

# 马拉松不同水平业余男子选手训练学和肌力特征比较

杨涛

**摘要:**对完成2016年北京马拉松、上海国际马拉松的258名男性业余选手赛前1周内进行训练学特征问卷和体能测试,将规定时间完成比赛且赛后1周完成伤病排查随访者193人纳入研究。根据2018年新增分级标准:A组118人、B组65人、C组10人。结果显示,周训练平均配速3组间均存在显著差异[A组(9.6±3.4) km/h、B组(11.8±4.0) km/h、C组(13.7±6.4) km/h];安排抗阻训练A组(56.2%)与B组(66.2%)和C组(70.7%)存在显著差异;安排间歇训练3组间均存在显著差异(A组40.6%、B组50.2%、C组69.8%)( $P < 0.05$ );单腿跳相对值和单腿跳对称性A组(78.53%±12.43%、73%±13%)与B组(85.37%±12.80%、81%±14%)、C组(91.70%±11.43%、87%±12%)间存在显著差异;卷腹次数C组(61.00±62.27)次与A组(24.90±27.91)次、B组(35.95±26.40)次间存在显著差异( $P < 0.05$ )。表明不同级别业余马拉松选手的主要训练差异为抗阻训练和间歇训练的参与度,与成绩相关的肌力特征指标有单腿跳相对值、单腿跳对称性和卷腹次数,下肢刚度未见差异。

**关键词:** 马拉松;训练学特征;肌力特征;单腿跳;下肢刚度;卷腹

中图分类号:G808 文献标志码:A 文章编号:1006-1207(2019)05-0029-07

DOI:10.12064/ssr.20190504

## A Comparative Study on Athletic Training and Muscle Strength Characteristics of Male Amateur Marathoners at Different Levels

YANG Tao

(Shanghai University of Sport, Shanghai 200438, China)

**Abstract:** This study conducted an athletic training questionnaire among 258 male amateurs who completed the 2016 Beijing Marathon and Shanghai International Marathon and physical fitness tests. 193 people who completed the match within the specified time and meanwhile completed the injury investigation within a week after the match were included in the study. According to the new grading standards in 2018: 118 people are listed in Group A, 65 in Group B, 10 in Group C. The results showed that there were significant differences among the three groups in the weekly training rate [Group A (9.6±3.4) km/h, Group B (11.8±4.0) km/h, Group C (13.7±6.4) km/h]; there was a significant difference in resistance training between Group A (56.2%) and Group B (66.2%), Group C (70.7%); there were significant differences ( $P < 0.05$ ) in interval training among the three groups (Group A 40.6%, Group B 50.2%, Group C 69.8%); there was a significant difference in hopping relative value and symmetry between Group A (78.53%±12.43%, 73%±13%), and Group B (85.37%±12.80%, 81%±14%), Group C (91.70%±11.43%, 87%±12%); and there was a significant difference ( $P < 0.05$ ) between Group C (61.00±62.27) times and Group A (24.90±27.91) times, Group B (35.95±26.40) times. The study shows that the major training differences of amateur marathoners at different levels are the participation in resistance training and interval training; the muscle strength characteristics related to sports performance include the hopping relative value and symmetry as well as the number of crunches; and there is no difference in the lower limb stiffness.

**Key Words:** marathon; training characteristics; muscle strength characteristics; hopping; lower limb stiffness; crunch

收稿日期:2019-08-19

基金项目:上海市体育局科技综合计划项目(16Z007)。

作者简介:杨涛,男,博士,副教授。主要研究方向:运动医学。E-mail:yangtao318@126.com。

作者单位:上海体育学院,上海 200438。



## 0 前言

近年来,国内马拉松参赛的人数逐年增加,业余选手由于缺乏训练经验和科学系统的周期安排,在赛后出现髌腱炎、髂胫束综合征和足底筋膜炎、跟腱炎等肌肉韧带损伤的比率不断上升<sup>[1]</sup>。肌肉韧带损伤的最根本原因就是地面的反作用力超过出跑者的承受范围。跑步时,地面的反作用力是跑者脚蹬地时由地面反作用到跑者身上的力,反映了受试者支撑阶段的功能和力的需要,是分析跑者跑步过程动力学变化的重要参考指标。李斐研究发现,随着跑步速度的提高,跑者的平均地面反作用力逐渐增加,从3.33 m/s的2.67倍体重提升到4.44 m/s的2.92倍体重<sup>[2]</sup>。因此,在现有的赛前体检、赛中监督和医疗救助之外,根据参赛选手的肌力特征提供一个安全的平均配速建议,为降低肌肉韧带损伤建立一道安全的屏障具有较大的实用意义。

