



## 脑力疲劳对足球运动员灵敏、下肢爆发力和平衡能力的影响

杨威<sup>1</sup>, 顾正秋<sup>1</sup>, 陈美霞<sup>1</sup>, 王欣欣<sup>1</sup>, 黄焕宇<sup>1,2</sup>, 黎涌明<sup>1,3\*</sup>

(1. 上海体育学院 体育教育训练学院, 上海 200438;

2. 浙江师范大学 体育与健康科学学院, 浙江 金华 321004;

3. 国家体育总局体育科学研究所, 北京 100061)

**摘要:**目的:脑力疲劳(mental fatigue, MF)是由长时间较高强度认知活动导致的一种精神生物学状态,并可表现为主观上感到疲惫和缺乏能量。明确MF与足球运动员竞技能力的关系对于其更好地训练、比赛等意义重大。因此,研究旨在探讨MF对足球运动员灵敏(AGT)、下肢爆发力(CMJ)和平衡(YBT)的影响。方法:采用随机交叉对照试验设计,18名男性业余足球运动员[年龄(20.72±2.42)岁,身高(177.08±5.99)cm,体质量(71.16±9.55)kg,体脂率16.3%±4.3%,训练年限(6.61±3.91)年]参与45 min的Stroop任务(MF组)和中性视频观看任务(对照组),时间间隔≥48 h,并于每次任务后参加灵敏、下肢爆发力和平衡3项能力测试,记录受试者任务前后的VAS-MF和VAS-MO指标以及运动能力测试过程中的RPE指标。结果:MF组与对照组干预前VAS-MF无显著差异( $P=0.281$ ),干预后VAS-MF( $P=0.002$ )和干预前后VAS-MF差值( $P=0.001$ )均显著高于对照组;MF组干预前( $P=0.385$ )、干预后( $P=0.288$ )的VAS-MO以及任务前后VAS-MO差值( $P=0.726$ )均与对照组无显著差异;MF组3项运动能力的测试成绩(AGT: $t=0.764, P=0.455, d=0.18, 95\% CI=-0.288\sim 0.643$ ;CMJ: $t=0.116, P=0.909, d=-0.027, 95\% CI=-0.489\sim 0.435$ ;YBT-左: $t=0.547, P=0.591, d=0.129, 95\% CI=-0.337\sim 0.591$ ;YBT-右: $t=1.078, P=0.296, d=0.254, 95\% CI=-0.219\sim 0.720$ )均与对照组无显著差异,AGT( $P=0.307$ )、CMJ( $P=0.083$ )、YBT( $P=0.088$ )测试结束后RPE也与对照组无显著差异。结论:MF对足球运动员灵敏、下肢爆发力和平衡3项能力无显著影响。

**关键词:**脑力疲劳;灵敏;下肢爆发力;平衡能力;足球

中图分类号:G804.8 文献标识码:A

脑力疲劳(mental fatigue, MF)是由长时间较高强度认知活动导致的一种精神生物学状态,表现为主观上感到疲惫和缺乏能量(李美玲等, 2019; Marcora et al., 2009)。较长时间的手机应用使用、电子游戏娱乐、车辆驾驶、文化学习、训练比赛以及睡眠不足等因素可能导致MF (Filipas et al., 2021b; Thompson et al., 2018, 2020),并且短时间(60 min)内难以消退(Smith et al., 2019)。早期有关MF的研究发现,处于MF状态的受试者注意力难以集中、反应时间延长、犯错风险增加,严重影响工作效率和驾驶安全(程珊等, 2014; 孙继成等, 2015)。Marcora等(2009)研究发现,MF不仅对人体的认知能力存在消极影响,还会对人体的有氧能力产生负面影响,这引起了竞技体育领域对于MF的关注。在竞技体育领域,研究发现MF对运动员的技术、战术和决策等竞技能力均存在负面影响。体能方面,MF对运动员有氧能力的影响较大,而对无氧能力、最大自主收缩力量(maximum voluntary contraction, MVC)、肌肉爆发力(上、下肢)、冲刺能力(直线冲刺、变

向冲刺)等竞技能力没有显著影响(Brown et al., 2020; McMorris, 2020; Pageaux et al., 2018; Van Cutsem et al., 2017b)。进一步的探索发现,MF对运动员技术、战术和决策等竞技能力的负面影响主要与其执行功能受到破坏有关,对体能(有氧能力)的负面影响主要与测试中更高的主观疲劳度有关(Pageaux et al., 2018; Van Cutsem et al., 2017b)。Martin等(2018)综述指出,MF还可能通过负面影响动机水平,降低运动员的竞技能力。

足球是全世界最受欢迎的运动项目之一,也是竞技体育领域中关注MF最多的运动项目。众多研究探究了MF

收稿日期:2021-09-16; 修订日期:2022-05-08

基金项目:国家体育总局体育科学研究所基本科研业务费(20-37)。

第一作者简介:杨威(1989-),男,在读博士研究生,主要研究方向为团体和冬季项目的运动生物学特征、竞技体育领域的脑力疲劳,E-mail:yangweisus@163.com。

\*通信作者简介:黎涌明(1985-),男,教授,博士,博士研究生导师,主要研究方向为人体运动的动作和能量代谢特征,E-mail:liyongming@sus.edu.cn。

对足球运动员有氧、技术、战术和决策等能力的影响,所得到的结论与针对其他项目的相关研究基本一致(Filipas et al., 2021a; Gantois et al., 2020; Smith et al., 2018)。然而,灵敏、下肢爆发力和平衡能力作为决定足球比赛胜负的重要竞技能力(黎涌明等, 2017; Hohmann et al., 2019; Hrysomallis, 2011),是否会受MF影响尚不明确。鉴于灵敏和平衡是有一定认知需求的运动能力(Hachard et al., 2020; Sheppard et al., 2006),MF可能会通过损害认知对二者造成负面影响,然而这一推论缺乏相关研究的验证。此外,尽管目前多数研究认为运动员和教练员无需关注MF对下肢爆发力的影响,但也有个别研究显示,MF会影响运动员的高强度运动能力(Veness et al., 2017),因此,MF与下肢爆发力的关系仍需要更多的证据予以验证。另外,足球比赛和训练中产生的MF是除身体疲劳外造成比赛和训练中许多重要能力下降的另一重要原因(Smith et al., 2015),因此,足球运动员比赛和训练中下肢爆发力的下降是否与MF有关同样有待进一步明确。据此提出以下假设:

