

脑力疲劳负面影响足球运动员的协调表现

杨威^{1,2}, 黄焕宇³, 彭飞³, 黎涌明^{1,4}

(1.上海体育学院 竞技运动学院,上海 200438;2.厦门理工学院 体育部,福建 厦门 361024;

3.浙江师范大学 体育与健康科学学院,浙江 金华 321004;4.国家体育总局体育科学研究所,北京 100061)

摘要:[目的]探究脑力疲劳对足球运动员协调表现的影响.[方法]采用随机交叉对照设计,男子业余足球运动员以随机、平衡的顺序完成 STROOP 任务(脑力疲劳诱导,实验组)和中性视频观看(对照处理,对照组)2次干预处理,并在每次干预处理后参加协调表现测试.采集受试者干预前后及过程中的 VAS、BRUMS、RPE 量表指标.[结果]实验组干预前各指标的基线水平与对照组基本类似,干预过程中的平均心率显著高于对照组,干预后的脑力疲劳分数、大脑努力分数和布鲁奈尔疲劳分数显著高于对照组;实验组速度足球测试成绩显著低于对照组;实验组和对照组两项协调表现测试过程中的主观疲劳度和平均心率组间均无显著差异.[结论]脑力疲劳对足球运动员协调表现存在负面影响,足球比赛中协调表现的下降可能与脑力疲劳有关.

关键词:脑力疲劳;运动表现;协调表现;足球;随机交叉对照研究

中图分类号:G843

文献标志码:A

脑力疲劳(Mental Fatigue)是由长时间较高强度认知活动导致的一种心理生物学状态,并可表现为主观上感到疲惫和缺乏能量^[1-2].由于脑力疲劳在日常生活中较为普遍,并且还会对人体的认知和运动表现产生负面影响^[1],逐渐成为竞技体育领域近年的研究热点.研究显示^[3-4],脑力疲劳对运动员/健康人有氧、技术、战术和决策等竞技表现的影响较大,对无氧、最大自主收缩力量、肌肉爆发力、冲刺等竞技表现的影响较小.足球是一项认知需求较高的运动项目^[5].比赛中,足球运动员需要长时间保持警觉和集中注意力,从持续多变的赛场环境获取相关信息(如对手和队友的场上位置),并在极其有限的时间内做出正确的决策^[5].比赛中长时间的认知活动容易使足球运动员产生脑力疲劳^[6],这可能是足球运动员比赛后期诸多表现(如跑动表现)下降的重要原因之一^[7-8].

协调是多个身体效应器(肌肉、关节和肢体等)进行最优合作以最高效的方式完成目标动作的一种能力^[9].足球比赛中良好的协调表现是运动员运球、跑动等重要运动能力高水平发挥的基础^[10],比赛中协调表现的维持还有助于降低足球运动员运动损伤(如 ACL 损伤)的发生概率^[11].目前,协调已成足球运动员选材的重要指标之一^[9].和跑动、技术等表现相似,足球运动员比赛过程中的协调表现可能同样出现了下降^[12].鉴于协调是有着一定认知或执行功能需求的运动能力^[13-14],该能力的下降可能与脑力疲劳有关,然而目前尚未有研究对此进行验证.鉴于此,本文旨在探究脑力疲劳对足球运动员协调表现的影响.

1 方法

1.1 受试者

22 名来自浙江某高校体育学院足球专修班的男子业余足球运动员自愿参与本研究.受试者的纳入标准

收稿日期:2022-09-03;修回日期:2023-05-22.

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);上海市科委科研项目(18080503400).

作者简介:杨威(1989-),男,浙江淳安人,厦门理工学院讲师,博士,主要研究方向为竞技体育领域的脑力疲劳、营养与运动表现,E-mail:yangweisus@163.com.

通信作者:黎涌明(1985-),男,上海体育学院教授,博士,博士生导师,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.

为:1)无疾病;2)非色盲/色弱;3)无睡眠紊乱;4)不吸烟;5)每周进行规律的足球训练.实验过程中5名运动员脱落,最终17名运动员顺利完成了实验(年龄 (19.9 ± 1.3) 岁,身高 (177.5 ± 5.4) cm,体质量 (71.3 ± 6.3) kg, BMI (22.6 ± 1.9) kg/m²,训练年限 (8.8 ± 2.7) 岁).完成实验的受试者包含7名一级、9名二级和1名无运动等级运动员,涉及4名前场、5名中场和7名后场球员以及1名门将.样本量的确定预先经过G*Power3.1(Dusseldorf, Germany)软件估算,估算时选择“Means; Difference between two dependent means (matched pairs)”选项, power、 α 和效应量(ES)的值分别设置为0.80、0.05和0.66. SMITH等^[15]认为脑力疲劳对足球运动员技术等含有认知竞技表现影响的ES主要介于0.48~0.76之间,平均值约为0.66.经过估算,所需的最低样本量为16人.参与研究的受试者均知晓实验的测试流程和潜在风险,并于实验开始前签署了知情同意书.实验过程中,为了降低受试者的偏倚,实验结束前不告知受试者真实研究目的,并以“探究训练前认知活动对足球运动员不同形式协调训练过程中感知觉和生理反应的影响”作为真实目的的替代表述告知受试者.实验开始前,本研究已获得伦理许可.