现有研究证实,最大摄氧量(Maximal Oxygen Uptake,  $VO_{2max}$ )、乳酸阈(Lactate Threshold, LT)和跑步经济性(Running Economy, RE)这3项生理学指标是决定耐力运动表现的关键因素,它们对于运动员的跑步成绩影响占比达70%<sup>[3]</sup>。其中,对 $VO_{2max}$ 和LT水平的研究较多,但长跑选手在经过多年训练后 $VO_{2max}$ 和LT水平会达到生理瓶颈。RE是指在次大强度下奔跑,机体达到稳定状态时维持特定跑速所需要的氧气消耗量,它反映了人体在次最大速度下的能量消耗以及能量转换的效率,通常用单位体重奔跑1 km所消耗的氧气量表示( $mL/kg/km$ )<sup>[4]</sup>。影响RE的要素包括生理学因素、形态学因素、生物力学因素、神经肌肉因素和训练因素<sup>[5-6]</sup>。其中神经肌肉功能的改善是提高RE的重要机制<sup>[7]</sup>。目前的研究指出,最大力量<sup>[8-13]</sup>、爆发力<sup>[14-16]</sup>和超等长训练<sup>[17-19]</sup>可以带来上述神经肌肉功能的改善,提高运动员RE。李斐研究发现,1RM最大力量,CMJ纵跳高度,峰值功率和力量发展速率等神经肌肉功能的改善提高了运动员在12~14 km/h跑速下RE<sup>[2]</sup>。

跑步是一项全身性运动,主要依赖下肢交替触地获得地面的反作用力作为前进的动力,因此,单腿下肢的离心力量是跑步的关键素质。单脚跳(single-leg hop for distance)是目前最常采用的神经肌肉控制评价指标,可以反映力量、爆发和姿势稳定性的整体水平。Emma L. Millett认为下肢刚度(lower extremity stiffness)是量化下肢压缩的幅度与外加负荷之间关系的指标<sup>[20]</sup>。Brughelli建议适量的下肢刚度对于成功的运动表现是必需的,过大或过小都会是

有害的并且还有可能增加损伤<sup>[21]</sup>。本研究通过对业余选手赛前的训练和肌力特征进行调查和测试,对于完善马拉松选手安全配速模型具有重要的意义。

## 1 研究对象与方法

### 1.1 研究对象

从2016年至2017年报名参加北京马拉松、上海国际马拉松和广州马拉松的参赛者中招募志愿者,纳入标准为:(1)年龄20~45岁的男性全马参赛者;(2)完成赛前随访表和体能测试的知情同意书;(3)跑团组织或协会会员。初始纳入253名,退赛或未在规定时间内完成比赛者47名,赛后一周出现自主报告损伤者13名。最终纳入193名。基本信息见表1。

表1 研究对象基本信息(N=193)( $\bar{X}\pm SD$ )

Table I Basic Information of the Subjects (N=193)( $\bar{X}\pm SD$ )

年龄/年	身高/cm	体重/kg	BMI/ $kg\cdot m^{-2}$	全马成绩/min
36.04±8.46	174.04±5.66	69.39±11.93	22.87±5.06	2 238.60±40.83

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 文献研究、专家访谈

以“marathon”“performance”“assessment”“test”“injury”为关键词,检索<http://journals.lww.com/nsca-jscr/pages/default.aspx>、PUBMED和中国知网近10年的相关文献,遴选与长距离耐力跑成绩和损伤相关的体能评估指标,包括YBT测试(Y-Balance Test)、单腿跳、下肢刚度和卷腹。设计专家访谈问卷表,向国内从事长跑训练的知名教练员和优秀长跑运动员进行问卷调查,确定训练学调查指标。

#### 1.2.2 赛前随访

赛前2周对初始纳入的研究对象进行训练学调查,包括近6周备战阶段内的伤病史、周跑量、频率、平均配速,以及是否进行抗阻和高强度间歇训练。并签署测试知情同意书。

#### 1.2.3 肌力特征测试

赛前1~2周对初始纳入的研究对象进行肌力特征测试,测试前的准备:测试前一周告知所有受试者具体的测试内容,讲授具体的测试要求,进行练习,确保受试者熟悉测试动作,在没有疲劳的情况下完成测试,并对所有测试人员进行培训(熟悉流程,统一标准,明确分工)。

