DOI: 10.16835/j.cnki.1000-9817.2025116

· 心理卫生 ·

运动融合认知干预对大学生抑制控制功能的促进效果

高淑青,杨弋,张连成,颜琛力

天津体育学院国家体育总局竞技运动心理与生理调控重点实验室,天津 301617

【摘要】 **目的** 探讨身体运动与认知训练对大学生抑制控制功能的短期改善效果,并明确长期运动融合认知干预与大学生抑制控制功能之间的时间量效关系,为促进大学生抑制控制功能提供参考。**方法** 于 2022 年 5 月招募天津体育学院大学生参与干预研究,包括短时干预和长期干预。短时干预采用 2(身体运动:有、无)×2(认知训练:有、无)组间设计,参与者 69 人,随机分为运动融合认知组(18 人)、身体运动组(16 人)、认知训练组(17 人)和对照组(静坐观看健康信息视频,18 人),干预 30 min;长期干预采用 2(干预组别:干预组、对照组,组间变量)×5(干预时间:前测、1 周、4 周、6 周和 8 周,组内变量)的混合实验设计,参与者 24 人,其中干预组 13 人,进行运动融合认知干预,每周 3 次,每次 30 min;对照组 11 人,维持日常活动,未进行干预。因变量均为 Flanker 任务的正确率和反应时。使用协方差和重复测量方差分析对自变量的主效应及其交互作用进行分析。**结果** 短时干预中,在 Flanker 任务正确率上,身体运动与认知训练的交互作用有统计学意义[$F_{(1,64)}=7.05$, $P=0.01$, $\eta_p^2=0.10$],简单效应检验结果显示,有身体运动条件下,认知训练降低了反应的正确率($P=0.02$);在反应时上,大学生身体运动主效应有统计学意义[$F_{(1,65)}=14.12$, $P<0.01$, $\eta_p^2=0.18$]。长期干预中,在 Flanker 任务反应时上,干预时间的主效应有统计学意义[$F_{(4,19)}=3.03$, $P=0.04$, $\eta_p^2=0.39$],且干预组 1,4,6,8 周的干预结果[(28.13±10.32)(14.14±26.98)(13.54±25.61)(15.14±21.34) ms]均优于前测[(77.54±39.34) ms];干预组别的主效应有统计学意义[$F_{(1,22)}=6.96$, $P=0.02$, $\eta_p^2=0.24$]。**结论** 在对大学生抑制控制功能的短时干预中,身体运动效果优于认知训练;长期运动融合认知训练对大学生抑制控制功能有改善作用。

【关键词】 运动活动;认知;干预性研究;执行功能;学生

【中图分类号】 B 844.2 G 806 Q 427 【文献标识码】 A 【文章编号】 1000-9817(2025)05-0703-05

Promoting effect of exercise-integrated cognitive intervention on the inhibition control function of college students/*GAO Shuqing, YANG Yi, ZHANG Liancheng, YAN Chenli. Key Laboratory of Competitive Sport Psychological and Physiological Regulation, General Administration of Sport of China, Tianjin University of Sport, Tianjin*(301617), *China*