1.2 研究设计与流程

本文采用随机交叉对照设计.整个研究每名受试者需要于4周内参加3次测试课,包括1次熟悉课和2次正式测试课.为减小生物节律的干扰和测试间的相互影响,要求受试者参加每次测试课的时间点相同,并且每次测试之间的时间间隔 ≥ 48 h(洗脱期)^[15].

熟悉课旨在减小学习效应和身体不适应等对接下来测试的影响.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(VAS)^[15-16]、布鲁奈尔心境量表(BRUMS)^[17]、主观疲劳度(RPE)量表^[18]等测试工具的使用方法;2)受试者需佩戴Polar心率带(Polar, Team2, Finland)参加脑力疲劳诱导方案5 min,期间简单使用和操作上述测试工具;3)熟悉协调表现测试;4)采集受试者的年龄、身高、体质量、训练年限等基本信息.熟悉课最后,告知受试者后续正式测试期间的注意事项:1)每次测试开始前一天保证至少8 h的睡眠;2)每次测试开始前24 h内避免酒精、尼古丁摄入,12 h内避免咖啡因摄入;3)保证每次测试开始前一天饮水量超过每千克体质量35 mL;4)指导运动员每次测试开始前2 h摄入简餐(如吐司、橙汁和香蕉等);5)测试前24 h避免高强度的身体活动;6)测试当天(尤其是测试前3 h)避免玩游戏等认知参与较多的任务;7)要求受试者两次正式测试保持相同或类似的着装.熟悉课的内容主要参考文献[7].

受试者参加两次正式测试课的流程一致.具体如下:测试开始前首先使用问卷对受试者的服从情况进行检验,随后使用VAS和BRUMS量表对受试者测试开始前的脑力疲劳分数(VAS-MF)、动机(VAS-MO)、BRUMS疲劳分数(BRUMS-F)、BRUMS活力分数(BRUMS-V)等指标进行测量,结束后受试者佩戴Polar心率带以随机、平衡的顺序参与45 min的STROOP任务(实验组,脑力疲劳诱导)和情绪中性视频观看(对照组,对照处理)(每次测试课参加其中一项,之后参与另外一项,采用ABBA法平衡顺序,图1(a)),任务过程中记录受试者的平均心率(HR)、其中实验组利用E-prime 3.0软件同步记录受试者的RT(反应时)和ACC(精确性),任务结束后再次使用相关量表测量受试者的VAS-MF、大脑努力分数(VAS-ME)、BRUMS-F和BRUMS-V.之后受试者经过2 min的慢跑热身,于室内田径场参加一般(HCT测试)和专项(SDT测试)两项协调表现测试.协调表现测试期间采集HCT和SDT测试过程中的HR,采集HCT和SDT测试结束即刻的RPE以及SDT测试结束即刻的VAS-MF.上述两项协调表现测试均进行两次,同一协调任务测试内和不同协调任务测试间的时间间隔均为2 min,期间受试者保持站立.两项测试任务的测试顺序和时间间隔参照文献[19-20]的研究设置.脑力疲劳诱导之后的后续测试耗费总时长约10 min,处于脑力疲劳的有效影响范围^[2,21].上述测试在温度 $18.0\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 25.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和湿度 $32\%\sim 57\%$ 的环境中进行,测试开展的时间介于8:00-11:00和13:00-17:00,测试过程中除了强调必要的测试要求外,不给予受试者额外的口头鼓励.此外,为了降低实验过程中的评价偏倚,脑力疲劳干预和协调表现测试两部分由经过严格培训的不同工作人员分别实施,即对结果评价人员实施盲法.2次正式测试课的具体流程详见图1(b).

1.3 干预处理

1.3.1 实验组

脑力疲劳的诱导选择45 min的电脑版STROOP任务^[8,16].研究显示,该任务受试者需要投入持续的注意力和反应抑制,持续时间 ≥ 30 min,能够有效诱导脑力疲劳^[4,8].该任务在独立、安静的房间进行,使用

E-prime 3.0 软件运行,任务的具体操作模式详见杨威等人^[16]的文献,任务进行过程中安排工作人员 1 名坐于受试者身后,用以确保受试者认真投入任务.

1.3.2 对照组

脑力疲劳的对照处理方式为了让受试者观看相同时间纪录片《湖之传说(Tale of Lake)》.观看此类视频受试者的脑力疲劳及情绪波动较小,具有良好的对照效果^[8,16].观看使用 STROOP 任务同台电脑,在实验组相同房间、环境及同一名工作人员的监督下完成.

1.3.3 诱导效果评价

脑力疲劳成功诱导的评价标准参考现有众多研究确定^[3-4,22],主要依据以下几点:1)实验组任务后的 VAS-MF 和任务前后的 VAS-MF 差值显著高于对照组(核心依据);2)实验组任务后的 VAS-ME、BRUMS-F、BRUMS-V,任务前后的 RBRUMS-F 和 BRUMS-V 的差值以及任务过程中的 HR 显著高于或低于对照组(次要依据);3)实验组 STROOP 任务过程中 RT 延长或/和 ACC 下降(次要依据).

