

外加紧身压迫对下肢高强度跑 至力竭运动特征的影响

陈金鳌^{1,2}

(1. 常州大学 体育学院, 江苏 常州 213164; 2. 苏州大学 体育学院, 江苏 苏州 215021)

摘要: 目的: 在跑至力竭运动中, 探讨外加紧身压迫对下肢运动特征和实际运动成绩的影响, 以了解紧身服与运动表现之间的关系及其内在机理, 为紧身装备的设计和使用提供参考。方法: 随机选取12名男性田径运动员为受试者, 分别以下肢轻度、中度、高度紧身压迫状态完成跑至力竭测试, 运用表面肌电和录像解析技术对主要发力肌群相关指标的数据进行采集, 并进行统计分析。结果: ①无氧和有氧混合供能模式的跑至力竭过程中, 中度外加紧身压迫对维持运动表现有一定程度的积极影响, 而高度外加紧身压迫则会促进肌肉力竭; ②无氧代谢供能模式的跑至力竭过程中, 高度外加紧身压迫更有助于促进运动表现; ③运动员自身的运动技术等级水平越高, 外加紧身压迫对跑至力竭运动特征的影响效应越明显。

关键词: 紧身装; 紧身压迫度; 高强度跑; 表面肌电; 运动表现; 力竭

中图分类号: G804.7

文献标志码: A

文章编号: 1008-3596 (2016) 03-0073-08

近年来, 国内外均加强了针对紧身装备的科研探索, 主要涉及生理生化、生物力学、运动医学、材料学以及结构设计等学科领域^[1]。然而, 国外在压缩式紧身服能否有效提高运动员训练和比赛成绩的问题上还未达成共识; 国内对紧身运动衣裤的研究还处于起步阶段, 大部分研究仅停留在紧身服装的材质与结构功能层面, 局限于着装压迫的安全性和舒适性, 以及对人体形态、皮肤血流、温度和内分泌等生理机能的影响等方面, 尚未深入系统地探讨紧身装备对人体运动结构和机能的影响及其内在机制^[2]。

因此, 在下肢使用紧身装备的田径专项运动员进行跑至力竭过程中, 运用表面肌电和录像解析技术, 量化外加紧身压迫对下肢肌力、疲劳以及运动学特征的影响, 并通过实证研究手段, 对比统计一段时期内紧身装备对运动员训练

和比赛成绩的综合影响效应, 以期了解紧身服与运动表现之间的关系及其内在机理, 为紧身装备的设计和使用提供参考。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

选取12名体育教育训练专业田径专项男性运动员为研究对象 (年龄 20.3 ± 1.5 岁; 身高 175.3 ± 4.6 cm; 体重 66.2 ± 6.5 kg; 训练年限 3.2 ± 1.5 年), 所有受试者于实验前接受问卷调查, 确认24小时内未从事剧烈运动, 且近半年内无下肢受伤史, 身体状况以及运动能力良好, 并签署知情同意书。

1.2 实验器材

运动心肺功能测试系统、气体代谢分析仪 (MAX-II、CORTEX MetaLyz 等); 心率遥测

收稿日期: 2015-12-15

基金项目: 江苏省体育局体育科技项目局管课题 (ST14102211)

作者简介: 陈金鳌 (1981—), 男, 江苏淮安人, 讲师, 在读博士, 研究方向为运动装备的性能测评。

仪 (POLAR 心率表); 德国 h/p/cosmos 专业级运动跑台; 摄像机 (SONY, DCR-HC96E); VICON (100 Hz) 红外摄像头; SIMI-MOTION 录像解析系统; 德国 Biovision 多导运动生物电记录分析系统 (包括电极导联线和放大器; 12 bit 模数转换器 (A/D); DASYLab9.0 采集与分析软件; MATLab7.0 数学软件); Skins™ 梯度压缩式紧身运动长裤; AMI 气囊式着装生理舒适性压力测试系统^[2-3]。