【**Abstract**】 **Objective** To explore the short-term improvement effect of physical exercise and cognitive training on inhibitory control function of college students, and to clarify the temporal quantitative-effectiveness relationships between long-term exercise-integrated cognitive interventions and inhibitory control function of college students, in order to provide a reference for promoting inhibitory control function in this population. **Methods** College students from Tianjin University of Sport were recruited in May 2022 to participate in the intervention study, which included both short-term and long-term interventions. The short-term intervention used a 2 (physical exercise: yes, no) × 2 (cognitive training: yes, no) between-groups design, with 69 participants randomized into a movement integration cognitive group ($n=18$), a physical exercise group ($n=16$), a cognitive training group ($n=17$), and a control group (sedentary viewing of a health information video, $n=18$), for a 30-min intervention.The long-term intervention used a mixed experimental design with a 2 (intervention groups; intervention group, control group, between-group variable) ×5 (intervention time: pre-test, 1 week, 4 weeks, 6 weeks, and 8 weeks, within-group variable) mixed experimental design with 24 participants, including 13 in the intervention group, who underwent the exercise-integrated cognitive intervention for 30 min, 3 times per week, and 11 in the control group, who maintained their daily activities without the intervention. The main effects of the independent variables and their interactions were analyzed using covariance and repeated measures ANOVA. **Results** There was a statistically significant interaction between physical exercise and cognitive training on accuracy of the Flanker task for the short intervention[$F_{(1,64)}=7.05$, $P=0.01$, $\eta_P^2=0.10$], and the simple effect test showed that cognitive training reduced accuracy of responses in the presence of physical exercise condition($P=0.02$), and the main effect of physical exercise among college students was significant for the reaction time [$F_{(1,65)}=14.12$, $P<0.01$, $\eta_p^2=0.18$]; for Flanker task reaction time in the long-term intervention, the main effect of intervention time was significant[$F_{(4,19)}=3.03$, $P=0.04$, $\eta_P^2=0.39$].However, the intervention results of 1, 4, 6 and 8 weeks in the

【基金项目】 教育部人文社会科学研究一般项目(23YJAZH035)

【作者简介】 高淑青(1981-),女,山西省人,博士,副教授,主要研究方向为运动与锻炼心理学。

intervention group [(28.13±10.32) (14.14±26.98) (13.54±25.61) (15.14±21.34) ms] were all better than the pre-test [(77.54±39.34) ms], the main effect of intervention group was significant [$F_{(1,22)}=6.96$, $P=0.02$, $\eta=0.24$]. **Conclusion** In a short-term intervention for inhibitory control function in college students, physical exercise is more effective than cognitive training; long-term exercise and cognitive training can improve the inhibitory control function of college students.

【Keywords】 Motor activity; Cognition; Intervention studies; Executive function; Students

抑制控制指个体有意识地抑制主导或优势反应的能力,或抑制环境中无关信息的干扰,集中处理相关信息的能力[1],其与许多认知和行为问题(成瘾、拖延、暴力、学业不良、注意力缺陷等)有关[2-6]。身体运动[7-8]和认知训练[9-10]是改善抑制控制功能的重要干预方式。有研究将二者结合起来,使用运动视频游戏对儿童的抑制控制功能进行短期干预,验证了认知参与在运动视频游戏干预中的主导作用,研究表明认知训练对个体抑制控制功能可能较身体运动更具优势[11]。这符合认知刺激假说的观点,即体育活动中的认知参与激活与控制高阶认知过程相关的大脑区域,从而提高个体的认知能力,且后续的认知任务表现更好[12]。然而,Best 等[13]对 6~9 岁儿童进行短期游戏干预,发现身体运动可以提高儿童解决冲突性视觉空间刺激干扰的速度,而认知参与未影响认知表现;这个结果可以用唤醒理论解释,该理论认为运动增加了大脑皮层血流量,优化了认知资源的分配,促进了认知加工效率的提升[14]。基于此,本研究通过短时干预探索身体运动对抑制控制功能的促进是否优于认知训练,另通过长期干预探索运动融合认知干预是否能够促进大学生抑制控制功能及其时间剂量效应关系,为促进大学生抑制控制功能提供参考。

1 对象与方法

1.1 对象 通过 G * Power 3.1 软件对样本量进行先验计算,统计方式选择方差分析中的组间重复测量设计,计算出短时干预每组样本量为 17 人,长期干预每组 8 人。2022 年 5 月在天津体育学院招募研究对象,为避免参与者流失等问题,短时干预招募 72 名大学生,中途退出 3 名,剩余有效参与者 69 名;平均年龄(24.00±2.47)岁,其中男生 33 名,女生 36 名。长期干预重新招募 26 名大学生,中途退出 2 名,剩余有效参与者 24 名;平均年龄(24.19±1.69)岁,其中男生 13 名,女生 11 名,参与者均为无规律性体育锻炼和视频游戏者。所有参与者身体健康,右利手,无运动禁忌。本研究获得参与者知情同意,并经过天津体育学院伦理委员会批准(编号:TJUS2021-006)。