1.4 协调表现测试

现有文献常把协调表现分为一般和专项协调表现两类^[9,23].本文对足球运动员的一般和专项协调表现分别进行测量,共同评价足球运动员的协调表现.足球运动员一般协调表现的测量采用“哈勒循环测试”^[14,24](HCT 测试),该测试受试者需要进行 2 次,期间使用 COD Timer 应用(高速摄像软件,安装于 iPhone13 手机,记录 2 次髌前上棘与出发/终点线重合之间的时间)^[25-26]记录成绩.该应用与光电计时门(金标准)测量本类似测试成绩之间的误差为 0.03~0.04 s,相关性>0.96.测试结束,取 2 次测试成绩的均值用于分析.

足球运动员专项协调表现的评价采用速度运球测试(SDT 测试)^[23,27-28].为了使测试更加规范,进一步细化测试要求,即测试期间要求受试者人和球不触碰标志桶和长方体等障碍物,运球时足球距离受试者的身体始终处于 1 m 以内.该测试受试者同样需要进行 2 次,使用秒表记录受试者的测试成绩.使用秒表测量本研究类似测试的精准度较好^[25],其与光电门之间的相关性>0.95,误差为 0.05 s.测试过程中,为避免出发快慢(脑力疲劳对出发反应时可能存在负面影响)对协调表现评价的可能影响,主要记录受试者出发时脚触球瞬间(开始)至最后用脚停住球瞬间(结束)所用的耗时作为测试的成绩,测试结束,取 2 次测试的平均值用于分析.

HCT 和 SDT 两项测试均由 2 名经过严格培训且经验丰富的工作人员实施(取 2 名工作人员测量成绩的均值作为每 1 次测试的成绩).

1.5 指标采集与测量

1.5.1 主观指标

VAS-MO、VAS-MF 和 VAS-ME 指标的测量均使用 100 mm 的 VAS 视觉模拟评分量表^[15-16].使用时受试者需要根据工作人员的指导,在纸质版的 VAS 量表上标注出反映当前动机/脑力疲劳/大脑努力水平的最佳位置.心境状态的采集使用汉化版的 BRUMS 心境量表^[17].该量表由愤怒、困惑、抑郁、疲劳、紧张以及活力 6 个分量表 23 个条目组成,每个条目的问题使用 5 分李克特方法回答(0 代表一点都没有,4 代表非常多).基于研究目的,本研究仅使用疲劳(BRUMS-F)和活力(BRUMS-V)两个分量表的得分.RPE 量表有

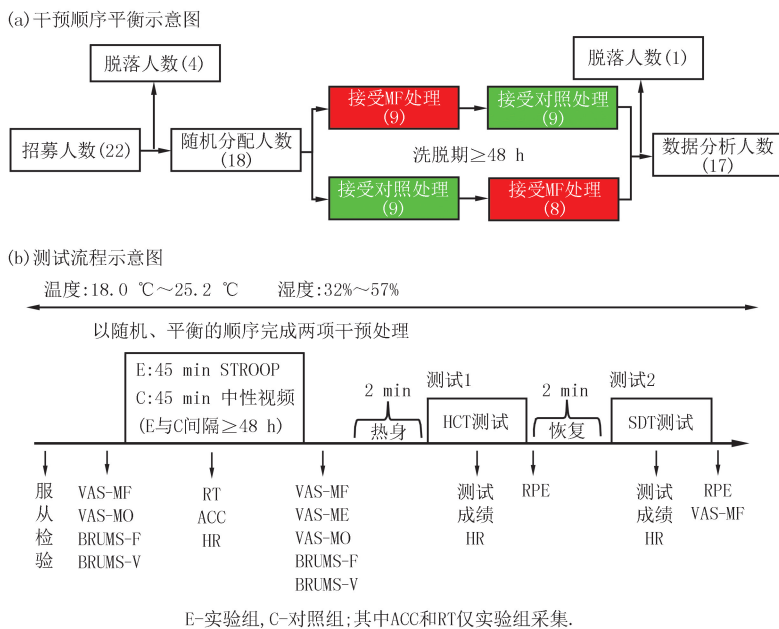


图1 干预顺序平衡和测试流程示意图
Fig.1 Treatment counterbalancing and test flow chart

(6~20)15 个等级,代表不同程度的主观努力/疲劳,如 6 代表一点都不费力,13 代表有点吃力.使用时让受试者正对量表用手指指出或口头报出对应的主观努力/疲劳等级.

1.5.2 认知指标

RT 和 ACC 由 STROOP 任务运行软件 E-prime 3.0 自动采集后导入 EXCEL 进行计算,参照文献[1, 29],主要取任务开始 0~9 min 和结束前 9 min(36~45 min)受试者的 RT 和 ACC 用于分析.数据处理过程中,ACC 指标直接使用原始数据,RT 指标剔除无反应(>1 500 ms)以及数值低于 200 ms 的数据^[29-30].

1.5.3 生理指标

HR 指标采用 Polar 心率带采集,采样频率为 1 Hz,数据采集完毕,主要选取干预处理全程以及协调表现测试过程(不含恢复过程)心率的平均值用于分析,HR 数据由心率带匹配软件 Polar Team 自动计算给出.