##### 1.2.3.1 YBT测试

正式测试之前对每条腿在3个方向上分别进行



6次拉伸练习,测试时,测试者需要将鞋脱掉,单腿站立在踏板上,脚尖正好在红色起始线的后面。保持单腿站立的同时,悬空腿相对于站立腿向前、后中及后外侧延伸;测试者站立在台子上,脚趾在线后,然后推测试方向上红色区域内的指示标。测试距离按照脚趾末端所到达的指示标末端的标尺读数为准,单位为0.5 cm,两腿均进行测试;发生以下情况,需重新进行测试:(1)未能保持在台子上单脚站立;(2)悬空脚不是触到目标区域的刻度尺而是踢刻度尺;(3)依靠刻度尺站立,如将脚放在刻度尺顶部;(4)未能将悬空脚恢复到起始位置。记录3个方向上的最大伸够距离,代入公式:平衡指数 $= (X+Y+Z) \div 3 \times$ 下肢长度。

#### 1.2.3.2 单脚跳

受试者单脚站立,然后尽可能地向前跳跃,用相同脚支撑落地(手部动作不作要求),保持稳定姿势2s,双腿均完成两次测试取最高值。记录最大距离/身高和双侧对称性(LSI, 优势腿成绩/劣腿成绩 $\times 100\%$ )。

#### 1.2.3.3 卷腹测试

受试者仰卧垫上,屈膝 $90^\circ$ ,双臂至于身体两侧地板,掌心向下,手指触及标记带,第二标记点位于12 cm处;节拍器频率设为40次/分钟,记录完成的最大次数。

#### 1.2.3.4 下肢刚度

采用 ERGO CONTACT MAT (意大利),将 CONTACT MAT 自带的数据线 with ERGO TESTER 手持终端的 jump 插口相连接。开机—选择 jump—stiffness—设定次数—开始测试。受试者听到预备口令后站于纵跳垫上,双手位于髋关节两侧、膝关节微屈、躯干正直,开始进行10次连续跳,要求落地后迅速起跳,并在垫上停留尽可能短的时间。系统自动记录每一次跳跃的触地时间、滞空时间、高度、功率和下肢刚度等数据。

#### 1.2.4 赛后随访

赛后1周内完成电话随访,了解比赛成绩以及赛中和赛后的损伤情况。跑步损伤被定义为参与者自己报告的下肢(臀部、腹股沟、大腿、膝、小腿、踝、脚和脚趾)肌肉、关节、肌腱和/或骨骼的损伤,或这个问题已严重到足以导致跑步的距离、速度、持续时间或频率的减少。对最终纳入研究的193人根据2018年新增分级标准五级进行分组:A组118人(3 h 56 min以上完成比赛,无级别)、B组65人(3 h 56 min内完成比赛,六级水平)、C组10人(3 h 31 min内完成比赛,五级水平)。

### 1.3 数据处理

计量数据资料采用均数( $\bar{X}$ )、标准差(SD)、范围(range)、百分比(%)和例数(N)表示,计数资料用频数(frequencies)和百分比(%)表示。连续性变量计算平均值和标准差以及数值范围,离散性变量计算中位数和百分比。对于连续性数据,是否符合正态分布采用 Kolmogorov Smirnov 检验予以验证。组间样本比较采用单因素方差分析,两组连续变量采用皮尔森相关分析, $P < 0.05$ 认为具有统计学意义。统计分析采用 SPSS19.0 进行。

## 2 结果

### 2.1 训练学特征比较

不同配速组每周跑量、周训练时间、频率、训练年限、周每次课训练量均无组间差异;周训练平均配速3组间均存在显著差异[A组为 $(9.6 \pm 3.4)$  km/h、B组为 $(11.8 \pm 4.0)$  km/h、C组为 $(13.7 \pm 6.4)$  km/h];安排的抗阻训练A组(56.2%)与B组(66.2%)和C组(70.7%)存在显著差异;安排的间歇训练3组间均存在显著差异(A组40.6%、B组50.2%、C组69.8%)( $P < 0.05$ ),且存在配速越高,数值越高的趋势,见表2。

### 2.2 肌力特征比较

不同配速组 YBT 和下肢刚度值组间无显著差异;单腿跳相对值和单腿跳对称性A组为 $78.53\% \pm 12.43\%$ 、 $73\% \pm 13\%$ 与B组的 $85.37\% \pm 12.80\%$ 、 $81\% \pm 14\%$ 、C组的 $91.70\% \pm 11.43\%$ 、 $87\% \pm 12\%$ 间存在显著差异;卷腹次数C组为 $(61.00 \pm 62.27)$ 次与A组的 $(24.90 \pm 27.91)$ 次、B组的 $(35.95 \pm 26.40)$ 次之间存在显著差异( $P < 0.05$ ),见表3。