- 假设1:MF对足球运动员下肢爆发力无显著影响;
- 假设2:MF对足球运动员灵敏具有显著负面影响;
- 假设3:MF对足球运动员平衡能力具有负面影响。

## 1 研究对象与方法

### 1.1 受试者

通过G\*Power3.1软件(Dusseldorf,德国)预先估算研究所需样本量,估算时选择“Means: Difference between two dependent means (matched pairs)”选项, power、 $\alpha$ 和效应量的值分别设置为0.8、0.05和0.8。其中效应量值参考Smith等(2016)、Fortes等(2020a)和Greco等(2017)的研究进行设置,研究显示目前MF对足球运动员竞技能力影响的综合效应量大多介于0.50~2.37,平均效应量为0.84。估算结果显示,开展本研究所需要的最低样本量为15人,考虑20%的样本潜在脱落率(Fortes et al., 2020b; Franco-Alvarenga et al., 2019),本研究至少需要招募18人。基于此,本研究招募了21名男子业余足球运动员,其中16人为某体育学院足球校队队员或运动训练专业足球专项大学生。实验过程中1人因时间安排不合适,2人因脚踝、腰部受伤退出,最终18名受试者[年龄(20.72±2.42)岁,身高(177.08±5.99)cm,体质量(71.16±9.55)kg,体脂率16.3%±4.3%,训练年限(6.61±3.91)年]完成了本实验的全部测试。受试者包含国家一级运动员5名,二级运动员2名;前场球员6名,中场球员5名,后场球员4名,门将3名。上述所有受试者无伤病、无睡眠紊乱、不吸烟,自愿参加本项研究,在被告知测试流程及潜在风险后签署了知情同意书。参考Van Cutsem等(2017b)的研究,直至实验结束才告知受试者实验的真实目的,实验过程中受试者

被告知本研究的目的是为探究训练前认知活动对足球运动员灵敏、跳跃和平衡能力综合训练过程中主观感知反应的影响。

### 1.2 研究设计与流程

本研究采用随机交叉对照试验(randomized crossover trial)设计。所有受试者需要进入实验场地3次,每次间隔时间 $\geq 48$ h(洗脱期),其中第1次为熟悉环节,第2、3次为正式实验环节。所有受试者均需完成MF干预任务(MF组)和对照任务(对照组),每次实验仅完成其中1项, $\geq 48$ h后完成另一项,先后顺序随机确定,每次实验完成2类任务的人数各占一半,任务结束后进行相应的测试。为降低人体生物节律的影响,同一名受试者完成每次测试的时间点尽可能相同(偏差1h以内),整个测试在4周内完成。

在熟悉环节,受试者需要熟悉所有的测试任务和指标的评价流程,以降低学习效应和身体不适应等对正式实验的影响。熟悉环节的具体内容为:1)向受试者介绍测试的流程和视觉模拟评分量表(visual analogue scale, VAS)、主观疲劳感觉量表(rating of perceived exertion, RPE)等测试工具的使用方法;2)受试者参加MF诱导任务至少5min,直至理解和适应任务需求为止,期间简单使用和操作上述测试工具;3)熟悉灵敏、下肢爆发力和平衡能力测试;4)采集受试者的年龄、身高、体质量、下肢长度、训练年限等基本信息。最后,告知受试者正式实验过程中的注意事项,具体如下:1)每次测试开始前1天保证至少8h的睡眠;2)每次测试开始前24h避免酒精、尼古丁摄入,开始前12h避免咖啡因摄入;3)保证每次测试开始前1天饮水量超过35ml/kg体质量;4)指导运动员每次测试开始前2h摄入简餐(如吐司、橙汁和香蕉等);5)测试前24h避免高强度的身体活动;6)测试当天(尤其是测试前3h)避免玩游戏等认知参与较多的任务;7)要求受试者2次正式测试时尽可能保持相同或者类似的着装。

2次正式实验环节的流程一致(图1),具体为:每次测试开始前使用问卷对受试者的服从情况进行检查,随后使用VAS量表对受试者测试开始前的MF(VAS-mental fatigue, VAS-MF)、动机(VAS-motivation, VAS-MO)等指标的基线水平进行测量。测量后受试者以随机、平衡的顺序参与45min的Stroop任务(MF组)或中性情绪视频观看任务(对照组),由专门工作人员负责指导受试者完成干预任务,研究人员不参与该部分处理。任务结束之后再次测量受试者的VAS-MF和VAS-MO等指标水平。随后,受试者进行2min的慢跑热身,然后于室内田径场参加灵敏、下肢爆发力和平衡能力测试,3项测试之间的时间间隔为1min,期间受试者保持静坐,整个测试过程中除了强调必要的测试要求外,不给予受试者口头鼓励,3项测试的顺序和间隔时间参考Martin等(2014)的研究以及美国

国家体能协会体能训练教材(Haff et al., 2015)确定。每项运动能力测试结束后立即进行RPE测量。MF干预后的运动测试耗费的总时间约为15 min,处于MF的有效影

响范围(Smith et al., 2019; Veness et al., 2018),测试期间室内温度为19.6℃~21.3℃,湿度为66.0%~85.0%。

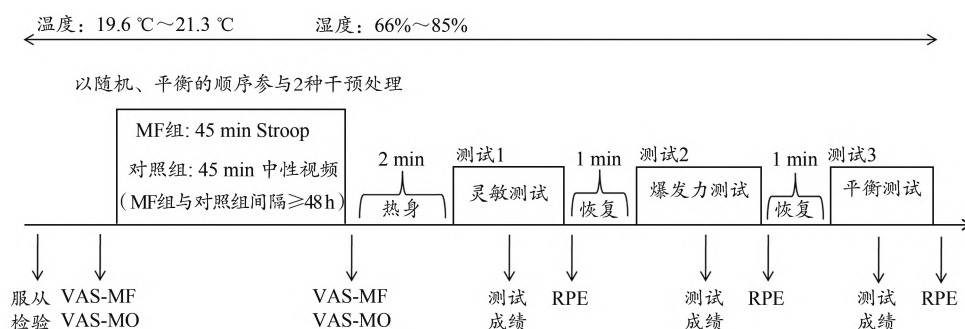


图1 实验流程

Figure 1. Flow Chart of Experiment

### 1.3 干预处理

#### 1.3.1 MF组

参考Badin等(2016)和Lopes等(2020)的研究, MF组的干预为受试者参与45 min的Stroop任务。具体操作范式为:“红”“绿”“蓝”“黄”4个不同的汉字(宋体57号)以随机顺序在黑色电脑屏幕(联想,小新,中国)上逐个呈现,4个汉字呈现的颜色是红、绿、蓝、黄色中的任意1种,字义与字色不对应的概率为50%,要求受试者按照字色进行按键反应。单个汉字每次在屏幕上的呈现时间为1 000 ms,随后为1 000 ms空屏,然后呈现下一个汉字,受试者总共需要完成1 350次判断反应。任务过程中,受试者被要求尽可能快和准确地进行反应,错误反应或超过1 500 ms未按键时会发出提示音,以促进受试者更好地完成任务(Badin et al., 2016)。上述任务在独立、安静的房间进行,使用E-prime 3.0软件运行,任务进行过程中安排1名工作人员进行监督,以确保受试者认真投入任务。