1.6 统计学分析

使用 SPSS 20.0 软件对得到的数据进行统计学分析.采用 Shapiro-Wilk 方法和直方图对数据的正态分布进行检验.根据数据正态分布情况检验的结果,VAS-MF(任务前/后/前后差值/SDT 测试结束)、VAS-ME(任务后)、VAS-MO 和 BRUMS-V(任务前/后/前后差值)、HR(任务处理和运动过程)、RPE(HCT/SDT 测试结束)、HCT 和 SDT 测试成绩组间的比较以及实验组 RT、ACC 指标前后的比较均采用配对样本 t 检验. BRUMS-F 指标(任务前/后/前后差值)组间的比较采用 Wilcoxon 符号秩和检验.所有统计分析基于双侧假设检验,检验水准设置为 $\alpha=0.05$.此外,配对样本 t 检验的数据报告 Cohen's 效应量(d),Wilcoxon 符号秩和检验的数据报告效应量(r),并同步呈现 r 和 d 的 95%置信区间(95%CI). d 效应量(绝对值)大小的判定标准见文献[31]; r 效应量(绝对值)大小的判定标准见文献[32].上述效应量的计算公式可见文献[32].

2 结果

脑力疲劳诱导情况如附表 I 和图 2 所示.实验组干预前的 VAS-MF 分数与对照组类似,干预后的 VAS-MF 分数显著高于对照组($t=6.610, P<0.001$),干预前后的 VAS-MF 分数差值显著高于对照组($t=7.409, P<0.001$),运动测试结束的 VAS-MF 分数显著高于对照组($t=5.627, P<0.001$).实验组干预后的 VAS-ME 分数显著高于对照组($t=10.587, P<0.001$).实验组干预前的 BRUMS-F 分数显著低于对照组($z=1.997, P=0.046$),干预后的 BRUMS-F 分数显著高于对照组($z=2.256, P=0.024$),干预前后的 BRUMS-F 分数差值显著高于对照组($z=2.738, P=0.006$).实验组干预前和干预后的 BRUMS-V 分数均与对照组类似,但干预前后的 BRUMS-V 分数差值要显著高于对照组($t=2.370, P=0.031$).实验组干预过程中的 HR 显著高于对照组($t=2.509, P=0.023$).实验组任务结束前 9 min 的 RT 和 ACC 均与任务刚开始 9 min 类似.其他指标 VAS-MO 分数,HR,RPE 等在实验组和对照组间均无显著差异.

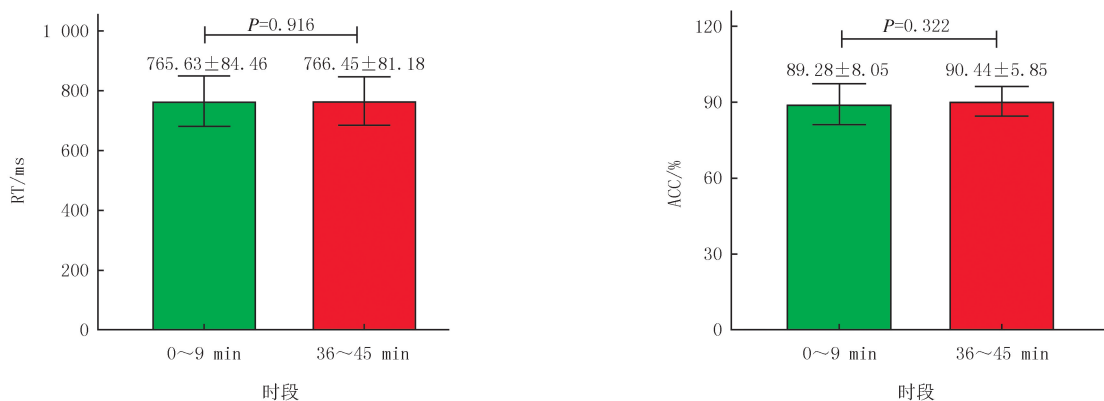


图2 STROOP任务过程RT和ACC指标的变化

Fig.2 Changes of RT and ACC during STROOP task

受试者协调表现测试的成绩如图 3 所示.测试结果显示,实验组 HCT 测试的成绩有低于对照组的趋势

(时间越长代表成绩越差),但未达到统计学上的显著性水平($t = 1.779, P = 0.094, d = 0.431, 95\% \text{CI}$ 为 $-0.073 \sim 0.923$).实验组 SDT 测试的成绩显著低于对照组($t = 2.335, P = 0.033, d = 0.566, 95\% \text{CI}$ 为 $0.045 \sim 1.072$).

