		变化率 /%	肌外侧肌 RMS/ μ V		变化率 /%
	前测	后 60 min 测		前测	后 60 min 测	
训练模式 1(HR)	197.25±21.47	190.21±17.12	−3.57	354.11±12.17	374.23±19.65	5.68
训练模式 2(LR)	204.16±13.21	194.28±16.03	−4.84	391.21±17.27	399.18±21.03	2.04
训练模 3(HRLO)	214.55±11.78	193.21±13.78**	−9.95	478.63±20.55	587.62±17.05***	22.77
训练模式 4(LRHO)	207.83±17.06	202.81±19.12	−2.42	379.08±13.41	394.56±12.87	4.08
训练模式 5(LRLO)	209.12±16.52	197.55±10.95	−5.53	420.06±18.21	450.74±19.25	7.30

注:*,**,*** 分别代表 0.05,0.01,0.001 的显著水平.

3 讨 论

3.1 加压介入抗阻力训练对生长素(GH)分泌的影响

相关研究发现^[15,19-20],采用低阻力负荷+加压方式(LRHO 模式:20%~30%1 RM+110~220 mmHg 加压至力竭)可以促进生长素(GH)的显著提升,且 GH 提升幅度可达安静值的 290%.但本研究发现 LRHO 训练模式运动后血液中 GH 质量浓度并未出现明显提升,究其原因可能是受运动形态影响,因为本研究采用的训练模式与一般阻力运动训练模式较为接近,即固定反复次数(每组 12 次),与先前学者采用运动至衰竭方式有明显不同,力竭式训练模式在竞技运动训练领域不常使用^[11,21-22],故本研究与先前研究在运动内容上的不同,可能导致整体运动时间及加压时间差异,进而对 GH 释放造成的效果不一样.另一方面,从抗阻力运动时间长短对 GH 的影响发现,低阻力负荷(60%1 RM)+长时间(反复次数≤15)比高阻力负荷(90%1 RM)+短时间(反复次数≤4)更能提升 GH 反应^[23];且阻力运动过程中,组间休息时间及肢体运动收缩速度都会影响 GH 释放^[24].

本研究发现单次高阻力负荷+低加压压力(HRLO)训练模式能显著提升生长素(GH)及睾酮质量浓度,同时能造成较高乳酸及 RPE 值,这些值能获得持续性反应;且首次确认 HRLO 所造成的生长激素反应及代谢压力改变显著高于先前单纯的加压训练模式^[15].更有意思的是,本研究观察到高阻力负荷+低加压训练模式(HRLO)能有效刺激 GH 分泌,且效应可持续至运动后 30 min.这些发现暗示,利用固定反复次数但非力竭性的训练模式是可以显著提升 GH 分泌的,且这种训练模式能够创造体内合成 GH 的环境能

力,从而有助于促进肌肉肥大.总之,HRLO训练效果确实有提升GH的释放,但此模式所引起的GH质量浓度上升是否能造成肌力提升与肌肉肥大的长期训练效果还需进一步研究探讨.

3.2 加压介入抗阻力训练对睾固酮分泌的影响

先前研究表明^[25],睾固酮分泌提高与血乳酸增加幅度呈现显著正相关.但本研究中,不同训练模式对睾固酮及乳酸分泌的影响发现,睾固酮质量浓度在运动后即刻的值,模式HRLO皆显著高于LR,LRHO,LRLO 3种模式反应,这亦与乳酸浓度的变化结果一致.据此,笔者分析在HRLO训练模式下,由于作用肌必须对抗较高的阻力负荷,相对地必须征召较多的快缩肌纤维参与工作,故在较高比例快缩肌纤维征召下,会引发更多的糖酵解反应以提供更多的能量需求,因而产生较多乳酸^[26],这说明高阻力+低加压模式的确可引起较高代谢压力反应,并符合剂量反应的原则^[14].同时,本研究亦观察到睾固酮质量浓度在不同时间节点上不存在明显差异,这一结果同样与先前加压+抗阻训练研究结果趋于一致^[11,27-28].此外,在运动对睾固酮的影响研究中,有学者^[25]采用高强度、高负荷量、短时间组间休息及大肌肉动作的实验设计,同样能有效刺激睾固酮反应.故推测本研究中所采用的高阻力+低加压模式,对运动后提升睾固酮质量浓度所需的运动强度而言,刺激明显不够.本研究亦发现低阻力+加压运动2种模式(LRLO与LRHO)皆未观察到GH与睾固酮质量浓度的显著改变,这可能是由于本研究采用固定反复次数训练模式,这与先前加压+抗阻研究采用运动至衰竭的训练模式不同^[11,21-22].而先前低阻力+高加压运动至衰竭模式下能促进GH与睾固酮的提升效果^[25,29],但这种模式若遵循健身运动设计(固定反复次数而非运动至衰竭)实验中却无法观察到对GH与睾固酮的提升效果,故这种矛盾结果需要未来更多的研究去验证.