#### 1.3.2 对照组

对照组任务为观看中性情绪视频,受试者需要观看相同时间(45 min)的纪录片《湖之传说》(Tale of Lake)。该纪录片在正式使用前已经过10名非正式受试者的初步验证,评价工具为VAS和布鲁内尔情绪量表(Brunel mood scale, BRUMS),结果显示,观看纪录片前后,受试者BRUMS得分无显著差异,VAS-MF得分上升7 mm(< 20 mm),可以认为受试者的MF水平和情绪状态无较大波动,符合Badin等(2016)和Queiros等(2020)研究中关于对照任务的设置要求。进行对照任务的房间、环境要求、流程设置和设备与MF诱导任务时相同。

### 1.4 运动能力测试

#### 1.4.1 灵敏

灵敏的测量采用反应灵敏测试(reactive agility test, AGT;图2),具体为:受试者站立于Smartspeed计时门

(Smartspeed pro, Fusion Sport, 澳大利亚)后0.5 m处,待“出发”口令响起,以最快的速度完成由5 m+45°(向左或向右)变向+5 m组成的Y型灵敏测试,变向的方向由2.5 m处的触发装置(触发计时门)随机确定,即受试者通过触发装置时,左右侧终点的计时门随机亮灯,受试者需据此快速做出反应,以最快速度冲过亮灯一侧的计时门。受试者需完成6次测试(3次向左,3次向右),每次时间间隔为30 s(期间受试者慢跑或走回起点等待下一次测试),取最短冲刺时间用于分析(Fiorilli et al., 2017)。

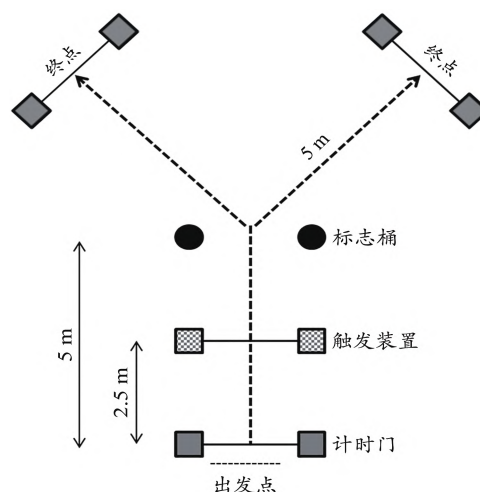


图2 灵敏测试示意图

Figure 2. The Diagram of Agility Test

#### 1.4.2 下肢爆发力

下肢爆发力的测量采用反向纵跳测试(countermovement jump, CMJ),测试模式参照Martin等(2014)和Emmonds等(2019)的研究,具体为:受试者双手叉腰站立于Smartjump纵跳垫(Smartjump, Fusion Sport, 澳大利亚)上,以直立姿态快速下蹲至膝关节弯曲90°,然后迅速起跳,腾空过程中要求受试者尽量保持躯干处于垂直姿势,



以减小躯干动作对测试结果的影响。本研究中受试者需进行连续5次的CMJ测试,其中前2次为热身,后3次为正式测试,每次CMJ测试间有15s恢复间歇,期间受试者保持站立,测试中要求受试者以最大能力纵跳,取后3次测试的最大跳跃高度用于分析(Martin et al., 2014; Petrigna et al., 2019)。

#### 1.4.3 平衡

平衡能力的测量采用Y平衡测试(Y-balance test, YBT),测试模式参考Plisky等(2009)、徐飞等(2017)的研究,具体为:受试者双手叉腰,单腿裸足全脚掌站立于Y平衡测试仪上,用非支撑腿的足尖将3个方向上的测试板缓慢推至最远处,按先右腿支撑、后左腿支撑的顺序依次测量非支撑腿前方(anterior, A)、后内侧(posteromedial, PM)和后外侧(posterolateral, PL)3个方向所能达到的最大距离,每个方向重复测量3次,取最大距离用于分析。测试期间要求受试者足部不能移动、双手不能离开髌前上棘。测试结束,基于受试者左右腿3个方向的距离计算受试者两条腿YBT测试的综合得分,用于评价受试者的平衡能力,计算公式为 $[(A+PM+PL)/(3\times\text{下肢长度})]\times 100$ 。下肢长度的测量在熟悉环节完成,即受试者仰卧,取髌前上棘到内踝的长度,根据Plisky等(2009)的研究,统一使用右腿下肢长度进行计算。上述3项运动能力测试均在经过严格培训且经验丰富的测试人员指导下完成。

#### 1.5 量表

VAS-MO和VAS-MF指标均使用100mmVAS视觉模拟评分量表进行测量。有研究显示,该测量工具评价MF的敏感性和实用性要优于脑电波、心率变异性、反应时、反应精确性等生理和认知方面的其他工具和指标(Filipas et al., 2021a; Penna et al., 2018; Smith et al., 2019)。100mmVAS评分量表主体为一条长100mm的直线,左端和右端分别标注着“一点没有”和“最大/极度”,在操作时,当工作人员问到“您有多大的动力去参与接下来的测试”或“您现在的脑力疲劳如何”时,受试者需要根据当下的感受,在纸质量表上用垂线标注出反映其动机或MF程度的最佳位置。随后,由工作人员量出左端至标注位置的距离/mm,记为受试者此时的动机或MF程度。实验过程中,为克服运动员的自我评价偏倚以及可能对MF缺乏元认知等的影响,向受试者提供清晰和统一的MF定义。

Borg(1998)研发的RPE量表是目前测量主观疲劳度的重要工具,共有15个等级,从6~20分别代表从“一点都不费力”到“极限”,要求受试者正对量表,用手指指出或口头报告与自身情况相符的数值。

#### 1.6 统计学分析

使用SPSS 20.0软件对获得的数据进行统计学分析。经Shapiro-Wilk方法和直方图检验,所有数据符合正态或近似正态分布,因此,数据的描述统一采用均值±标准差

( $M\pm SD$ )形式。采用配对样本 $t$ 检验分析MF组和对照组VAS-MF(前测、后测、前后差值)、VAS-MO(前测、后测、前后差值)、运动能力测试成绩的差异,采用双因素重复测量方差分析检验不同处理水平下的RPE得分差异。进行方差分析的数据如不符合Mauchly球形假设,则使用Greenhouse-Geisser方法校正结果,方差分析的事后两两比较采用Bonferroni方法;所有统计分析基于双侧假设检验,检验水平设置为 $\alpha=0.05$ 。此外,配对样本 $t$ 检验(含事后两两比较)的数据报告Cohen's  $d$ 效应量( $d$ ),重复测量方差分析的数据报告偏 $\eta^2$ 效应量( $\eta_p^2$ )。 $d$ 的判定标准为: $<0.2$ ,微量; $0.2\sim 0.6$ ,小; $0.6\sim 1.2$ ,中等; $1.2\sim 2.0$ ,大; $>2.0$ ,非常大(Smith et al., 2016)。 $\eta_p^2$ 的判定标准为: $<0.04$ ,无影响; $0.04\sim 0.24$ ,小; $0.25\sim 0.63$ ,中; $0.64$ ,大(Smith et al., 2019)。