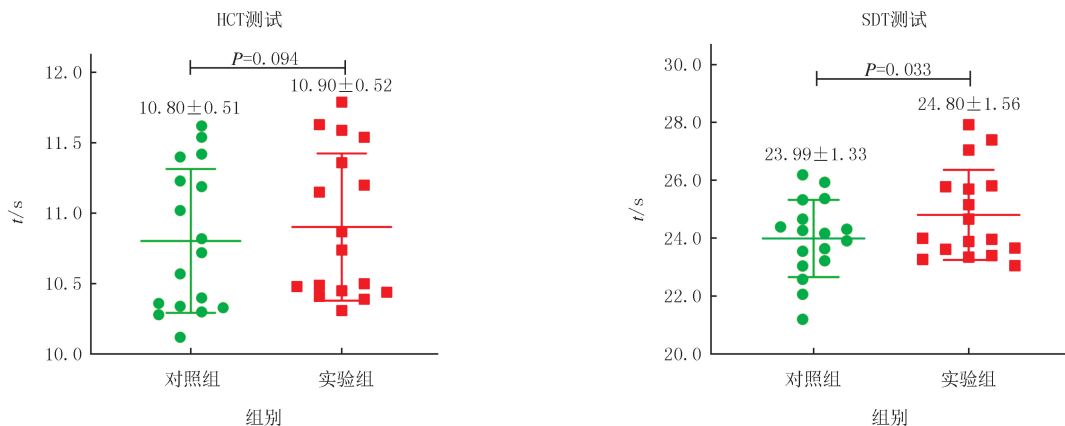


图3 实验组和对照组协调表现测试成绩

Fig.3 Coordination performance of two conditions

3 讨论

3.1 脑力疲劳诱导情况

STROOP 是目前竞技体育领域脑力疲劳诱导的最为常用方案.研究显示,使用该方案达到一定时长($\geq 30 \text{ min}$),可以成功诱导脑力疲劳^[3-4,15].本文 45 min STROOP 任务成功诱导了脑力疲劳,这主要体现在脑力疲劳核心指标 VAS-MF 的变化上,具体为任务前两组的 VAS-MF 分数基线类似($d = -0.073$,微量效应量),任务后实验组的 VAS-MF 分数显著高于对照组($d = 1.603$,大效应量),任务前后实验组 VAS-MF 的上升幅度远高于对照组($d = 1.797$,大效应量),与文献^[8,33-34]一致.除了核心指标 VAS-MF,VAS-ME、BRUMS-F、BRUMS-V、HR 众多次要指标的变化也反映了脑力疲劳的诱导情况,与文献^[35-37]一致,间接确认了 STROOP 任务有较好的脑力疲劳诱导效果.此外,本文还测量了 SDT 测试结束即刻的 VAS-MF,结果显示,实验组 SDT 测试结束即刻的 VAS-MF 分数虽较任务结束即刻略有下降,但仍然显著高于对照组此时的 VAS-MF 分数,并保持了较大的效应量差异($d = 1.365$).由此可见,脑力疲劳产生以后难以在短时间内快速消退.该结果支持了文献^[2,21]的研究结论.综上所述,本文 45 min STROOP 任务具有较好的脑力疲劳诱导效果,并且这种效果短时间难以消退.

3.2 脑力疲劳对协调表现的影响

本文发现脑力疲劳对足球运动员的协调表现存在负面影响,这主要表现为实验组的 HCT 测试成绩有低于对照组的趋势($P = 0.094$),SDT 测试成绩显著低于对照组($P = 0.033$),两项协调测试的成绩在脑力疲劳情况下均出现了一定程度下降,下降幅度接近中等效应量(d 分别为 0.431 和 0.566).由此可见,脑力疲劳一定程度负面影响了足球运动员的协调表现.鉴于协调是有着一定认知或执行功能需求的运动能力(如研究发现运动员参与协调任务时需要投入持续的注意力、认知加工和感知觉技术等因素^[13]),脑力疲劳对足球运动员协调表现的影响可能与脑力疲劳对认知或执行功能的负面影响有关,即长时间的认知活动产生了脑力疲劳,脑力疲劳作用的主要脑区为前额叶皮层和前扣带皮层,上述脑区作为人体执行功能的重要控制/参与区域在脑力疲劳的作用下影响了情绪加工与控制、自我调节、表现监控、错误纠正/故障处理、努力/奖励程序、注意力分配、动作准备和决策等一系列执行功能的良好发挥^[5,38-39],间接影响了足球运动员的协调表现.脑力疲劳对足球运动员协调表现的负面影响还可以用心理学领域的自我控制力量模型解释,该模型认为人体的自我控制能力是有限的,并且决定着许多竞技能力的表现(如技术、决策等),受试者在运动任务前进行高强度和高努力的任务(如脑力疲劳任务)会消耗此能力,该能力的下降会导致受试者在随后的相关任务(如

协调任务)中不能投入更多的自我控制,从而导致这些任务的表现下降^[40-41].BOTVINICK^[42]、MACMAHON^[40]等学者提出的认知控制理论同样一定程度解释了脑力疲劳对足球运动员协调表现的负面影响,该理论指出受试者完成任何新的认知活动,特别是该认知活动存在反应冲突时(如 STROOP 任务),受试者的认知系统会实施一个控制程序来使该活动/任务变得更加简单,该控制程序的使用会降低受试者认知系统的灵活性,影响后续任务新控制程序的形成和实施,即 STROOP 任务过程中认知系统控制程序的实施干扰了足球运动员协调任务过程中新控制程序的形成和实施,从而无法使协调任务变得简单(降低了协调表现).本文的结果也得到了类似研究的支持.研究显示,脑力疲劳同样会通过执行功能的负面影响,下调运动员的技术和决策表现^[8,15,31,34].此外,脑力疲劳对足球运动员专项协调表现影响要略大于一般协调表现(效应量:0.566 vs.0.431),究其原因,可能与专项任务的复杂程度更高,对认知的需求更大有关.如 ROMMERS 等人^[9]指出,良好的一般协调表现是运动员发挥专项协调表现的基础.综上所述,脑力疲劳会负面影响足球运动员的协调表现,并且这种负面影响在专项协调表现中可能更大.