## 3 分析讨论

### 3.1 训练学特征

#### 3.1.1 专项训练负荷

Kretsch 等人建议马拉松参赛者在比赛前2~3个月平均每周至少跑60 km,以尽量减少比赛中的伤病风险<sup>[22]</sup>。然而,Macera 等认为每周跑60 km以上的跑步者将面临更大的风险<sup>[23]</sup>。M. Van Middelkoop 的研究中将周跑量大于60 km作为一个风险因素,但结果发现,每周跑距离超过60 km的跑步者中有27%受伤,而每周跑距离0~40 km的受伤跑步者占30.5%<sup>[24]</sup>。因此,马拉松赛前3个月的每周跑量与发生损伤之间的关系尚不明确,这可能还与跑者的肌



表 2 不同平均配速组间的训练特征指标比较 ( $\bar{X}\pm SD$ )

Table II Comparison of Training Characteristics Indicators between Different Groups ( $\bar{X}\pm SD$ )

训练因素	全体	A	B	C
每周跑量 /km	55.2±18.3	53.4±5.2	56.3±2.3	58.9±7.9
每周跑量 >60 km	18.6%	16.7%	17.1%	20.4%
周训练时间 /h	5.4±4.3	5.4±3.9	5.5±1.8	5.5±3.8
周训练频率 / 次	3.9±1.1	3.8±1.2	4.0±2.1	4.1±2.7
训练年限 / 年	10.8±8.9	10.8±10.4	10.9±7.9	9.3±5.6
周训练的平均配速 / (km·h <sup>-1</sup> )	10.4±2.6	9.6±3.4	11.8±4.0 <sup>*A</sup>	13.7±6.4 <sup>*AB</sup>
周每次课的训练量 /km	15.4±4.3	15.2±3.6	15.9±7.4	16.9±8.3
是否系统抗阻训练(是)	65.4%	56.2%	66.2% <sup>*A</sup>	70.7% <sup>*A</sup>
是否高强度间歇训练(是)	43.4%	40.6%	50.2% <sup>*A</sup>	69.8% <sup>*AB</sup>

注: A 为平均配速 10.5 km/h 以下, B 为 10.5~12 km/h, C 为 12 km/h 以上; \* 代表与其他组间具有显著性差异 (P<0.05)

表 3 不同平均配速组间肌力特征指标比较 ( $\bar{X}\pm SD$ )

Table III Comparison of Muscle Strength Characteristics Indicators between Different Groups ( $\bar{X}\pm SD$ )

肌力特征	A	B	C
YBT/%	98±8	97±5	98±7
单腿跳 / 身高 /%	78.53±12.43	85.37±12.80 <sup>*A</sup>	91.70±11.43 <sup>*A</sup>
单腿跳对称 /%	73±13	81±14 <sup>*A</sup>	87±12 <sup>*A</sup>
卷腹 / 次	24.90±27.91	35.95±26.40	61.00±62.27 <sup>*AB</sup>
下肢刚度 / (Nm·kg <sup>-1</sup> )	676.38±221.14	677.70±210.27	681.27±233.81

注: A 为平均配速 10.5 km/h 以下, B 为 10.5~12 km/h, C 为 12 km/h 以上; \* 代表与其他组间具有显著性差异 (P<0.05)

力和训练水平有关。本研究中,周跑量超过 60 km 的比率达到 18.6%,且平均配速越高比率越大,但由于本研究并未涉及损伤的病例对照研究。周训练的平均配速组间存在较大差异,且 C 组达到 13.7 km/h (3.8 m/s)说明赛前训练的强度较大,根据前文提及的平均配速下跑步时,单脚落地获得的地面反作用力已超过了 2.67 倍体重,提示参赛选手需要较好的单侧下肢离心力量。