1.2 方法

1.2.1 干预设计 短时干预采用 2(身体运动:有、无)×2(认知训练:有、无)组间设计。长期干预采用 2(干预组别:干预组、对照组,组间变量)×5(干预时间:前测、1 周、4 周、6 周和 8 周,组内变量)的混合设计,因变量均为抑制控制任务的正确率和反应时。

短时干预分 4 组进行:第 1 组为运动融合认知组,使用任天堂 Switch 游戏机与健身环套装,完成《健身环大冒险》任务,参与者需不停地跑、跳来控制游戏任务中的人物前进,并及时躲避各种障碍物,沿途还需要收集出现在不同地点的金币,全程需要进行控制和决策。第 2 组为身体运动组,参与者跑步的同时观看健康信息视频,全程无认知任务。第 3 组为认知训练组,参与者静坐玩手机端游戏《地铁跑酷》,需要控制游戏中人物快速躲避各种障碍物,并获得金币与道具;全程需高度集中注意力,及时准确地做出反应。第 4 组为对照组,参与者静坐观看健康信息视频即可。其中,身体运动的类型为有氧中等强度的运动(最大心率的 64%~76%),认知训练为抑制控制类任务,无认知训练时,参与者观看的均为统一的健康信息视频,避免观看内容对研究的干扰,最大程度排除同一自变量水平在不同组别间的差异。长期干预分两组,干预组进行为期 8 周的运动融合认知干预,对照组未进行干预,维持原有生活状态。

研究采用经典的认知抑制的侧抑制范式——Flanker 任务评估抑制控制功能。电脑屏幕中央首先呈现注视点(500 ms),然后呈现一行字符串(1 000 ms),刺激间隔 2 000 ms。刺激包含 2 种:一致条件和不一致条件,要求参与者在保证正确的情况下尽快地对中间的字符做出反应。反应时采用不一致条件减去一致条件的反应时,正式测试分 2 个组块(block),共 92 个试次(trail)。

1.2.2 干预流程 干预活动在天津体育学院心理学实验室进行,短时干预集中在 5—6 月进行,长期干预在 5—6 月,9—10 月进行了部分补充。(1)短时干预中,首先介绍实验的基本流程和任务要求,请参与者填写个人基本信息表,并熟悉认知任务。其次,进行 Flanker 任务前测。然后采用抽签法将参与者随机分配到 4 组进行干预,运动干预前进行 5 min 热身,正式干预时长均为 30 min,中间休息 3 min,运动后整理放松,干预中和干预后均进行主观用力感(Rating of Perceived Exertion, RPE)[15]和主观认知用力感(Rating of Perceived Cognitive Engagement, RCE)[15]的测量,待心

率恢复至基础心率，进行 Flanker 任务的后测。RPE 或 RCE 要求被试根据当前的身体感受或大脑感受进行评价，评分范围均为 6～20，依次代表根本不费力（6～7 分）、极其轻松（8 分）、很轻松（9～11 分）、轻松（12～13 分）、稍累（14～15 分）、累（16～17 分）、很累（18 分）、极累（19 分）、精疲力竭（20 分）。其中 6～10 分为低强度运动/认知强度，11～15 分为中等强度运动/认知强度，16～20 分为高强度运动/认知强度。（2）长期干预中，组织干预组参与者进行为期 8 周，每周 3 次，每次 30 min 的运动融合认知干预（与短时干预内容一致），监测每次干预时的运动强度和认知强度为中等强度，在干预前和干预后 1，4，6 和 8 周分别对两组参与者进行 Flanker 任务测试。通过前期实验任务的要求和干预过程中的随访，尽量控制两组参与者除实验干预以外的身体运动和视频游戏行为。

1.3　质量控制　所有心理测量和干预均在天津体育学院心理实验室进行，资料收集和干预过程中，保证程序的标准化，主试与被试交互时避免传递诱导性或暗示性信息。本研究同时进行了干预操控有效性检查和分析。