3.3 脑力疲劳对其他指标的影响

参照其他文献^[3-4],测量了足球运动员参加脑力疲劳诱导及协调表现任务的 VAS-MO,协调表现测试过程中的 HR 和 RPE 等生理和感知觉方面容易影响协调表现测试成绩指标的数值,试图进一步明确脑力疲劳影响协调表现的可能机制.研究结果显示,有无脑力疲劳情况下受试者上述指标的数值类似,由此可见,脑力疲劳对协调表现的负面影响鲜有可能源于上述生理和感知觉方面指标的变化.本文生理和感知觉方面指标测量的结果与脑力疲劳是否影响技术表现^[34,43]以及脑力疲劳是否影响决策表现^[44]的相关研究结果一致,一定程度支持了“脑力疲劳负面影响协调表现可能源于运动员执行功能受损”的推论.

3.4 局限性

首先,受试者运动水平相对较低,且数量有限;其次,脑力疲劳的诱导主要采用了 45 min STROOP 任务,协调表现的评价主要采用 HCT 和 SDT 测试,相关结果是否可以推广至更长时间的 STROOP 任务、其他脑力疲劳方案和协调表现测试还有待商榷.

4 结 论

脑力疲劳对足球运动员协调表现存在负面影响,并且这种影响在专项协调任务中可能更大.基于上述结论,足球比赛中运动员协调表现的下降可能与脑力疲劳有关,并且建议运动员在协调表现评估、训练和足球比赛前,尽量避免刷手机、玩游戏等易产生脑力疲劳的活动.

附 录

附表 I 见电子版(DOI:10.16366/j.cnki.1000-2367.2023.05.018).

参 考 文 献

- [1] MARCORA S M, STAIANO W, MANNING V. Mental fatigue impairs physical performance in humans[J]. *Journal of Applied Physiology*, 2009, 106(3): 857-864.
- [2] SMITH M R, CHAI R, NGUYEN H T, et al. Comparing the effects of three cognitive tasks on indicators of mental fatigue[J]. *The Journal of Psychology*, 2019, 153(8): 759-783.
- [3] VAN CUTSEM J, MARCORA S, DE PAUW K, et al. The effects of mental fatigue on physical performance: a systematic review[J]. *Sports Medicine*, 2017, 47(8): 1569-1588.
- [4] PAGEAUX B, LEPERS R. The effects of mental fatigue on sport-related performance[J]. *Progress in Brain Research*, 2018, 240: 291-315.
- [5] SMITH M R, THOMPSON C, MARCORA S M, et al. Mental fatigue and soccer: current knowledge and future directions[J]. *Sports Medicine*, 2018, 48(7): 1525-1532.
- [6] THOMPSON C J, NOON M, TOWLSON C, et al. Understanding the presence of mental fatigue in English academy soccer players[J]. *Journal of Sports Sciences*, 2020, 38(13): 1524-1530.
- [7] SMITH M R, MARCORA S M, COUTTS A J. Mental fatigue impairs intermittent running performance[J]. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2015, 47(8): 1682-1690.
- [8] BADIN O O, SMITH M R, CONTE D, et al. Mental fatigue: impairment of technical performance in small-sided soccer games[J]. *Interna-*