1.3 高强度跑至力竭测试

首先在预实验中, 通过 h/p/cosmos 跑台专用的 Bruce 递增负荷运动方案法测出每位受试者的最大摄氧量 VO_{2max} 。然后要求每位受试者在下肢分别身着轻度束缚压长裤 (压力值 0.50 ± 0.01 kPa)、中度束缚压长裤 (压力值 2.12 ± 0.05 kPa)、高度束缚压长裤 (压力值 3.32 ± 0.09 kPa)^[4], 仿照 800 米比赛的高强度 (约 $85\%VO_{2max}$) 在跑台上进行跑至力竭运动, 如图 1 所示。12 名受试者首先在 W_1 周穿着轻度束缚压长裤完成测试; 间隔 72 小时以上, 在 W_2 周

穿着中度束缚压长裤完成测试; 再间隔 72 小时以上, 在 W_3 周穿着高度束缚压长裤完成测试。

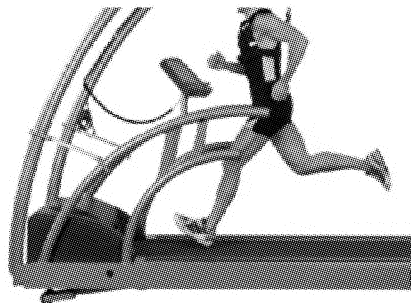


图1 连续跑至力竭动作示意图

每次测试前在指尖采血, 检测血氨和血尿素浓度, 以判断运动性疲劳的恢复程度。表 1 结果显示, 12 名运动员在 W_1 、 W_2 、 W_3 测试前的血氨浓度之间无显著性差异 ($P > 0.05$), 血尿素浓度之间也无显著性差异 ($P > 0.05$), 说明受试者分别穿着不同束缚压长裤进行运动测试的身体机能状态一致。

表1 血氨、血尿素浓度情况一览表 ($n=12$)

指标	W_1 轻度束缚	W_2 中度束缚	W_3 高度束缚	P
血氨/($\mu\text{mol/L}$)	62.9 ± 23.4	62.8 ± 22.9	63.0 ± 23.1	>0.05
血尿素/(mmol/L)	3.87 ± 0.63	3.91 ± 0.65	3.82 ± 0.60	>0.05

1.4 sEMG 信号的采集与分析

使用 MATLab7.0 数学软件对从下肢主要肌群 (股内肌、股外肌、股直肌) 采集到的 sEMG 原始信号进行全波整流和平滑处理, 然后以秒为时间计量单位, 将高强度跑至力竭过程中采集到的全程 sEMG 信号平均分成 11 段, 截取每段末 2 秒的积分肌电 iEMG 和中位频率 MF 肌电指标分别进行时域分析和频域分析, 得出 iEMG 值和 MF 值^[2,4]。

1.5 sEMG 指标数据的标准化处理

以运动开始后 sEMG 信号在第 1 段末 2 秒的 iEMG 和 MF 原始值分别作为 iEMG 和 MF 指标的参照值 X_1 ; 再将随后截取的 10 段 sEMG 信号中每一段末 2 秒的 iEMG 和 MF 指标的原始值 X_i ($i=1, 2, 3, \dots, 10$) 分别除以各自的参照值 X_1 , 得到 iEMG 和 MF 指标的标准化值 X'_i

($i=1, 2, 3, \dots, 10$); 最后将 X'_i 的值乘以 100%, 即以 % 形式表示^[2,5]。

$$X'_i = \frac{X_i}{X_1} \times 100\% \quad (i=1, 2, 3, \dots, 10)$$

1.6 运动学参数的采集与分析

在受试者的关节中心部位贴上明显的反光标, 用辐射式框架对 2 台摄像机 (SONY, DCR-HC96E) 定标后, 运用三维立体摄像技术对整个跑至力竭过程进行全程拍摄, 摄像机距拍摄中心 12 m, 两摄像机主光轴夹角 110° , 两台相机采用闪光同步。将跑至力竭过程分为三个阶段: 第一阶段 (30%) 为负荷适应期; 第二阶段 (40%) 为疲劳发展期; 第三阶段 (30%) 为疲劳末期, 即力竭期。图像剪辑时, 在每个阶段又按等距剪辑 5 个完整的步态周期, 以能较好地代表跑至力竭的三个阶段^[6]。