## 2 结果

### 2.1 MF诱导情况

对比所有受试者参加Stroop任务与对照任务前的基线值差异、任务后指标差异以及前后差值的变化(图3a),MF组和对照组干预前的VAS-MF分数基线值无显著差异( $t=1.115, P=0.281, d=-0.270, 95\% CI=-0.751\sim 0.218$ );MF组干预后的VAS-MF分数( $t=3.695, P=0.002, d=0.896, 95\% CI=0.320\sim 1.453$ )、干预前后的VAS-MF差值( $t=4.288, P=0.001, d=1.040, 95\% CI=0.435\sim 1.624$ )均显著高于对照组,说明MF任务成功诱发了MF。

### 2.2 运动能力测试成绩

干预任务后,MF组和对照组AGT( $t=0.764, P=0.455, d=0.18, 95\% CI=-0.288\sim 0.643$ )、CMJ( $t=0.116, P=0.909, d=-0.027, 95\% CI=-0.489\sim 0.435$ )、YBT(左腿: $t=0.547, P=0.591, d=0.129, 95\% CI=-0.337\sim 0.591$ ;右腿: $t=1.078, P=0.296, d=0.254, 95\% CI=-0.219\sim 0.720$ )测试成绩均不存在显著差异(图4),表明MF对足球运动员3项运动能力无显著影响。

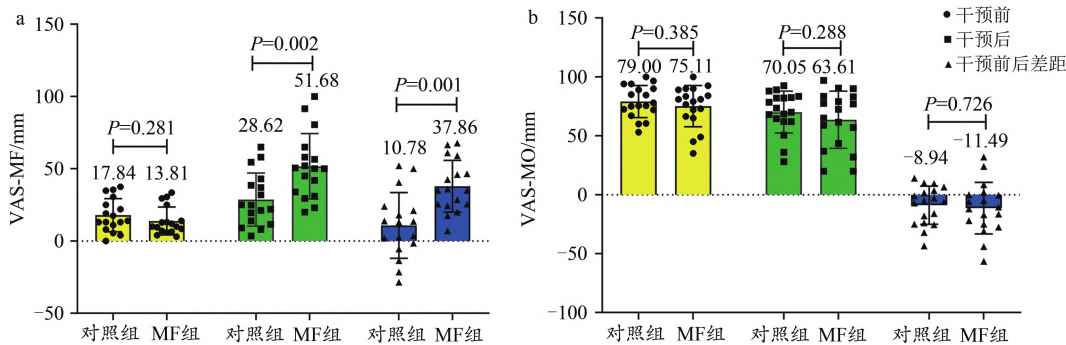
### 2.3 其他指标

在动机方面,MF组和对照组干预前VAS-MO得分( $t=0.893, P=0.385, d=-0.21, 95\% CI=-0.675\sim 0.260$ )、干预后VAS-MO得分( $t=1.097, P=0.288, d=-0.259, 95\% CI=-0.725\sim 0.215$ )的VAS-MO分数和干预前后的VAS-MO差值( $t=0.356, P=0.726, d=-0.084, 95\% CI=-0.546\sim 0.380$ )均无显著差异(图3b)。

在主观疲劳度方面,方差分析结果显示,干预任务影响RPE的主效应不显著 $[F_{(1, 17)}=0.716, P=0.409, \eta_p^2=0.040]$ ,运动任务持续时间影响RPE的主效应不显著 $[F_{(1.24, 21.07)}=3.522, P=0.067, \eta_p^2=0.172]$ ,干预任务与运动任务持续时间的交互作用显著 $[F_{(4.69, 56.29)}=4.269, P=0.022, \eta_p^2=0.201]$ 。单独效应分析结果显示(图5),MF组和对照

组 AGT ( $P=0.307, d=-0.248, 95\% CI=-0.714 \sim 0.224$ )、CMJ ( $P=0.083, d=0.435, 95\% CI=-0.055 \sim 0.913$ ) 和 YBT ( $P=0.088, d=0.427, 95\% CI=-0.062 \sim 0.904$ ) 测试结束后的 RPE 得分均无显著差异; MF 组 RPE 得分不随运动时间明显波动 [ $F_{(2,34)}=2.926, P=0.067, \eta^2_p=0.147$ ], 对照组 RPE 随着时

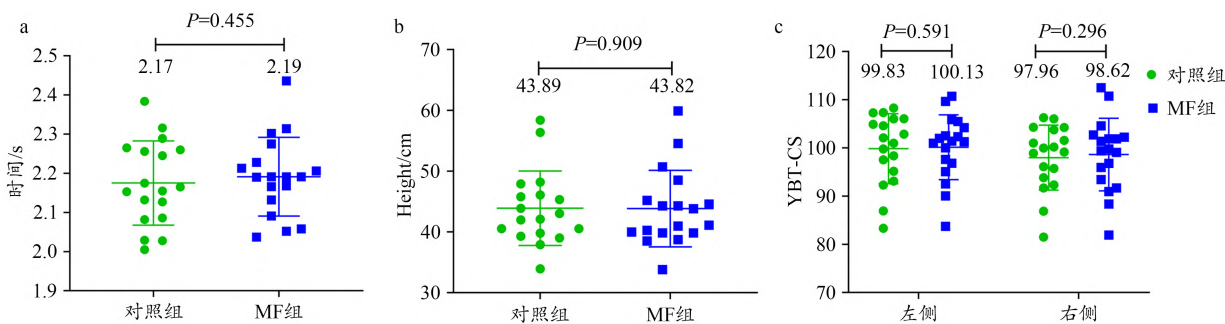
间变化波动显著 [ $F_{(1.47, 25.13)}=4.631, P=0.028, \eta^2_p=0.214$ ], 主要表现为先下降再上升 (AGT 与 CMJ:  $P=0.01, d=0.809, 95\% CI=0.265 \sim 1.335$ ; CMJ 与 YBT:  $P=0.031, d=-0.680, 95\% CI=-1.187 \sim -0.157$ )。



注: VAS-MF 指标纳入统计的样本量为 17 (剔除 1 个异常值)。

图 3 MF 组与对照组 VAS-MF 和 VAS-MO 得分比较

Figure 3. Comparison of VAS-MF, VAS-MO between MF Group and Control Group



注: a、b、c 分别为 AGT、CMJ 和 YBT 测试结果。

图 4 MF 组和对照组 AGT、CMJ、YBT 测试成绩比较

Figure 4. Comparison of AGT, CMJ and YBT Test Scores between Experimental and Control Group