### 3.1.2 抗阻训练

抗阻训练是力量训练最常见的形式之一,强调对抗外加的负荷进行训练,与之对应的就是利用自身体重进行的徒手力量训练。本研究中,不同配速组参与抗阻训练的比例存在显著差异,证明抗阻训练对于提高平均配速具有积极的作用。但整体参与度为 65.4%仍偏低,尤其 C 组选手也仅有 70.7%。在当前训练实践中,运动员主要存在两方面的认识误区:一是认为抗阻训练会使肌纤维数量增加以及肌肉出现过度肥大,导致运动员体重增加继而降低 VO<sub>2max</sub> 水平;二是认为长跑项目对肌肉力量的需求不大,无需占用专项耐力训练的时间来专门进行力量训练。即便系统地进行力量训练时,通常选择外部负荷强

度相对较低、重复次数较多的“力量-耐力训练”方式,但这种训练方式因为外部负荷较轻,完成动作速度较慢,在提升最大力量和肌肉功率等方面存在局限性,难以对骨骼肌肉功能产生足够刺激,引起积极适应性变化。目前,已有研究表明,在耐力训练计划中加入单一最大力量或超等长训练,可以在不影响运动员最大有氧能力的前提下,提高他们的长跑运动表现<sup>[25-26]</sup>。最大力量训练能更好地增加高阈值运动单位募集数目和同步性,提高肌肉协调和共同收缩能力,从而显著提升最大肌肉力量、爆发力和力发展速率<sup>[27]</sup>。这些骨骼肌肉能力的改善可以迁移到长跑运动员 RE 和运动成绩中。此外,系统从事力量训练还能够避免出现应力性损伤,延长跑步寿命。

### 3.1.3 间歇训练

高强度间歇训练 (HIIT) 是指采用等于或大于 VO<sub>2max</sub> 强度,运动时间一般在 3~5 min,间歇时间可选择 1:1 或 2:1 的训练方式<sup>[2]</sup>,被认为是提高有氧能力(最大耗氧量、VO<sub>2max</sub>)和无氧能力的一种省时策略。目前已成为无氧能力主导项目(如足球等)耐力训练的首选方法。尽管实践中对 HIIT 的兴趣日益增加,但其应用和机制仍未被理解。目前关于 HIIT 的文献<sup>[28]</sup>通常集中于 VO<sub>2max</sub>,在最大有氧速度 (MAV) 或以上进行间歇训练,在实验室测试中,MAV 被定义为产生 VO<sub>2max</sub> 的最小速度。这些训练强度分别称为标准和次最大强度的 HIIT<sup>[29]</sup>。本研究中,大部分受试者均未采用 MAV,而是通过 %HR<sub>max</sub> 来设定间歇计划,这在很大程度上会受到疲劳恢复、饮食和睡眠等因素的影响。尽管本研究中结果支持赛前进行间歇训练与马拉松平均配速存在正向关联,但并未能证实采用何种间歇比例、训练强度,以及训练模式适用于赛前的备战,相关预测和假设需要进一步予以研究证实。



## 3.2 肌力特征

### 3.2.1 BMI 指数

BMI 代表身体质量指数, 是一种最为便捷判断人体身体成分的指标。Saunders P. U. 等报道女性顶级马拉松运动员的平均 BMI 为  $18.3 \text{ kg/m}^2$  (平均体重  $45.6 \text{ kg}$ ; 平均身高  $1.58 \text{ m}$ )<sup>[30]</sup>, Knechtle B. 等的研究中男性顶级马拉松运动员的平均 BMI 为  $15.3 \text{ kg/m}^2$ <sup>[31]</sup>。美国运动医学学会 (ACSM) 认为 BMI 超过  $25 \text{ kg/m}^2$  均为超重<sup>[32]</sup>。本研究中的平均 BMI 为  $22.1 \text{ kg/m}^2$ , 超过该阈值的比例有  $12.5\%$ , 考虑到年龄的因素, 本研究中的运动员年龄偏大, 具有较高的 BMI 属于正常情况。不同配速组的 BMI 值并无显著差异, 提示该指标对于业余马拉松选手的成绩可能并无明显关联。但 BMI 的缺点在于, 它不能测量出人体的体脂百分率, 不能说明人体的重量分布, 而且在健身人群和专业运动人员中可能会导致分类的不准确 (正常、超重、肥胖)。因此, 关于不同配速的身体成分规律有待进一步研究。

### 3.2.2 YBT 测试

YBT 测试反映人体伸展姿势稳定能力, 重心偏移的临界值。过去的研究认为 YBT 得分与损伤关系密切, 与运动成绩关系并不明确<sup>[33]</sup>。平衡能力是身体对来自前庭器官、肌肉肌腱、关节内的感受器以及视觉等各方面刺激的协调能力, 它是人体运动及保持姿态精确完成技术动作的基本前提。一般认为, X 值左右脚差值超过  $4 \text{ cm}$ , 总分小于  $96\%$  则受伤风险增加, 但还缺少明确的实证支撑。Waldron 等的研究认为, YBT 的得分与肌肉力量素质和百米成绩无关<sup>[34]</sup>。本研究的结果显示, 几乎所有受试者的 YBT 得分均达到  $96\%$  以上, 且不同配速组间无差异。这与过去的研究结果一致。