3.3 加压介入抗阻力训练对血液酸化(乳酸分泌)的影响

加压运动能引起血乳酸^[26]、血浆乳酸^[28]与肌肉内乳酸及 H^+ 浓度^[30]快速增加,这种现象说明加压运动所引起的体内酸化环境能提升下视丘GH的释放^[14-15,25].本研究发现,HRLO相较低阻力运动及其他3种模式(LR,LRHO与LRLO),皆呈现显著增高的睾固酮质量浓度与乳酸浓度;但这种差异在HR模式与另外3种模式(LR,LRHO与LRLO)间并不存在,这似乎显示高强度抗阻+低加压(HRLO)在刺激乳酸分泌具有协同作用,但并无加成作用存在.此外,本研究还观察到HRLO与HR这2种模式中,睾固酮质量浓度与乳酸浓度并无统计上的差异,这说明阻力运动的强度是影响睾固酮与乳酸上升的主要因素.由于本研究所采用的高阻力负荷运动,在固定反复次数的操作后,是否已经引起相当大的代谢压力,并产生所谓的天花板效应,因此造成高阻力运动+低加压(HRLO)无法引起更多的睾固酮与乳酸反应,这个问题仍需做进一步探讨.而且本研究仅测验血液中的乳酸浓度,并未检测肌肉组织内乳酸变化,因此,HRLO训练模式是否会造成肌肉内有较高的乳酸反应并进而影响GH释放,同样需要更多的研究去证实.还有本研究单纯采用70%与40%1RM分别用来代表高强度与低强度的阻力负荷,主要针对休整期网球运动员的体能状况设计,没有加入中等强度的阻力负荷(50%~60%1RM)组别考虑,若要能更进一步解释与实际应用价值,这个阻力负荷也应后续进一步探讨.

3.4 加压介入抗阻力训练对膝关节肌力的影响

本研究发现HRLO训练模式,膝关节伸展最大等长肌力在实验处理后60min呈现显著下降,下降幅度达9.95%,而在其他的训练模式下皆有下降趋势(无统计学意义).另一方面,股外肌肌电信号亦发现,HRLO训练模式下的RMS值在运动后60min时有显著上升现象,肌电幅度上升达22.77%.将肌肉力量下降与肌电信号提升两者综合起来分析,说明高阻力负荷+低加压模式确实能引起肌肉疲劳现象,而这很可能是因为高阻力负荷下,必须征召更多运动单位来协助动作进行,且会动用到较多快速糖酵解反应,进而导致较多乳酸产生^[9,11,25].此外,肌肉的疲劳现象亦从受试者的自觉费力程度(RPE)得分进行评价,HRLO(高阻力+低加压)训练模式明显引起受试者较高的酸痛疲劳反应,且此现象持续至运动后60min.

4 结论与问题展望

4.1 结 论

1) 高强度阻力运动+低加压训练模式可显著提高体内的代谢压力反应并造成最大肌力下降,而且同时可刺激更多的 GH 与睾固酮产生,显示该训练模式可提高肌肉代谢压力与合成性激素分泌,故可能具有促进肌肥大或肌肉组织合成作用的正面效益。

2) 传统训练模式中,采用较低负荷抗阻+较高加压运动训练至衰竭,其主要应用于康复医学,并已获得良好效益;但该训练模式在竞技运动领域的应用并不普遍,而本研究采纳高强度抗阻+低加压训练其结果可以为竞技训练提供重要参考。

4.2 问题展望

1) 出于实验操作的安全考虑,并研究并未对高阻力运动+高加压模式进行探讨,而该训练模式是否具有更佳的运动效益,或是否会对人体造成更大的负面伤害,皆有待未来进一步探讨。

2) 本研究揭示了高强度阻力运动+低加压训练模式对运动后人体生理反应的正向效益,但并未探讨中等强度的阻力负荷(50%—60%1RM)效果,后续需要进一步探讨该中强度阻力负荷的训练效果,从而全面揭示其实际应用价值。