### 3 讨论

研究结果显示, MF 对足球运动员灵敏、下肢爆发力和平衡能力均无显著影响, 假设 1 得到验证, 假设 2、3 未得到实验数据支持。

#### 3.1 MF 诱导情况

MF 与竞技能力关系探究的各项研究中, 成功诱导 MF 是研究顺利进行的前提。Stroop 任务作为简便有效的 MF 诱导方案, 在竞技体育领域的相关研究中最受青睐, 该任务需要受试者投入持续的注意力和反应抑制, 持续时间  $\geq 30$  min, 被认为可以成功诱导 MF (Habay et al., 2021; Van Cutsem et al., 2017b)。MF 成功诱导的重要标志为 MF 干预任务后受试者主观方面的指标或任务前后主观方面指标的差值较对照组出现显著变化 (Gattoni et al., 2021; Van Cutsem et al., 2017b)。本研究中的 45 min Stroop 任务成功诱导了 MF, 这主要表现在任务处理前 MF 组和对照组 VAS-MF 基线值无显著差异, 任务后 MF 组的 VAS-MF 指标和前后测差值显著高于对照组, 两

组间 VAS-MF 效应量的差异也从任务处理前负向的小效应量转变成任务处理后正向的中等效应量, 前后测变化幅度接近大效应量。由此可见, Stroop 任务是一种有效的 MF 诱导方案。关于 MF 的产生机制, 目前的研究认为其可能与运动员大脑前额叶皮层  $\alpha$  波和  $\theta$  波功率增强、前扣带皮层腺苷浓度增加、精神加强系统激活不足、精神抑制系统活动增强以及精神加强和抑制系统的综合作用等有关 (Brietzke et al., 2020; Franco-Alvarenga et al., 2019; Ishii et al., 2014; Pires et al., 2018; Smith et al., 2018; Van Cutsem et al., 2017a)。

#### 3.2 MF 对运动能力的影响

##### 3.2.1 MF 对下肢爆发力的影响

研究结果显示, MF 对足球运动员的下肢爆发力无显著影响, 假设 1 成立, 这与众多相关研究的结果类似。Kosack 等 (2020) 和 Weerakkody 等 (2020) 针对羽毛球、橄榄球运动员的研究发现, 无论下肢爆发力的评价采用无摆臂的反向纵跳 (CMJ) 测试还是站立垂直跳和跑动垂直

跳, MF 均不会影响运动员测试过程中的跳跃高度, 即 MF 对运动员下肢爆发力无显著影响。本研究以足球运动员为对象探究了 MF 与运动员下肢爆发力的关系, 研究结论既支持了以往的研究, 也从 MF 视角为足球项目下肢爆发力训练和评估提供了科学支持, 即足球运动员下肢爆发力的训练和评估等可能不需要关注 MF 的影响。关于下肢爆发力未受 MF 影响的原因, 有研究从脑区激活的视角进行了解释, 认为短时间高强度运动受试者脑区激活的主要区域为后扣带皮层, 而 MF 影响的主要脑区为前额叶皮层、前扣带皮层和背外侧前额叶皮层等区域 (Fortes et al., 2021a; Smith et al., 2018)。

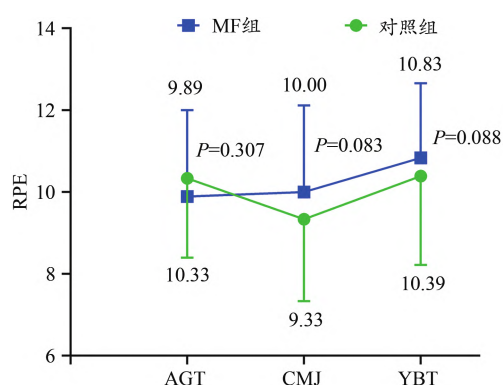


图5 MF组和对照组 AGT、CMJ、YBT 测试后的 RPE 比较

Figure 5. Comparison of RPE after AGT, CMJ, YBT Test between Experimental and Control Group

### 3.2.2 MF 对灵敏的影响

灵敏是决定足球比赛胜负的重要能力 (Pojskic et al., 2018), 根据 Sheppard 等 (2006) 的定义, 其主要由认知能力 (感知和决策) 和变向能力两部分组成。目前相关研究主要集中在 MF 与认知能力、MF 与变向能力等灵敏组成要素的关系探究上, 缺乏直接针对 MF 与灵敏关系的研究。大量研究探究了 MF 对自行车、拳击、足球等项目运动员认知能力的影响, 发现处于 MF 状态的受试者完成认知任务的反应时增加、准确率下降、决策能力遭到破坏, 揭示了 MF 对运动员认知能力的负面影响 (Fortes et al., 2019, 2021b; Gantois et al., 2020; Pires et al., 2018; Smith et al., 2016)。不同于认知能力, 有关 MF 与变向能力关系的研究较为鲜见。Weerakkody 等 (2020) 让 25 名男子业余橄榄球运动员分别完成 30 min Stroop 任务和观看纪录片后, 以最快的速度完成约 22 m 的变向测试 (5 次变向), 研究结果显示 2 种情况下运动员变向测试成绩无显著差异, 为 MF 不会影响运动员的变向能力提供了证据。

研究结果显示, MF 对足球运动员的灵敏无显著负面影响, 假设 2 不成立。本研究中 MF 对认知能力的负面影响未能转换为 MF 对灵敏影响的原因可能与以下 2 点有关: 1) MF 对认知能力产生的影响有限。这可能与足球运

动员群体 MF 耐受能力较高有关。足球是一项认知需求较高的运动项目, 比赛和训练过程中, 运动员必须在较长的时间内保持警觉和集中注意力, 从持续多变的赛场和训练环境获取相关信息 (如对手和队友的场上位置等), 并在极其有限的时间内作出正确的决策 (Smith et al., 2018), 长时间的认知活动经常会使运动员产生 MF, 而大量的比赛和训练也意味着运动员需要经常暴露于 MF 状态 (Abbott et al., 2020), 根据应激-适应理论, 久而久之会较大程度提升足球运动员群体 MF 的耐受能力。本研究中的受试者为竞技水平相对较高、平均训练年限为 6.61 年的体育院校足球运动员, 可能具有较好的 MF 耐受能力, 从而减弱了 MF 对足球运动员认知能力的负面影响。本研究灵敏测试结果本身也论证了上述观点。Y 反应灵敏测试对受试者认知能力的变化或受试者间认知能力的差异有着较高敏感性和区分度, 测试结果显示, 有无 MF 情况下受试者参加 Y 反应灵敏测试的成绩无显著差异, 表明该测试未能监测到受试者有无 MF 情况下认知能力的变化, 说明 MF 对本研究足球运动员认知能力的影响可能较为有限。2) MF 对认知能力产生了影响, 但由于认知能力在灵敏中的作用占比有限, 还不足以体现在灵敏的整体表现上。这可能与足球运动员群体出色的灵敏能力有关, 如比赛和训练过程中, 足球运动员需要根据对手位置的动态变化情况迅速变向过人 (认知参与下的变向-灵敏), 长期的训练和比赛会在较大程度上提升足球运动员的灵敏水平。本研究中无 MF 情况下受试者灵敏测试的成绩为 2.17 s, 达到了国外参加同样测试的精英足球运动员的水平 [(2.17±0.3)s] (Fiorilli et al., 2017)。较为突出的灵敏水平可能意味着足球运动员完成灵敏测试时所需的认知资源更少, 测试任务的完成趋向于自动化行为, 使得 MF 对认知的负面影响未能在灵敏测试中得到体现。另一方面, 足球运动员普遍拥有较为出色的变向能力 (杨威等, 2021), 这可能提升了变向能力在灵敏中的作用占比, 从侧面弱化了 MF 对足球运动员灵敏的影响。综上, MF 对足球运动员灵敏的影响可能较为有限。