用 SIMI-MOTION 录像解析系统对运动图

像进行数字处理,使用汉纳范人体模型,所得数据进行滤波平滑,截断频率 10 Hz。构建相关角度,对每格画面中人体的 17 个关节点进行数字化,进行解析和计算,对获得的原始数据进行平滑处理得出本研究所需要的数据。在 SIMI-MOTION 录像解析系统中构建本研究涉及的关节角度及其定义,包括:肘关节角度 θ_1 ,肩关节角度 θ_2 ,髋关节角度 θ_3 ,膝关节角度 θ_4 ,踝关节角度 θ_5 ,以及躯干扭转角度 α_1 和躯干前倾角度 α_2 ,如图 2 所示^[2,6]。

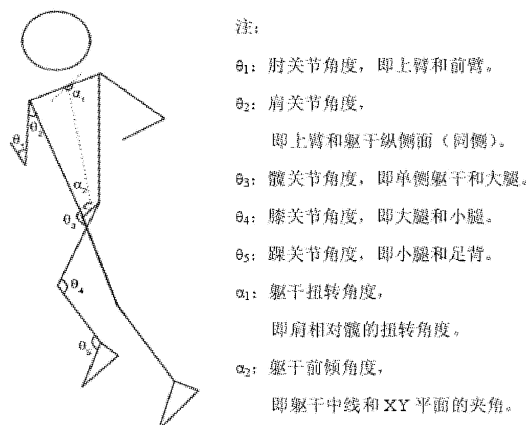


图2 跑至力竭运动涉及的关节角度及其定义图

1.7 数据统计及处理

应用 SPSS 13.0 软件对所有实验数据进行统计分析,以平均值±标准差 ($\bar{x} \pm S$) 表示。采用单因素方差分析考察外加不同紧身压迫在跑至力竭运动中对下肢肌肉活动的影响。以轻度紧身压迫时各相邻时段 iEMG (%) 和 MF (%) 值的变化幅度为基准,采用 LSD 法进行不同紧身压迫度均值的 Post Hoc (事后多重比较) 检验^[5],统计检验水准 $\alpha=0.05$,显著性水平为 $P<0.05$,极显著性水平为 $P<0.01$ 。

2 研究结果

在跑至力竭运动中,将受试者下肢主要肌群全程中所采集到的 11 段 sEMG 信号依次记为 S11—S1,即 S1 段结束后,下肢肌肉处于力竭状态。

2.1 跑至力竭的肌电特征

2.1.1 不同束缚压时下肢肌 iEMG (%) 值的变化

跑至力竭运动中,下肢主要发力肌群 iEMG (%) 值在 3 种不同外加束缚压下的整体变化趋势如图 3 所示。将 S10—S1 分别与 S11 的 iEMG (%) 值进行比较发现,各组的 iEMG (%) 值整体均普遍随时间延长而呈现出先增大后减小的趋势 ($P<0.05$)。

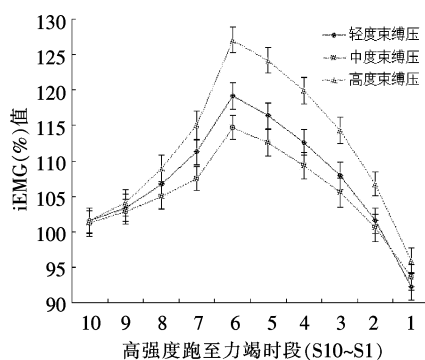


图3 不同束缚压跑至力竭的 iEMG (%) 值变化示意图 ($P<0.05$)