参考文献:

- [1] ABE T, KEARNS C F, SATO Y. Muscle Size and Strength are Increased Following Walk Training with Restricted Venous Blood Flow from the Leg Muscle, Kaatsu-walk Training [J]. Journal of Applied Physiology, 2006, 100(5): 1460-1466.
- [2] HUMPHRIESB, STANTONR, SCANLANA, et al. The Prevalence and Performance of Resistance Exercise Training Activities in an Australian Population in Relation to Health Authority Guidelines [J]. Journal of Science and Medicine in Sport, 2018, 21(6): 616-620.
- [3] MARTINH, BEARDS, CLISSOLDN, et al. Combined Aerobic and Resistance Exercise Interventions for Individuals with Schizophrenia: aSystematic Review [J]. Mental Health and Physical Activity, 2017, 12: 147-155.
- [4] CECI R, BELTRANVALLSMR, DURANTIG, et al. Oxidative Stress Responses to a Graded Maximal Exercise Test in Older Adults Following Explosive-type Resistance Training [J]. Redox Biology, 2014, 2: 65-72.
- [5] OESENS, HALPERB, HOFMANNM, et al. Effects of Elastic Band Resistance Training and Nutritional Supplementation on Physical Performance of InstitutionalisedElderly—aRandomized Controlled Trial [J]. Experimental Gerontology, 2015, 72: 99-108.
- [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): 337-342.
- [7] PENGJ, FEYNP, KUIKENTA, et al. Anticipatory Kinematics and Muscle Activity Preceding Transitions from Level-ground Walking to Stair Ascent and Descent [J]. Journal of Biomechanics, 2016, 49(4): 528-536.
- [8] 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): 452-458.
- [9] CLARKSON M J, CONWAY L, WARMINGTON S A. Blood Flow Restriction Walking and Physical Function in Older Adults: aRandomized Control Trial [J]. Journal of Science and Medicine in Sport, 2017, 20(12): 1041-1046.
- [10] BAILEYDP, SMITH L R, CHRISMASB C, et al. Appetite and Gut Hormone Responses to Moderate-intensity Continuous Exercise Versus High-intensity Interval Exercise, in Normoxic and Hypoxic Conditions [J]. Appetite, 2015, 89: 237-245.
- [11] REEVES G V, KRAEMER 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.
- [12] NINDL B C, ALEMANYJ A, RARICKK R, et al. Differential Basal and Exercise-induced IGF-I System Responses to Resistance Vs. Calisthenic-based Military Readiness Training Programs [J]. Growth Hormone & IGF Research, 2017, 32: 33-40.
- [13] 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.
- [14] SUGA T, OKITA K, MORITA N, et al. Intramuscular Metabolism during Low-intensity Resistance Exercise with Blood Flow Restriction [J]. Journal of Applied Physiology, 2009, 106(4): 1119-1124.
- [15] LOENNEKE J P, WILSON J M, MARIN P J, et al. Low Intensity Blood Flow Restriction Training: aMeta-analysis [J]. European Journal of Applied Physiology, 2012, 112(5): 1849-1859.
- [16] SUGA T, OKITA K, MORITA N, et al. Dose Effect on Intramuscular Metabolic Stress during Low-intensity Resistance Exercise with Blood Flow Restriction [J]. Journal of Applied Physiology, 2010, 108(6): 1563-1567.
- [17] 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.
- [18] HARRIES S K, LUBANS D R, CALLISTERR. Comparison of Resistance Training Progression Models on Maximal Strength in Sub-elite Adolescent Rugby Union Players [J]. Journal of Science and Medicine in Sport, 2016, 19(2): 163-169.
- [19] KERAMIDAS M E, KOUNALAKIS S N, GELADAS N D. The Effect of Interval Training Combined with Thigh Cuffs Pressure on Maximal and Submaximal Exercise Performance [J]. Clinical Physiology and Functional Imaging, 2012, 32(3): 205-213.
- [20] BEJESHK M A, JOUKARS, SHAHOUZEHB, et al. Combinatorial Effect of Lower Extremity Blood Flow Restriction and Low Intensity Endurance Exercise on Aorta of Old Male Rats: Histomorphological and Molecular Approach [J]. Artery Research, 2018, 24(C): 22.
- [21] WAHLP, ZINNERC, ACHTZEHNS, et al. Effect of High- And Low-intensity Exercise and Metabolic Acidosis on Levels of GH, IGF-I, IGFBP-3 and Cortisol [J]. Growth Hormone & IGF Research, 2010, 20(5): 380-385.
- [22] PIERCE J R, CLARK B C, PLOUTZ-SNYDERL L, et al. Growth Hormone and Muscle Function Responses to Skeletal Muscle Ischemia [J]. Journal of Applied Physiology, 2006, 101(6): 1588-1595.
- [23] SHEIKHOESLAMI-VATANI D, AHMADI S, CHEHRI B, et al. The Effect of Changes in Concentric-eccentric Contraction Time Ratio on Hormonal Response to Resistance Exercise in Trained Men [J]. Science & Sports, 2018, 33(3): 164-168.
- [24] LUK H Y, KRAEMERWJ, SZIVAK T K, et al. Acute Resistance Exercise Stimulates Sex-specific Dimeric ImmunoreactiveGrowth Hormone Responses [J]. Growth Hormone & IGF Research, 2015, 25(3): 136-140.
- [25] MANINIT M, YARROW J F, BUFORD T W, et al. Growth Hormone Responses to Acute Resistance Exercise with Vascular Restriction in Young and Old Men [J]. Growth Hormone & IGF Research, 2012, 22(5): 167-172.
- [26] 林正常, 吴柏翰. 碳水化合物摄取对阻力运动后荷尔蒙反应之影响 [J]. 大专体育学刊, 2008, 10(1): 151-162.
- [27] FRYERS, STONEK, DICKSONT, et al. Reliability of OscillometricCentral Blood Pressure Responses to Lower Limb Resistance Exercise [J]. Atherosclerosis, 2018, 268: 157-162.
- [28] MADARAME H, NEYA M, OCHI E, et al. Cross-Transfer Effects of Resistance Training with Blood Flow Restriction [J]. Medicine & Science in Sports & Exercise, 2008, 40(2): 258-263.
- [29] MADARAME H, SASAKI K, ISHII N. Endocrine Responses to Upper- And Lower-limb Resistance Exercises with Blood Flow Restriction [J]. ActaPhysiologicaHungarica, 2010, 97(2): 192-200.
- [30] KAWADA S, ISHII N. Changes in Skeletal Muscle Size, Fibre-type Composition and Capillary Supply after Chronic Venous Occlusion in Rats [J]. ActaPhysiologica, 2008, 192(4): 541-549.