### 3.2.3 MF 对平衡的影响

研究结果显示, MF 对足球运动员的平衡能力无显著负面影响, 假设 3 不成立。基于前人的研究结论, 维持平衡需要一定的注意力资源 (Hachard et al., 2020), 同时 MF 对注意力资源存在不利影响 (Lopes et al., 2020; Thompson et al., 2020), 理论上, MF 会对足球运动员的平衡能力产生负面影响。研究假设与实际结果不一致的原因可能与以下 3 点有关: 1) 维持平衡所需的注意力资源没有受到影响或受影响有限。长期的比赛和训练提升了足球运动员的注意力资源总量, 使得足球运动员在 MF 状态下仍然能够分配足够的注意力资源用于维持平衡。2) 注意力资源可能不是平衡维持的决定性因素。研究显示, 平衡维持



的影响因素众多,包括膝伸肌离心力量、下肢爆发力、下肢最大等长力量、核心稳定性、下肢关节活动范围等(Booyesen et al., 2015; Chtara et al., 2018; López-Valenciano et al., 2019),注意力资源可能不起决定性作用。在Hachard等(2020)的研究中,20名健康受试者分别在完成90 min的AX-CPT持续性操作测验(AX-continuous performance test)和观看纪录片后,站立于测力台进行低注意力资源需求的稳定支撑面睁眼站立测试和高注意力资源需求的稳定支撑面闭眼站立、摆动板/平衡板站立平衡测试,结果显示,MF对3种测试成绩均无显著影响。3)足球运动员群体较好的平衡能力降低了注意力资源需求,间接减弱了MF对平衡任务的影响。Hrysomallis(2011)的研究数据显示,在纳入统计的众多运动项目中,体操项目选手的平衡能力最好,其次为足球、游泳、篮球等项目的运动员。在Verschuere等(2020)的研究中,11名训练有素或经常运动的受试者分别在90 min的Stroop任务或纪录片观看后进行YBT测试,结果显示,2种情况下受试者的YBT得分无显著差异,MF并没有显著影响受试者平衡测试的成绩;而对于一般健康受试者(平衡能力相对较差),Qu等(2020)将108名健康受试者按年龄、身高、体质量匹配为3组(无疲劳组、身体疲劳组和MF组),然后让3组受试者分别在各自的干预情境下进行非预期绊倒测试(在较暗环境中戴墨镜不看地面直线行走4次,其中第4次在地面10 cm高处设置一个非预期障碍物),研究结果显示,与无疲劳组相比,MF组受试者绊倒后的恢复步长变小,最大躯干弯曲变大,MF增加了受试者的失衡跌倒的可能性。综上所述,MF对足球运动员平衡能力的影响可能同样较为有限。

### 3.3 MF对其他指标的影响

综述研究指出,MF较少影响运动员有氧能力测试前的动机以及有氧能力测试过程中的平均心率、摄氧量、血乳酸等生理指标,对有氧能力的负面影响主要与运动或测试过程中更高的RPE得分有关;不同于有氧能力,技术、战术和决策等能力受到负面影响主要与MF破坏运动员的执行功能有关(Pageaux et al., 2018; Smith et al., 2018)。基于前期的研究结果,本研究同样测量了足球运动员3项运动能力测试过程中可能受MF影响的相关指标的数值,结果显示,MF不会影响运动员参加灵敏、下肢爆发力和平衡测试的动机以及这些运动能力测试过程中的RPE得分,提示与竞技能力受损的相关指标可能未受MF的负面影响,为“MF对足球运动员灵敏、下肢爆发力和平衡能力影响较为有限”提供了支持。

### 3.4 局限性

首先,本研究所采用的受试者为大学男子业余足球运动员,所得到的结论是否可以推广到女子、高水平以及青少年足球运动员还有待验证;其次,本研究所得到的结论

主要基于实验场景,是否可以进一步延伸至真实的足球比赛或训练中还有待验证;最后,本研究MF的诱导仅采用了45 min的Stroop任务,运动能力测量仅限于AGT、CMJ、YBT测试,采用更长时间的Stroop任务、其他MF诱导方案以及其他运动能力测量方式是否能得出相同结论,有待后续研究进一步验证。

## 4 结论

MF对足球运动员灵敏、下肢爆发力和平衡3项能力均无显著影响。基于上述结论,运动员和教练员无需过度关注MF对灵敏、下肢爆发力和平衡的消极影响,要合理看待学习、玩游戏等行为对运动员运动能力、训练动机、疲劳感知、情绪调节等的积极和消极影响,另一方面,比赛训练过程中下肢爆发力等能力的下降可能与MF无关。

## 参考文献:

- 程珊,马进,惠铎铎,等,2014.精神疲劳评价方法研究进展[J].现代生物医学进展,14(32):6387-6390.
- 李美玲,张力为,屈子圆,等,2019.心理疲劳对认知控制的影响及奖励的调节作用[J].体育科学,39(6):36-47.
- 黎涌明,曹晓东,陈小平,2017.德国足球训练科学研究现状与启示:基于Web of Science 2010—2016年期刊文献综述[J].上海体育学院学报,41(5):14-23,70.
- 孙继成,杨忠良,沈超,等,2015.精神疲劳状态下脑组织血氧饱和度的近红外光谱分析[J].现代生物医学进展,15(34):6697-6700.
- 徐飞,谢浩,徐玉明,2017.跳绳训练对少年足球运动员动态平衡能力和协调性的影响[J].中国体育科技,53(3):71-77.
- 杨威,李博,高崇,等,2021.足球运动员变向能力的测试方法、影响因素和训练策略[J].首都体育学院学报,33(5):507-521.
- HOHMANN A,何人也,SIENER M,等,2019.天才筛选与运动导向:德国二年级儿童运动表现能力对青少年足球运动员早期成功的影响[J].体育科研,40(4):1-9.
- ABBOTT W, BROWNLEE T E, NAUGHTON R J, et al., 2020. Changes in perceptions of mental fatigue during a season in professional under-23 English Premier League soccer players [J]. Res Sports Med, 28(4): 529-539.
- BADIN O O, SMITH M R, CONTE D, et al., 2016. Mental fatigue: Impairment of technical performance in small-sided soccer games [J]. Int J Sports Physiol Perform, 11(8): 1100-1105.
- BOOYSEN M J, GRADIDGE P J, WATSON E, 2015. The relationships of eccentric strength and power with dynamic balance in male footballers [J]. J Sports Sci, 33(20): 2157-2165.
- BORG G, 1998. Borg's Perceived Exertion and Pain Scales [M]. Champaign: Human kinetics: 31.
- BRIETZKE C, FRANCO-ALVARENGA P E, CANESTRI R, et al., 2020. Carbohydrate mouth rinse mitigates mental fatigue effects on maximal incremental test performance, but not in cortical alterations [J]. Brain Sci, 10(8): 493.
- BROWN D M Y, GRAHAM J D, INNES K I, et al., 2020. Effects of prior cognitive exertion on physical performance: A systematic review and meta-analysis [J]. Sports Med, 50(3): 497-529.
- CHTARA M, ROUISSI M, BRAGAZZI N L, et al., 2018. Dynamic