### 3.2.3 单脚跳

单脚跳 (single-leg hop for distance) 是目前最常采用的神经肌肉控制评价指标, 可以反映力量、爆发和姿势稳定性的整体水平。已被 The International Knee Documentation Committee (IKDC) 纳入膝关节评估方案中<sup>[35]</sup>。对于单脚跳的成绩, 很多文献给出了参考值, 但由于样本较小, 数据相差较大。德国 MTT 康复体系认为, 运动员单脚跳成绩可以达到自己身高的  $90\%$  (男性)、 $80\%$  (女性) 即可认为可以重返赛场, 但缺乏相关文献支持。本研究结果显示, 3 个组的相对单腿跳均值分别达为  $78.53\%$ 、 $85.37\%$  和  $91.70\%$ , 并随着配速的增加, 单腿跳的成绩有增加的趋势 ( $P < 0.05$ ), 提示 A 组和 B 组选手整体下肢

肌力不足。单脚跳对称指数 (LSI) 常被用于从事高水平运动前的安全风险筛查, 两侧下肢单脚跳存在  $10\%$  以上的差异可以被认为是在运动能力上存在真正差异, 提示具有更高的受伤风险<sup>[36]</sup>。值得注意的是, 本研究的单腿蹲成绩均选取了其优势腿的值, 但对称性的结果均未达到  $90\%$ , 尤其是 A 组对称性均值仅为  $73.1\%$ 。这一结果提示, 受试者下肢肌力特征存在较大的缺陷。

### 3.2.4 下肢刚度

下肢刚度被定义为下肢抵抗阻力时变形的程度<sup>[37]</sup>, 通常通过最大地面反作用力与下肢长度变化的比率来计算。下肢刚度作为跑步时肌肉活动的综合表现形式之一, 反映了肌肉、跟腱和韧带作为一个整体储存和利用弹性势能的能力<sup>[38]</sup>。更大的腿刚度可以降低支撑阶段震动频率, 增加身体稳定性, 有效地保证能量传递并提高跑步过程中弹性势能的储存和利用, 降低跑步过程中的氧气消耗, 从而改善 RE<sup>[39]</sup>。在本研究中, 受试者下肢刚度值为  $(676.38 \pm 221.14) \text{ Nm/kg}$ , 但目前尚无同类数据进行对比分析。不同配速组的均值组间未见差异, 这存在两种可能: 一是赛前备战疲劳积累, 肌肉的紧张未被有效消除; 二是整体配速还较低, 未显示出组间的显著差异。

### 3.2.5 卷腹

卷腹测试则是反映不同的负荷条件下保持正确的腰-骨盆-髌复合体连接的能力, 称之为核心稳定性。核心稳定肌肉主要包括腰-骨盆-髌肌肉中的髌外旋肌、臀肌、腘绳肌、腹肌、腰方肌 (quadrates lumborum)、竖脊肌 (erector spinae) 和多裂肌 (multifidus)。研究表明, 如果核心肌肉力量和耐力不足, 运动员在进行重复跳跃时就会出现膝关节外翻程度增加的现象。同时, 女性运动员髌外展肌和髌外旋等动力量和腰方肌耐力显著性低于男性运动员。由于髌外展和髌外旋肌对于保持骨盆稳定、下肢动作连接以及防止膝关节外翻方面起着非常重要的作用, 因此, 核心肌肉力量不足或耐力不足都可能会成为膝关节损伤的原因。有研究报道,  $60 \text{ s}$  内屈腿仰卧起坐的完成次数能够区分不同项目的运动员<sup>[40]</sup>。本研究中, 卷腹成绩与平均配速存在显著关联, 而低速组的核心部位的肌耐力需要予以重视。

## 4 局限与不足

本研究女性志愿者参与数量较少, 故无法纳入研究进行比较。其次是指标选取, 训练学指标中力量训练和高强度间歇训练未进一步调查详细训练内



容;肌力特征指标选取优先考虑所使用器材的便携性和测试的简便性,尤其是单脚跳测试对技术的依赖程度较高,今后可采用更为客观的等速肌力和反应力量指数为实验室测试指标。最后,对于伤病史和赛后伤病排查采用电话随访,无法准确判断损伤与否和损伤类型,且并未对跑步技术进行评估,因此,并未做损伤发病的因素分析。