- tional Journal of Sports Physiology and Performance,2016,11(8):1100-1105.
- [9] ROMMERS N, MOSTAERT M, GOOSSENS L, et al. Age and maturity related differences in motor coordination among male elite youth soccer players[J]. Journal of Sports Sciences, 2019, 37(2):196-203.
- [10] LEE S, KIM H, KIM J. The Functional Movement Screen total score and physical performance in elite male collegiate soccer players[J]. Journal of Exercise Rehabilitation, 2019, 15(5):657-662.
- [11] DI PAOLO S, ZAFFAGNINI S, PIZZA N, et al. Poor motor coordination elicits altered lower limb biomechanics in young football(soccer) players: implications for injury prevention through wearable sensors[J]. Sensors, 2021, 21(13):4371.
- [12] STONE K J, OLIVER J L. The effect of 45 minutes of soccer-specific exercise on the performance of soccer skills[J]. International Journal of Sports Physiology and Performance, 2009, 4(2):163-175.
- [13] COUTINHO D, GONÇALVES B, TRAVASSOS B, et al. Mental fatigue and spatial references impair soccer players' physical and tactical performances[J]. Frontiers in Psychology, 2017, 8:1645.
- [14] 徐飞, 谢浩, 徐玉明. 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, 2017, 53(3):71-77.
XU F, XIE H, XU Y M. The effect of rope skipping on dynamic balance and coordination in juvenile football player[J]. China Sport Science and Technology, 2017, 53(3):71-77.
- [15] SMITH M R, COUTTS A J, MERLINI M, et al. Mental fatigue impairs soccer-specific physical and technical performance[J]. Medicine and Science in Sports and Exercise, 2016, 48(2):267-276.
- [16] 杨威, 顾正秋, 陈美霞, 等. 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[J]. 体育科学, 2022, 42(5):68-76.
YANG W, GU Z Q, CHEN M X, et al. Effects of mental fatigue on agility, explosive strength of low-limb and balance in soccer players[J]. China Sport Science, 2022, 42(5):68-76.
- [17] ZHANG C Q, SI G Y, CHUNG P K, et al. Psychometric properties of the Brunel Mood Scale in Chinese adolescents and adults[J]. Journal of Sports Sciences, 2014, 32(15):1465-1476.
- [18] BORG G. Borg's perceived exertion and pain scales[M]. Champaign: Human Kinetics, 1998:31.
- [19] WEERAKKODY N S, TAYLOR C J, BULMER C L, et al. The effect of mental fatigue on the performance of Australian football specific skills amongst amateur athletes[J]. Journal of Science and Medicine in Sport, 2021, 24(6):592-596.
- [20] SILVA-CAVALCANTE M D, COUTO P G, DE ALMEIDA AZEVEDO R, et al. Mental fatigue does not alter performance or neuromuscular fatigue development during self-paced exercise in recreationally trained cyclists[J]. European Journal of Applied Physiology, 2018, 118(11):2477-2487.
- [21] BROWNSBERGER J, EDWARDS A, CROWTHER R, et al. Impact of mental fatigue on self-paced exercise[J]. International Journal of Sports Medicine, 2013, 34(12):1029-1036.
- [22] GATTONI C, ONEILL B V, TAPERI C, et al. The effect of mental fatigue on half-marathon performance: a pragmatic trial[J]. Sport Sciences for Health, 2021, 17(3):807-816.
- [23] TESSITORE A, PERRONI F, CORTIS C, et al. Coordination of soccer players during preseason training[J]. Journal of Strength and Conditioning Research, 2011, 25(11):3059-3069.
- [24] TRECROCI A, CAVAGGIONI L, CACCIA R, et al. Jump rope training: balance and motor coordination in preadolescent soccer players[J]. Journal of Sports Science & Medicine, 2015, 14(4):792-798.
- [25] CHEN Z L, BIAN C, LIAO K F, et al. Validity and reliability of a phone app and stopwatch for the measurement of 505 change of direction performance: a test-retest study design[J]. Frontiers in Physiology, 2021, 12:743800.
- [26] BALSALOBRE-FERNÁNDEZ C, BISHOP C, BELTRÁN-GARRIDO J V, et al. The validity and reliability of a novel app for the measurement of change of direction performance[J]. Journal of Sports Sciences, 2019, 37(21):2420-2424.
- [27] ROSCH D, HODGSON R, PETERSON L, et al. Assessment and evaluation of football performance[J]. The American Journal of Sports Medicine, 2000, 28(5 Suppl):29-39.
- [28] TASKIN H. Evaluating sprinting ability, density of acceleration, and speed dribbling ability of professional soccer players with respect to their positions[J]. Journal of Strength and Conditioning Research, 2008, 22(5):1481-1486.
- [29] KOSACK M H, STAIANO W, FOLINO R, et al. The acute effect of mental fatigue on badminton performance in elite players[J]. International Journal of Sports Physiology and Performance, 2020, 15(5):632-638.
- [30] 李美玲, 张力为, 屈子圆, 等. 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, 2019, 39(6):36-47.
LI M L, ZHANG L W, QU Z Y, et al. The effects of mental fatigue on cognitive control and the moderating role of reward[J]. China Sport Science, 2019, 39(6):36-47.
- [31] SMITH M R, ZE UWTS L, LENOIR M, et al. Mental fatigue impairs soccer-specific decision-making skill[J]. Journal of Sports Sciences, 2016, 34(14):1297-1304.
- [32] FRITZ C O, MORRIS P E, RICHLER J J. Effect size estimates: current use, calculations, and interpretation[J]. Journal of Experimental Psychology General, 2012, 141(1):2-18.

- [33] LOPES T R, OLIVEIRA D M, SIMURRO P B, et al. No sex difference in mental fatigue effect on high-level runners' aerobic performance [J]. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2020, 52(10): 2207-2216.
- [34] TRECROCI A, BOCCOLINI G, DUCA M, et al. Mental fatigue impairs physical activity, technical and decision-making performance during small-sided games [J]. *PLoS One*, 2020, 15(9): e0238461.
- [35] PAGEAUX B, MARCORA S M, LEPERS R. Prolonged mental exertion does not alter neuromuscular function of the knee extensors [J]. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2013, 45(12): 2254-2264.
- [36] CAMPOS B T, PENNA E M, RODRIGUES J G S, et al. Influence of mental fatigue on physical performance, and physiological and perceptual responses of judokas submitted to the special judo fitness test [J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2022, 36(2): 461-468.
- [37] FILIPAS L, GALLO G, POLLASTRI L, et al. Mental fatigue impairs time trial performance in sub-elite under 23 cyclists [J]. *PLoS One*, 2019, 14(6): e0218405.
- [38] MARTIN K, MEEUSEN R, THOMPSON K G, et al. Mental fatigue impairs endurance performance: a physiological explanation [J]. *Sports Medicine*, 2018, 48(9): 2041-2051.
- [39] FUNAHASHI S, ANDREAU J M. Prefrontal cortex and neural mechanisms of executive function [J]. *Journal of Physiology*, 2013, 107(6): 471-482.
- [40] MACMAHON C, PARRINGTON L, PICKERING T, et al. Understanding the effects of cognitive tasks on physical performance: a constraints framework to guide further research [J]. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 2021(45): 1-35.
- [41] ENGLERT C, PAGEAUX B, WOLFF W. Self-control in sports [J]. *Essentials of Exercise and Sport Psychology*, 2020, 22: 509-529.
- [42] BOTVINICK M M, BRAVER T S, BARCH D M, et al. Conflict monitoring and cognitive control [J]. *Psychological Review*, 2001, 108(3): 624-652.
- [43] MOREIRA A, AOKI M S, FRANCHINI E, et al. Mental fatigue impairs technical performance and alters neuroendocrine and autonomic responses in elite young basketball players [J]. *Physiology & Behavior*, 2018, 196: 112-118.
- [44] FORTES L S, LIMA-JUNIOR D, BARBOSA B T, et al. Effect of mental fatigue on decision-making skill and visual search behaviour in basketball players: an experimental and randomised study [J]. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 2022: 1-20.