- balance ability in young elite soccer players: Implication of isometric strength[J]. *J Sports Med Phys Fitness*, 58(4): 414-420.
- EMMONDS S, NICHOLSON G, BEGG C, et al., 2019. Importance of physical qualities for speed and change of direction ability in elite female soccer players[J]. *J Strength Cond Res*, 33(6): 1669-1677.
- FILIPAS L, BORGHI S, LA TORRE A, et al., 2021a. Effects of mental fatigue on soccer-specific performance in young players[J]. *Sci Med Football*, 5(2): 150-157.
- FILIPAS L, FERIOLI D, BANFI G, et al., 2021b. Single and combined effect of acute sleep restriction and mental fatigue on basketball free-throw performance [J]. *Int J Sports Physiol Perform*, 16(3): 415-420.
- FIORILLI G, IULIANO E, MITROTASIOS M, et al., 2017. Are change of direction speed and reactive agility useful for determining the optimal field position for young soccer players?[J]. *J Sci Med Sport*, 16(2): 247-253.
- FORTES L D S, LIMA-JUNIOR D D, JUNIOR J R A D N, et al., 2019. Effect of exposure time to smartphone apps on passing decision-making in male soccer athletes[J]. *Psychol Sport Exerc*, 44:35-41.
- FORTES L S, DE LIMA-JUNIOR D, FONSECA F S, et al., 2021a. Effect of mental fatigue on mean propulsive velocity, countermovement jump, and 100-m and 200-m dash performance in male college sprinters [J]. *Appl Neuropsych Adult*, doi: 10.1080/23279095.2021.2020791.
- FORTES L S, DE LIMA-JUNIOR D, FIORESE L, et al., 2020a. The effect of smartphones and playing video games on decision-making in soccer players: A crossover and randomised study[J]. *J Sports Sci*, 38(5): 552-558.
- FORTES L S, GANTOIS P, DE LIMA-JUNIOR D, et al., 2021b. Playing videogames or using social media applications on smartphones causes mental fatigue and impairs decision-making performance in amateur boxers[J]. *Appl Neuropsych Adult*, doi: 10.1080/23279095.2021.1927036.
- FORTES L S, LIMA-JUNIOR D, GANTOIS P, et al., 2021c. Smartphone use among high level swimmers is associated with mental fatigue and slower 100-and 200-but not 50-meter freestyle racing[J]. *Percept Mot Skills*, 128(1): 390-408.
- FORTES L S, NAKAMURA F Y, LIMA-JUNIOR D, et al., 2020b. Does social media use on smartphones influence endurance, power, and swimming performance in high-level swimmers? [J]. *Res Q Exerc Sport*, doi: 10.1080/02701367.2020.
- FRANCO-ALVARENGA P E, BRIETZKE C, CANESTRI R, et al., 2019. Caffeine improved cycling trial performance in mentally fatigued cyclists, regardless of alterations in prefrontal cortex activation[J]. *Physiol Behav*, 204:41-48.
- GANTOIS P, CAPUTO FERREIRA M E, LIMA-JUNIOR D, et al., 2020. Effects of mental fatigue on passing decision-making performance in professional soccer athletes[J]. *Eur J Sport Sci*, 20(4): 534-543.
- GATTONI C, O'NEILL B V, TAPERI C, et al., 2021. The effect of mental fatigue on half-marathon performance: A pragmatic trial [J]. *Sport Sci Health*, 17(3): 807-816.
- GRECO G, TAMBOLINI R, AMBRUOSI P, et al., 2017. Negative effects of smartphone use on physical and technical performance of young footballers[J]. *J Phys Educ Sport*, 17(4): 2495-2501.
- HABAY J, VAN CUTSEM J, VERSCHUEREN J, et al., 2021. Mental fatigue and sport-specific psychomotor performance: A systematic review[J]. *Sports Med*, 51(7): 1527-1548.
- HACHARD B, NO F, CEYTE H, et al., 2020. Balance control is impaired by mental fatigue due to the fulfilment of a continuous cognitive task or by the watching of a documentary[J]. *Exp Brain Res*, 238(4): 861-868.
- HAFF G G, TRIPLETT N T, 2015. *Essentials of Strength Training and Conditioning 4<sup>th</sup> Edition*[M]. Champaign: Human kinetics;256.
- HRYMOMALLIS C, 2011. Balance ability and athletic performance [J]. *Sports Med*, 41(3): 221-232.
- ISHII A, TANAKA M, WATANABE Y, 2014. Neural mechanisms of mental fatigue[J]. *Rev Neurosci*, 25(4): 469-479.
- KOSACK M H, STAIANO W, FOLINO R, et al., 2020. The acute effect of mental fatigue on badminton performance in elite players [J]. *Int J Sports Physiol Perform*, 15(5): 632-638.
- LOPES T R, OLIVEIRA D M, SIMURRO P B, et al., 2020. No sex difference in mental fatigue effect on high-level runners' aerobic performance[J]. *Med Sci Sports Exer*, 52(10): 2207-2216.
- LÓPEZ-VALENCIANO A, AYALA F, DE STE CROIX M, et al., 2019. Different neuromuscular parameters influence dynamic balance in male and female football players[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 27(3): 962-970.
- MARCORA S M, STAIANO W, MANNING V, 2009. Mental fatigue impairs physical performance in humans[J]. *J Appl Physiol*, 106(3): 857-864.
- MARTIN K, MEEUSEN R, THOMPSON K G, et al., 2018. Mental fatigue impairs endurance performance: A physiological explanation[J]. *Sports Med*, 48(9): 2041-2051.
- MARTIN K, THOMPSON K G, KEEGAN R, et al., 2014. Mental fatigue does not affect maximal anaerobic exercise performance[J]. *Eur J Appl Physiol*, 115(4): 715-725.
- MCMORRIS T, 2020. Cognitive fatigue effects on physical performance: The role of interoception[J]. *Sports Med*, 50(10): 1703-1708.
- PAGEAUX B, LEPERS R, 2018. The effects of mental fatigue on sport-related performance[J]. *Prog Brain Res*, 240:291-315.
- PENNA E M, FILHO E, WANNER S P, et al., 2018. Mental fatigue impairs physical performance in young swimmers[J]. *Pediatr Exerc Sci*, 30(2): 208-215.
- PETRIGNA L, KARSTEN B, MARCOLIN G, et al., 2019. A review of countermovement and squat jump testing methods in the context of public health examination in adolescence: Reliability and feasibility of current testing procedures [J]. *Front Physiol*, doi: 10.3389/fphys.2019.01384.
- PIRES F O, SILVA-JUNIOR F L, BRIETZKE C, et al., 2018. Mental fatigue alters cortical activation and psychological responses, impairing performance in a distance-based cycling trial [J]. *Front Physiol*, doi: 10.3389/fphys.2018.00227.
- PLISKY P J, GORMAN P P, BUTLER R J, et al., 2009. The reliability of an instrumented device for measuring components of the star excursion balance test[J]. *N Am J Sports Phys Ther*, 4(2): 92-99.
- POJSKIC H, ÅSLIN E, KROLO A, et al., 2018. Importance of reactive agility and change of direction speed in differentiating performance levels in junior soccer players: Reliability and validity of newly developed soccer-specific tests [J]. *Front Physiol*, doi: 10.3389/fphys.2018.00506.
- QU X, XIE Y, HU X, et al., 2020. Effects of fatigue on balance recovery from unexpected trips[J]. *Hum Factors*, 62(6): 919-927.
- QUEIROS V S, DANTAS M, FORTES L S, et al., 2020. Mental fatigue reduces training volume in resistance exercise: A cross-over