## 5 结论和建议

不同级别业余马拉松选手的训练学特征差异主要有周训练平均配速和抗阻训练、间歇训练的参与度。与成绩相关的肌力特征指标有单脚跳相对值、单脚跳对称性和卷腹次数,下肢刚度则未见差异。虽然本研究选取的研究对象为业余选手,但部分选手的训练量和强度已与运动员相近,建议在备战期间系统安排力量训练,包括将超等长训练纳入训练计划,提高单腿的离心力量,从而达到提高 RE 和安全完成比赛的目的。

## 参考文献:

- [1] Bovens A. M., Janssen G. M., Vermeer H. G., et al. Occurrence of running injuries in adults following a supervised training program[J]. *Int. J. Sports Med.*, 1989, 10(3): 186-190.
- [2] 李斐.负荷力量训练对不同水平跑者骨骼肌肉机能、跑步经济性、和耐力运动成绩的影响研究[D].上海:上海体育学院,2019.
- [3] Joyner M. J., Coyle E. F. Endurance exercise performance: the physiology of champions[J]. *J. Physiol.*, 2008, 586(1): 35-44.
- [4] Shaw A. J., Ingham S. A., Folland J. P. The valid measurement of running economy in runners[J]. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 2014, 46(10): 1968-1973.
- [5] Barnes K. R., Kilding A. E. Running economy: measurement, norms, and determining factors[J]. *Sports Med. Open*, 2015, 1(1): 8.
- [6] Saunders P. U., Pyne D. B., Telford R. D., et al. Factors affecting running economy in trained distance runners[J]. *Sports Med.*, 2004, 34(7): 465-485.
- [7] Barnes K. R., Kilding A. E. Strategies to improve running economy[J]. *Sports Med.*, 2015, 45(1): 37-56.
- [8] Storen O., Helgerud J., Stoa E. M., et al. Maximal strength training improves running economy in distance runners[J]. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 2008, 40(6): 1087-1892.
- [9] Skovgaard C., Christensen P. M., Larsen S., et al. Concurrent speed endurance and resistance training improves performance, running economy, and muscle NHE1 in moderately trained runners[J]. *J. Appl. Physiol.*, 2014, 117(10): 1097-1109.
- [10] Sedano S., Marín P. J., Cuadrado G., et al. Concurrent training in elite male runners: the influence of strength versus muscular endurance training on performance outcomes[J]. *J. Strength Cond. Res.*, 2013, 27(9): 2433.
- [11] Beattie K., Carson B. P., Lyons M., et al. The Effect of Strength Training on Performance Indicators in Distance Runners[J]. *J. Strength Cond. Res.*, 2017, 31(1): 9-23.
- [12] 薛锋,陈庆果,张健.长跑运动员最大力量训练的设计及其对跑步经济性的影响[J].*中国体育科技*,2014,50(3):3-12.
- [13] Piacentini M. F., De Ioannon G., Comotto S., et al. Concurrent strength and endurance training effects on running economy in master endurance runners[J]. *J. Strength Cond. Res.*, 2013, 27(8): 2295-2303.
- [14] Mikkola J., Rusko H., Nummela A., et al. Concurrent endurance and explosive type strength training improves neuromuscular and anaerobic characteristics in young distance runners[J]. *Int. J. Sports Med.*, 2007, 28(7): 602-611.
- [15] Berryman N., Maurel D. B., Bosquet L. Effect of plyometric vs. dynamic weight training on the energy cost of running[J]. *J. Strength Cond. Res.*, 2010, 24(7): 1818-1825.
- [16] Paavolainen L., Hakkinen K., Hamalainen I., et al. Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power[J]. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 2003, 13(4): 272.
- [17] Spurrs R. W., Murphy A. J., Watsford M. L. The effect of plyometric training on distance running performance [J]. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 2003, 89(1): 1-7.
- [18] Hamilton R. J., Paton C. D., Hopkins W. G. Effect of high-intensity resistance training on performance of competitive distance runners[J]. *Int. J. Sports Physiol. Perform.*, 2006, 1(1): 40-49.
- [19] Saunders P. U., Telford R. D., Pyne D. B., et al. Short-term plyometric training improves running economy in highly trained middle and long distance runners[J]. *J. Strength Cond. Res.*, 2006, 20(4): 947.
- [20] Emma L. M. Reliability of a new, hand-held device for assessing skeletal muscle stiffness[J].*Clin. Biomech.*, 2006, 18:459-461.
- [21] Brughelli. Leg strength and stiffness as ability factors in 100 m sprint running[J]. *J. Sports Med. Phys. Fitness*,