Mental fatigue impairs motor coordination performance in soccer

Yang Wei^{1,2}, Huang Huanyu³, Peng Fei³, Li Yongming^{1,4}

(1. School of Athletic Performance, Shanghai University of Sport, Shanghai 200438, China; 2. Department of Physical Education, Xiamen University of Technology, Xiamen 361024, China; 3. College of Physical Education and Health Sciences, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China; 4. China Institute of Sport Science, Beijing 100061, China)

Abstract: [Objective] Investigate the effects of mental fatigue on motor coordination performance in soccer. [Methods]

In this randomized crossover study, male amateur soccer players were involved in STROOP task for MF induction (experimental group) or emotionally neutral video watching as control (control group) in randomly counterbalanced order. After treatment, participants were instructed to participate in motor coordination performance test. Mental fatigue, mental effort, motivation and rating of perceived exertion pre-post treatment or during treatment were mainly collected using VAS, BRUMS and RPE scale. [Results] The baseline level of almost indicators of experiment group were similar to that of control group, while average of heart rate during treatment and mental fatigue, mental effort and BRUMS-fatigue post-treatment of experimental group were higher than that of control group. The speed dribbling test performance (one of the two motor coordination performance tests) was reduced in the condition of mental fatigue. The rating of perceived exertion and average of heart rate during two motor coordination tests were not significantly affected by mental fatigue. [Conclusion] Mental fatigue impairs soccer players' motor coordination performance, which may contribute to the decline of coordination performance in soccer match.

Keywords: mental fatigue; physical performance; motor coordination; soccer; randomized crossover study

[责任编辑 杨浦 刘洋]

附表 I 实验组和对照组任务处理、协调表现测试过程相关指标比较

Attached tab. I Comparison of relevant indicators during task and coordination performance test for experimental and control group

指标	时间点	组别		配对 t /秩和检验		d/r	95% CI	
		实验组	对照组	t/z	P		下限	上限
VAS-MF/mm	任务前	16.50±8.40	17.00±9.12	0.301	0.767	-0.073	-0.548	0.404
	任务后	58.88±19.73	26.70±9.72	6.610	<0.001	1.603	0.865	2.320
	前后差值	42.38±15.66	9.71±8.36	7.409	<0.001	1.797	1.007	2.565
	运动结束	52.64±13.77	30.09±8.27	5.267	<0.001	1.365	0.686	2.022
VAS-ME/mm	任务后	59.65±14.26	17.56±11.33	10.587	<0.001	2.568	1.557	3.560
VAS-MO/mm	任务前	66.97±15.10	68.35±16.02	0.512	0.616	-0.214	-0.599	0.355
	任务后	59.91±18.22	65.29±14.87	1.675	0.113	-0.406	-0.896	0.095
	前后差值	-7.06±14.97	-3.05±16.18	1.023	0.322	-0.248	-0.727	0.239
BRUMS-F	任务前	1.18±1.81	1.76±1.92	1.997 ^a	0.046	-0.733	-0.932	-0.198
	任务后	3.71±3.19	2.18±3.00	2.256 ^a	0.024	0.658	0.211	0.878
	前后差值	2.53±2.32	0.41±2.27	2.738 ^a	0.006	0.800	0.480	0.932
BRUMS-V	任务前	6.94±1.30	6.29±2.17	1.009	0.328	0.245	-0.242	0.724
	任务后	4.29±1.93	5.24±2.41	1.957	0.068	-0.475	-0.970	0.035
	前后差值	-2.64±2.29	-1.06±1.92	2.370	0.031	-0.575	-1.082	-0.052
HR/min ⁻¹	任务中	77.47±9.08	73.88±7.61	2.509	0.023	0.609	0.081	1.120
	HCT 测试	139.82±11.59	140.59±9.41	0.300	0.768	-0.073	-0.548	0.404
	SDT 测试	160.71±11.01	160.53±10.75	0.099	0.922	0.024	-0.452	0.499
RPE	HCT 结束	10.82±2.72	10.29±1.99	0.759	0.459	0.184	-0.298	0.661
	SDT 结束	12.53±2.60	12.41±1.58	0.170	0.867	0.041	-0.435	0.516

注:a 代表数据的比较使用了 Wilcoxon 符号秩和检验.