此外,从图 3 还可观察到各坐标系中曲线随时间变化的斜率不同,即各组 iEMG (%) 值随时间变化的幅度有差异。这表明紧身压迫度的高低可能对跑至力竭运动过程中下肢肌 iEMG 指标的变化程度有影响,故进一步对各组在疲劳期的 iEMG (%) 值降低幅度进行事后多重比较检验。表 2 结果显示:中度较轻度束缚压的 iEMG (%) 值降低幅度有所减少,且在 S3—S1 时段具有显著性差异 ($P<0.05$);而高度较轻度束缚压的 iEMG (%) 值降低幅度则有所增加,且在 S3—S1 时段具有显著性差异 ($P<0.05$)。

表2 不同束缚压跑至力竭的 iEMG (%) 值降低幅度差异一览表 ($n=12$)

时段	轻度束缚压	中度束缚压	高度束缚压
S6—S5	2.75±0.16	2.12±0.08	2.84±0.21
S5—S4	3.78±0.22	3.21±0.20	4.30±0.39
S4—S3	4.72±0.35	3.81±0.27	5.61±0.43
S3—S2	6.35±0.29	5.01±0.36▲	7.52±0.47▲
S2—S1	9.28±0.37	6.95±0.42▲	10.90±0.61▲

注:▲表示与轻度束缚压 iEMG (%) 值的降低幅度相比具有显著性差异 ($P<0.05$)。

2.1.2 不同束缚压时下肢肌 MF (%) 值的变化

高强度跑至力竭运动过程中, 下肢主要发力肌群 MF (%) 值在 3 种不同外加束缚压下的整体变化趋势如图 4 所示。将 S10—S1 分别与 S11 的 MF (%) 值进行比较发现, 各组的 MF (%) 值整体均普遍随时间延长而逐渐下降 ($P<0.05$)。

此外, 从图 4 还可观察到各坐标系中曲线随时间变化的斜率不同, 即各组 MF (%) 值随时间降低的幅度有差异。这表明紧身压迫度的高低可能对高强度跑至力竭运动过程中下肢肌 MF 指标的变化程度有影响, 故进一步对各组在疲劳期的 MF (%) 值降低幅度进行事后多重比较检验。

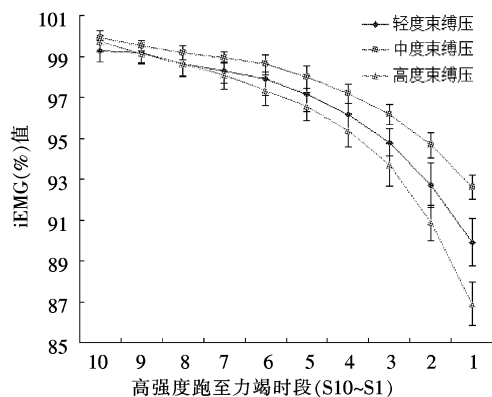


图 4 不同束缚压跑至力竭的 MF (%) 值变化示意图 ($P<0.05$)

表 3 结果显示: 中度较轻度束缚压的 MF (%) 值降低幅度有所减少, 且在 S3—S1 时段具有显著性差异 ($P<0.05$); 而高度较轻度束缚压的 MF (%) 值降低幅度则有所增加, 且在 S3—S1 时段具有显著性差异 ($P<0.05$)。

表 3 不同束缚压跑至力竭的 MF (%) 值降低幅度差异一览表 ($n=12$)

时段	轻度束缚压	中度束缚压	高度束缚压
S6—S5	0.71±0.11	0.65±0.12	0.82±0.17
S5—S4	0.98±0.15	0.81±0.17	1.15±0.28
S4—S3	1.39±0.46	1.02±0.25	1.71±0.34
S3—S2	2.07±0.53	1.49±0.39▲	2.82±0.51▲
S2—S1	2.81±0.60	2.06±0.47▲	3.96±0.68▲

注: ▲表示与轻度束缚压 MF (%) 值的降低幅度相比具有显著性差异 ($P<0.05$)。

2.2 跑至力竭的运动学特征

2.2.1 不同束缚压疲劳期的步长、步频变化

由于跑台速度恒定, 步长、步频只受步态周期单步时间的影响, 单步时间为同侧支撑时间和腾空时间之和^[7]。三种不同束缚压下, 下肢疲劳期的步长、步频变化及其比较见表 4。结果显示, 下肢肌肉力竭前, 随着外加压迫度的增加, 从右脚着地到左脚着地的单步步长逐渐增大, 步频则逐渐减慢; 而另一侧的单步步长逐渐减小, 步频逐渐加快。