Physiological and Biomechanical Characteristics after Exercise of Different Blood Flow Restriction Combined with Resistance Exercise Training Modality

ZHENG Bing¹, ZHANG Zhou²

1. Department of Physical Education, Tangshan Normal University, Tangshan Hebei 063000, China;

2. Rehabilitation Medicine Department, Sichuan Academy of Medical Sciences & Sichuan Provincial People's Hospital, Chengdu 610041, China

Abstract: Researches have been done to investigate the effects of single bouts different resistance exercises combined with different blood flow restriction on post-exercise metabolic stress and synthetic hormone response. Ten female tennis athletes were recruited as experimental subjects, and 5 training modes were carried out according to the balanced order method, namely, high-intensity resistance, low-intensity resistance, high-intensity resistance+low pressure, low-intensity resistance+high pressure and low-intensity resistance+low pressure, and the serum growth hormone, testosterone, lactic acid and perceived exertion level were measured immediately, 15min, 30min and 60min after exercise. It shows that, 1) Single high-intensity resistance training (HR) and high-intensity resistance with low-pressure training (HRLO) mode have a relatively higher concentration of growth factor after exercise and can last 30 minutes after exercise, but apparently HRLO was better than HR; 2) compared with the three modes of low-intensity resistance training (LR, LRLO and LRHO), the HRLO had a higher testosterone concentration immediately after exercise and can cause higher pressure response after exercise, i. e., higher lactic acid concentration and higher RPE scores; and 3) compared with the three models of low-intensity resistance training, the maximal isometric muscle strength of the knee extension in HRLO was significantly decreased after 60 min at the end of exercise, while the RMS value of the EMG of the vastus lateralis muscle was significantly increased in the maximal isometric muscle strength test, thereby it can recruit more muscle fibers. It is concluded that high-intensity resistance combined with low-pressure exercise training can significantly improve the metabolic pressure, and stimulate the secretion of more growth factor and testosterone, so it has positive benefit for muscle tissue synthesis.

Key words: blood flow restriction exercise; resistance training; growth factor; EMG; physiological response; isometric muscle strength

责任编辑 胡 杨