- and randomized study [J]. *Percept Mot Skills*, doi: 10.1177/0031512520958935.
- SHEPPARD J M, YOUNG W B, 2006. Agility literature review: Classifications, training and testing[J]. *J Sports Sci*, 24(9): 919-932.
- SMITH M R, CHAI R, NGUYEN H T, et al., 2019. Comparing the effects of three cognitive tasks on indicators of mental fatigue[J]. *J Psychol*, 153(8): 759-783.
- SMITH M R, MARCORA S M, COUTTS A J, 2015. Mental fatigue impairs intermittent running performance[J]. *Med Sci Sports Exer*, 47(8): 1682-1690.
- SMITH M R, THOMPSON C, MARCORA S M, et al., 2018. Mental fatigue and soccer: Current knowledge and future directions [J]. *Sports Med*, 48(7): 1525-1532.
- SMITH M R, ZEUVTS L, LENOIR M, et al., 2016. Mental fatigue impairs soccer-specific decision-making skill [J]. *J Sports Sci*, 34(14): 1297-1304.
- THOMPSON C J, FRANSEN J, SKORSKI S, et al., 2018. Mental fatigue in football: Is it time to shift the goalposts? An evaluation of the current methodology[J]. *Sports Med*, 49(2): 177-183.
- THOMPSON C J, NOON M, TOWLSON C, et al., 2020. Understanding the presence of mental fatigue in English academy soccer players[J]. *J Sports Sci*, 38(13): 1524-1530.
- VAN CUTSEM J, DE PAUW K, BUYSE L, et al., 2017a. Effects of mental fatigue on endurance performance in the heat[J]. *Med Sci Sports Exer*, 49(8): 1677-1687.
- VAN CUTSEM J, MARCORA S, DE PAUW K, et al., 2017b. The effects of mental fatigue on physical performance: A systematic review[J]. *Sports Med*, 47(8): 1569-1588.
- VENESS D, PATTERSON S D, JEFFRIES O, et al., 2017. The effects of mental fatigue on cricket-relevant performance among elite players[J]. *J Sports Sci*, 35(24): 2461-2467.
- VERSCHUEREN J O, TASSIGNON B, PROOST M, et al., 2020. Does mental fatigue negatively affect outcomes of functional performance tests?[J]. *Medi Sci Sports Exer*, 52(9): 2002-2010.
- WEERAKKODY N S, TAYLOR C J, BULMER C L, et al., 2020. The effect of mental fatigue on the performance of Australian football specific skills amongst amateur athletes[J]. *J Sports Sci Med*, 24(6): 592-596.

## Effects of Mental Fatigue on Agility, Explosive Strength of Low-limb and Balance in Soccer Players

YANG Wei<sup>1</sup>, GU Zhengqiu<sup>1</sup>, CHEN Meixia<sup>1</sup>, WANG Xinxin<sup>1</sup>, HUANG Huan<sup>1,2</sup>, LI Yongming<sup>1,3\*</sup>

1. School of Physical Education & Sport Training, Shanghai University of Sport, Shanghai 200438, China;

2. College of Physical Education and Health Sciences, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China;

3. China Institute of Sport Science, Beijing 100061, China

**Abstract:** Objective: Mental fatigue (MF) is a psychobiological state caused by prolonged periods of demanding cognitive activity and characterized by subjective feelings of “tiredness” and “lack of energy”. To clarify the effects of MF on different physical ability in soccer players has great significance for them to conduct training and competition. Therefore, the purpose of this study is to investigate the effects of mental fatigue on agility (AGT), explosive strength of low-limb (CMJ) and balance (YBT) in soccer players. Methods: 18 male amateur soccer players [age: (20.72±2.42) yrs, height: (177.08±5.99) cm, body mass: (71.16±9.55) kg, body fat percentage: 16.3%±4.3%, training experience: (6.61±3.91) yrs] participated a randomized crossover trial, and were asked to finish both 45 min Stroop task (MF group) and 45 min emotionally neutral video watching task (control group) with an interval ≥48 h. After each task, participants were instructed to participated in three tests for agility, low-limb explosive strength and balance assessment. VAS-MF and VAS-MO pre-post treatment and RPE after each test were collected for analysis. Results: The values of VAS-MF at pre-treatment in MF group were similar to control group ( $P=0.281$ ), while VAS-MF at post-treatment ( $P=0.002$ ) and the changes of VAS-MF pre-and post-treatment in MF group ( $P=0.001$ ) were all higher than control group. The values of VAS-MO at pre-treatment, post-treatment and the changes of VAS-MO in MF group were similar to control group ( $P=0.385$ ,  $0.288$  and  $0.726$ ). The differences of performance of AGT ( $t=0.764$ ,  $P=0.455$ ,  $d=0.18$ , 95% CI=-0.288~0.643), CMJ ( $t=0.116$ ,  $P=0.909$ ,  $d=-0.027$ , 95% CI=-0.489~0.435) and YBT (YBT-Left:  $t=0.547$ ,  $P=0.591$ ,  $d=0.129$ , 95% CI=-0.337~0.591; YBT-Right:  $t=1.078$ ,  $P=0.296$ ,  $d=0.254$ , 95% CI=-0.219~0.720) were not significant between MF group and control group. The differences of RPE of AGT ( $P=0.307$ ), CMJ ( $P=0.083$ ) and YBT ( $P=0.088$ ) were not significant between MF group and control group. Conclusions: Mental fatigue doesn't impair agility, explosive strength of low-limb and balance performance in soccer players.

**Keywords:** mental fatigue; agility; explosive strength of low-limb; balance; soccer