表 4 不同束缚压疲劳期的步长、步频变化一览表 ($n=12$)

指标	轻度束缚压	中度束缚压	高度束缚压	P
步长/m	右—左	2.06±0.04	2.10±0.03	0.015
	左—右	2.15±0.04	2.12±0.04	0.030
步频/(step/s)	右—左	3.08±0.09	3.01±0.06	0.006
	左—右	2.94±0.04	2.98±0.07	0.040

2.2.2 不同束缚压疲劳期的重心变化

研究选取单个跑步步态周期, 对重心在冠状轴 X、矢状轴 Y、垂直轴 Z 三方向上的位移, 以及重心移动总距离四项数据进行分析。三种不同束缚压下, 下肢处于疲劳期的人体重心移动变化及其比较见表 5。结果显示, 下肢肌肉力竭前,

随着外加压迫度的增加, 人体重心在 X 轴、Y 轴上的位移均减小, 重心移动总距离也减小 ($P<0.05$); 而重心在 Z 轴上的移动则无规律性变化 ($P>0.05$), 但左右下肢却存在显著性差异 ($P<0.05$)。

表5 不同束缚压疲劳期的重心移动变化一览表

cm

指标	轻度束缚压	中度束缚压	高度束缚压	<i>P</i>
重心位移(X轴)	2.69±0.22	2.33±0.32	1.84±0.31	0.001
重心位移(Y轴)	3.73±0.73	3.18±0.59	2.41±0.49	0.001
重心位移(Z轴)	8.38±1.80	9.78±3.74	7.50±2.14	0.562
	7.12±1.21▲	6.19±2.70▲	7.07±1.54▲	0.560
重心距离	36.12±4.30	33.20±4.02	30.13±4.83	0.039

注：▲表示左右侧进行比较具有显著性差异 ($P<0.05$)。

2.2.3 不同束缚压疲劳期的关节角度变化

对单个步态周期中，脚着地、离地瞬间的下肢髋关节、膝关节和踝关节在不同束缚压疲劳期的角度变化进行分析，分别见表6、表7和表8。结果显示，下肢肌肉力竭前，随着外加压迫度的增加，除左腿着地瞬间的髋关节角度出现增大之

外，其余时刻髋关节角度均呈减少趋势 ($P<0.05$)；右腿着地和左腿离地瞬间的膝关节角度减小，右腿离地和左腿着地瞬间的膝关节角度增大 ($P<0.05$)；踝关节角度呈现不规则变化，无统计学意义 ($P>0.05$)。

表6 不同束缚压疲劳期的髋关节角度变化一览表

(°)

时间点	轻度束缚压	中度束缚压	高度束缚压	<i>P</i>
右着地瞬间	162.59±4.67	161.3±4.94	156.28±3.62	0.023
右离地瞬间	176.41±1.47	174.61±1.99	171.78±2.66	0.001
左着地瞬间	148.47±2.42	149.93±3.06	154.03±1.96	0.001
左离地瞬间	176.07±2.73	174.55±2.06	171.07±2.11	0.001

表7 不同束缚压疲劳期的膝关节角度变化一览表

(°)

时间点	轻度束缚压	中度束缚压	高度束缚压	<i>P</i>
右着地瞬间	169.88±4.30	166.75±5.46	161.30±6.00	0.013
右离地瞬间	139.75±9.65	143.97±4.44	154.18±3.25	0.003
左着地瞬间	158.12±2.51	158.31±2.15	162.49±3.42	0.006
左离地瞬间	159.44±2.63	154.70±3.87	152.09±5.44	0.006

表8 不同束缚压疲劳期的踝关节角度变化一览表

(°)