- 2009, 42: 274-281.
- [22] Kretsch A., Grogan R., Duras P., et al. 1980 Melbourne marathon study[J]. *Med. J. Aust.*, 1984, 141(12-13): 809-814.
- [23] Macera C. A., Pate R. R., Powell K. E., et al. Predicting lower-extremity injuries among habitual runners[J]. *Arch. Intern. Med.*, 1989, 149(11): 2565-2568.
- [24] Van Middelkoop M., Kolkman J., Van Ochten J., et al. Risk factors for lower extremity injuries among male marathon runners[J]. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 2008, 18: 691-697.
- [25] Macdougall J. D., Sale D. G., Moroz J. R., et al. Mitochondrial volume density in human skeletal muscle following heavy resistance training[J]. *Med. Sci. Sports*, 1979, 11(2): 164-166.
- [26] Staron R. S., Malicky E. S., Leonardi M. J., et al. Muscle hypertrophy and fast fiber type conversions in heavy resistance-trained women[J]. *European Journal of Applied Physiology & Occupational Physiology*, 1990, 60(1): 71-79.
- [27] Macdougall J. D., Hicks A. L., Macdonald J. R., et al. Muscle performance and enzymatic adaptations to sprint interval training[J]. *J. Appl. Physiol.*, 1998, 84(6): 2138-2142.
- [28] Cicioni-Kolsky D., Lorenzen C., Williams M. D., et al. Endurance and sprint benefits of high-intensity and supra-maximal interval training[J]. *Eur. J. Sport Sci.*, 2013, 13: 304-311.
- [29] Esfarjani F. L. Manipulating high-intensity interval training: Effects on  $VO_{2max}$ , the lactate threshold and 3000 m running performance in moderately trained males[J]. *J. Sci. Med. Sport*, 2007, 10: 27-35.
- [30] Saunders P. U., Pyne D. B., Telford R. D., et al. Factors affecting running economy in trained distance runners[J]. *Sports Med.*, 2004, 34(7):465-485.
- [31] Knechtle B., Duff B., Welzel U., et al. Body mass and circumference of upper arm are associated with race performance in ultra-endurance runners in a multi-stage race-the Isarrun 2006[J]. *Res. Q. Exerc. Sport*, 2009, 80(2):262-268.
- [32] 王正珍.ACSM 运动测试与运动处方指南(第十版)[M].北京:北京体育大学出版社,2019.
- [33] Lisman P., Hildebrand E., Nadelén M., et al. Association of Functional Movement Screen and Y-Balance Test Scores With Injury in High School Athletes[J]. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 2019, publish ahead of print.
- [34] Waldron M., Gray A., Worsfold P. The Reliability of Functional Movement Screening and In-Season Changes in Physical Function and Performance Among Elite Rugby League Players[J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2016, 30(4):910-918.
- [35] Grindem H., Logerstedt D., Eitzen I., et al. Single-legged hop tests as predictors of self-reported knee function in nonoperatively treated individuals with anterior cruciate ligament injury[J]. *Am. J. Sports Med.*, 2011, 39: 2347-2354.
- [36] Noyes F. R., Barber S. D., Mangine R. E. Abnormal lower limb symmetry determined by function hop tests after anterior cruciate ligament rupture[J]. *Am. J. Sports Med.*, 1991, 19:513-518.
- [37] Butler R. J., Iii H. P. C., Davis M. B. Lower extremity stiffness: implications for performance and injury[J]. *Clinical Biomechanics*, 2003, 18(6): 511-517.
- [38] Farley C. T., González O., Leg stiffness and stride frequency in human running[J]. *Journal of Biomechanics*, 1996, 29(2): 181-186.
- [39] Dumke C. L., Pfaffenroth C. M., McBride J. M., et al. Relationship between muscle strength, power and stiffness and running economy in trained male runners[J]. *Int. J. Sports Med.*, 2010, 5(2): 249.
- [40] Wilson J. M., Loenneke J. P., Jo E., et al. The effects of endurance, strength, and power training on muscle fiber type shifting[J]. *J. Strength Cond. Res.*, 2012, 26(6): 1724-1729.

(责任编辑:刘畅)