时间点	轻度束缚压	中度束缚压	高度束缚压	<i>P</i>
右着地瞬间	99.37±1.84	97.50±1.90	94.16±8.11	0.125
右离地瞬间	120.64±2.09	116.85±6.54	114.46±9.27	0.368
左着地瞬间	99.82±2.41	99.10±3.62	98.05±9.56	0.843
左离地瞬间	123.30±2.40	123.08±3.38	116.61±9.89	0.216

2.2.4 不同束缚压疲劳期的躯干前倾及扭转角度变化

躯干中线和水平面的夹角 α_2 为躯干前倾角度；身体扭转过程中左、右髋与左、右肩之间的投影夹角，即肩相对髋的扭转角度 α_1 为躯干扭

转角。两者在不同束缚压疲劳期的角度变化见表9和表10。结果显示，下肢肌肉力竭前，随着外加压迫度的增加，躯干前倾角度和躯干扭转角度的变化均无规律可循，无统计学意义 ($P>0.05$)。

表9 不同束缚压疲劳期的躯干前倾角度变化一览表

(°)

时间点	轻度束缚压	中度束缚压	高度束缚压	P
右着地瞬间	77.16±1.32	78.59±2.28	77.60±1.38	0.306
右离地瞬间	79.47±2.03	77.04±2.96	79.12±1.60	0.109
左着地瞬间	77.67±1.16	78.46±1.93	77.92±3.31	0.522
左离地瞬间	76.95±1.48	77.42±1.85	77.04±1.26	0.678

表10 不同束缚压疲劳期的躯干扭转角度变化一览表

(°)

时间点	轻度束缚压	中度束缚压	高度束缚压	P
右着地瞬间	147.48±4.27	143.90±9.23	153.78±6.25	0.544
右离地瞬间	149.43±6.28	147.81±8.62	151.26±6.11	0.632
左着地瞬间	149.28±6.07	148.35±7.22	151.11±4.99	0.609
左离地瞬间	150.47±4.34	150.16±6.21	151.72±5.61	0.837

2.3 紧身压迫对跑类项目运动成绩的影响

每位受试者在下肢分别身着轻度紧身裤、中度紧身裤、高度紧身裤状态下,进行100米、400米、800米等项目的测试,并重复测量3次。

表11结果显示:在100米、400米、800米跑三项径赛类项目中,运动员分别身着不同压迫度紧身裤的运动成绩之间均无显著性差异($P>0.05$);但也应注意到,100米、400米跑项目时间,高度紧身裤均有低于轻度紧身裤的趋势($P=0.055-0.060$);800米跑项目时间,中度紧身裤有低于轻度紧身裤的趋势($P=0.052$),而高度紧身裤则有高于轻度紧身裤的趋势($P=0.061$)。

表11 不同紧身压迫对田径跑类项目运动成绩的影响一览表

s

项目	轻度紧身裤	中度紧身裤	高度紧身裤
100米	11.43±0.32	11.41±0.27	11.38±0.25
400米	55.29±1.73	54.67±1.08	53.82±1.21
800米	126.50±3.79	124.97±3.24	129.60±4.35

3 分析与讨论

本实验通过表面肌电信号时域指标iEMG和频域指标MF探索高强度跑至力竭运动中,不同程度紧身压迫对下肢主要发力肌群活动及力竭特征的影响效应。结果发现,低、中、高三种紧身压迫下的iEMG(%)值均普遍随疲劳时间延长而呈现出先增大后减小的趋势,MF(%)值均普遍随疲劳时间延长而逐渐下降;且在疲劳后期至力竭,中度较轻度束缚压的iEMG(%)和

MF(%)值降低幅度有所减少,而高度较轻度束缚压的iEMG(%)和MF(%)值降低幅度则有所增加。

结果表明,在高强度跑至力竭运动后期,中度外加紧身压迫对维持外周运动单位动作电位传导和骨骼肌的收缩均有一定积极作用。考虑其内在机制可能是皮肤和骨骼肌中毛细血管的血流量会随外部机械压力在局部范围内的增加(没有超过某一压迫阈值)而增加^[8],体表处的外加压迫有助于促进运动员下肢的静脉血液回流,使心输出量在疲劳期不至于下降太快;并通过改善微循环,提升肌肉组织内的氧化作用水平,而使运动员的有氧运动能力得以保持^[5]。Sear研究表明,运动员在跑动过程中,身穿紧身服时肌肉内的平均氧化指数比宽松服要高^[9];Scanlan研究表明,压力裤在长时间踏蹬运动中,可有效保持运动员肌肉内氧气的利用率^[10]。此外,Chatard等人研究表明,在高强度训练后的恢复期,给运动员套上压力长袜后,体内的血乳酸程度有所下降,促进了疲劳的消除^[11]。

从结果还看出,在高强度跑至力竭运动后期,高度外加紧身压迫未显示出延缓骨骼肌疲劳和保持运动能力的效用,而且有降低运动单位电传导速率和加速肌疲劳的趋势。考虑其主要原因可能是:①高强度运动负荷会迫使机体肌肉组织的氧耗量和供血量大幅增加;此时体表过高的外部机械压力(超过某一压迫阈值)将进一步加大骨骼肌内部的微血管形变,导致毛细血管内的血流受阻,总量减少,降低了肌肉总的供氧量,同时也减慢了乳酸等代谢废物的清除速率,引起疲

劳发展进程加快。②高度紧身压迫在跑至力竭过程中极易引发下肢肌肉的超负荷牵拉,腱器官的传入信息引起 Ib 中间神经元兴奋,致使支配运动肌群的运动神经元发生双突触抑制;而且,跑至力竭过程中未及时清除的代谢产物逐渐堆积,使Ⅲ、Ⅳ类躯体感觉传入神经纤维传导的冲动增加,脊髓 α -运动神经元就会受到通过脊髓或其上位中枢内的 Ia 抑制性中间神经元的抑制^[5,12]。

同时,运用三维立体摄像技术对整个跑至力竭过程的运动学特征进行研究,发现从疲劳期的步长、步频及重心变化来看,一定程度的外加压迫,有助于改善疲劳引起的两侧肢体动作不均衡性,降低跑动中的身体晃动程度;从疲劳期的关节角度变化来看,一定程度的外加压迫,可以缓解优势侧右下肢依靠减小膝关节角度来补偿蹬伸力量的趋势,同时也能减缓脚离地瞬间肢体通过增加髋关节角度和延长蹬伸时间来控制下肢运动效率的程度;但并未发现躯干前倾和扭转角度随外加压迫有任何规律性的变化。

实证研究考察了 100 米、400 米、800 米跑三项运动中,梯度压缩式紧身裤对运动员比赛成绩的影响,结果未发现运动成绩之间有显著性差异,但不同外加紧身压迫却呈现对运动表现有一定影响的趋势,初步考虑这可能与受试(国家二级运动员)自身的专项技术等级水平不高有关。

分析认为,800 米跑为无氧和有氧混合供能模式,高度紧身压迫有可能导致目标肌肉供氧量下降、乳酸等代谢废物清除速率减慢、加速疲劳的趋势;而中度紧身压迫则可以加速微循环和乳酸等代谢废物的清除,维持肌肉组织内的氧化作用水平,从而有延迟肌疲劳的趋势^[6]。100 米和 400 米跑是磷酸原和糖酵解系统供能,均属于无氧代谢能量供应模式。因此,高度紧身压迫不存在降低肌肉供氧量的问题,反而会为高速奔跑运动中的肌肉提供物理支持,减少软组织振动,以及增强人体交感神经兴奋,有提升肌肉活动效率的趋势。

4 结论

(1) 无氧和有氧混合供能模式的高强度跑至力竭过程中,中度外加紧身压迫对维持运动表现有一定程度的积极影响;而高度外加紧身压迫则在一定程度上会降低下肢骨骼肌组织总的血供和氧供,促进肌肉力竭。

(2) 无氧代谢供能模式的高强度跑至力竭过程中,高度外加紧身压迫更有助于为下肢肌群提供高速运动中的物理支持,减少软组织振动,增强人体交感神经兴奋,促进运动表现。

(3) 运动员自身的运动技术等级水平越高,外加紧身压迫对下肢高强度跑至力竭运动特征的影响效应越明显。

参考文献:

- [1] 傅维杰,刘宇,魏书涛,等. 紧身装备在体育科学领域的研究现状与展望[J]. 中国体育科技,2011,47(2)(2):114-120.
- [2] 陈金鳌. 不同程度紧身压迫对踏蹬运动中下肢 sEMG 变化特征的影响[D]. 苏州:苏州大学,2012.
- [3] 蔡娟娟. 紧身运动裤对运动机能的影响研究[D]. 苏州:苏州大学,2013.
- [4] 陆阿明,戴晓群,陈金鳌,等. 外加束缚在连续下蹲跳至力竭过程中对下肢肌肉活动的影响[J]. 体育科研,2014,35(1):39-43.
- [5] 陈金鳌,陆阿明,王国栋,等. 不同程度紧身压迫对踏蹬运动中股内侧肌 sEMG 变化特征的影响[J]. 体育科学,2012,32(7):22-31.
- [6] 王芳. 跑至疲劳过程中人体动作结构特征的变化规律[D]. 苏州:苏州大学,2009.
- [7] 陆阿明,王国栋,王芳. 运动性疲劳对跑运动学与下肢肌电的影响[J]. 体育科学,2012,32(6):44-49.
- [8] AGU O, BAKER D, SEIFALIAN A M. Effect of graduated compression stockings on limb oxygenation and venous function during exercise in patients with venous insufficiency [J]. Vascular, 2004, 12(1): 69-76.
- [9] SEAR J A, HOARE T K, SCANLAN A T, et al. The effects of whole-body compression garments on prolonged high-intensity intermittent exercise [J]. J Strength Cond Res, 2010, 24(7): 1901-1910.
- [10] SCANLAN A T, DASCOMBE B J, REABURN P R, et al. The effects of wearing lower-body compression garments during endurance cycling [J]. Int J Sports Physiol Perform, 2008, 3(4): 424-438.
- [11] CHATARD J C, ATLAOUI D, FARJANEL J, et al. Elastic stockings, performance and leg pain recovery in 63-year-old sportsmen [J]. Eur J Appl Physiol, 2004, 93(3): 347-352.
- [12] 王国祥. 电刺激诱发胫骨前肌疲劳过程中诱发肌电图的变化特征[J]. 体育与科学,2004,25(6): 65-68.

Effect of Outside Imposed Tight Compression on Characteristics of Lower Limbs' High-intensity Exhaustive Running Exercise

CHEN Jin-ao^{1,2}

(1. School of Physical Education, Changzhou University, Changzhou 213164, China;

2. School of Physical Education, Soochow University, Suzhou 215021, China.)

Abstract: *Objective:* In the high-intensity exhaustive running exercises, this article discusses the effect of outside imposed tight compression on the exercise characteristics of lower limbs and on the actual athletic performance, in order to understand the relationship between tight sportswear and athletic performance and its inner mechanism and provide reference for the design and use of tight sports equipment. *Methods:* randomly select 12 male athletes as the subjects to finish high-intensity exhaustive running exercises respectively with slight, moderate and great tight compression, use the methods of sEMG and video analysis for data collection of the main powering muscle groups, and then conduct statistical analysis. *Results:* 1) In the process of a combination of anaerobic and aerobic power mode, moderate tight compression has a certain degree of positive influence to maintaining physical activity, while great tight compression would promote muscle fatigue. 2) In the process of high-intensity exhaustive running exercises with anaerobic metabolism power mode, great tight compression would be more helpful to improve athletic performance. 3) The higher the technical levels of athletes are, the more obvious the effect of outside imposed tight compression on the exercise characteristics of lower limbs is.

Key words: tight sportswear; tight oppression; high intensity running; sEMG; athletic performance; exhaustion