1.4　统计学分析　使用 SPSS 23.0 软件进行数据整理和分析，正态性 Q-Q 图表明计量资料满足正态性分布，采用（$\bar{x}\pm s$）描述；计数资料用频数或百分率描述。使用协方差和重复测量方差分析等方法对自变量的主效应及其交互作用进行分析，事后检验采用 Bonferroni 方法。检验水准 $\alpha=0.05$。

2　结果

2.1　实验操控的有效性分析　保证实验对运动强度和认知强度操控的有效性，研究对 RPE 和 RCE 得分进行分析，结果显示运动融合认知组、身体运动组、认知训练组、对照组 RPE 得分分别为（13.06±1.28）（12.15±1.31）（6.71±0.43）（6.79±0.64）分，RCE 得分分别为（11.19±1.58）（6.86±0.77）（11.64±1.92）（7.04±1.22）分，4 组 RPE 得分差异有统计学意义（$F=170.18$，$P<0.01$）；进一步两两比较显示，运动融合认知组和身体运动组、认知训练组和对照组差异均无统计学意义（P 值均>0.05），其他组别两两比较差异均有统计学意义（P 值均<0.01）。4 组 RCE 得分差异有统计学意义（$F=47.25$，$P<0.01$）；进一步两两比较显示，运动融合认知组和认知训练组、身体运动组和对照组差异无统计学意义（P 值均>0.05），其他组别两两比较差异均有统计学意义（P 值均<0.01）。

2.2　短时干预对大学生抑制控制功能正确率的影响　通过平行性检验和方差齐性检验，数据符合协方差分析条件，故以前测正确率为协变量、身体运动和认知训练为自变量，后测正确率为因变量进行协方差检验，运动融合认知组、身体运动组、认知训练组、对照组后测正确率修正后分别为（0.96±0.01）（0.98±0.01）（0.97±0.01）（0.95±0.01）。

结果显示，身体运动主效应无统计学意义（$F_{(1,64)}=0.59$，$P=0.45$），认知训练的主效应无统计学意义（$F_{(1,64)}=0.42$，$P=0.52$），二者的交互作用有统计学意义［$F_{(1,64)}=7.05$，$P=0.01$，$\eta_p^2=0.10$］。简单效应检验结果显示，无身体运动时认知训练对正确率的影响无统计学意义（$P=0.15$）；在身体运动条件下，认知训练反而降低了反应的正确率（$P=0.02$）。

2.3　短时干预对大学生抑制控制功能反应时的影响　运动融合认知组、身体运动组、认知训练组、对照组前测反应时分别为（44.62±18.82）（44.16±17.05）（56.86±30.36）（59.10±26.14）ms，后测反应时分别为（37.12±15.48）（34.95±21.20）（50.93±20.55）（59.26±20.09）ms。平行性检验未满足协方差分析条件，故采用两因素前后测的重复测量方差分析对反应时数据进行分析。结果显示，组内前后测反应时差异无统计学意义［$F_{(1,65)}=3.73$，$P=0.06$］，测量时间和身体运动之间的交互作用无统计学意义［$F_{(1,65)}=0.88$，$P>0.05$］，测量时间和认知训练之间的交互作用无统计学意义［$F_{(1,65)}=0.14$，$P>0.05$］，组内与组间 3 个因素的交互作用无统计学意义［$F_{(1,65)}=0.45$，$P>0.05$］，身体运动主效应有统计学意义［$F_{(1,65)}=14.12$，$P<0.01$，$\eta_p^2=0.18$］，认知训练的主效应无统计学意义［$F_{(1,65)}=0.21$，$P=0.65$］，身体运动与认知训练的交互作用无统计学意义［$F_{(1,65)}=0.58$，$P=0.45$］。

2.4　长期干预与抑制控制的量效关系　参与者在每次干预时的目标心率、RPE 和 RCE 均与短时干预基本相同，保证了干预的有效性。对正确率进行重复测量方差分析，结果显示，干预时间的主效应无统计学意义［$F_{(4,18)}=1.03$，$P=0.42$］，干预组别的主效应无统计学意义［$F_{(1,21)}=1.71$，$P=0.21$］，干预时间与干预组别的交互作用无统计学意义［$F_{(4,18)}=2.28$，$P=0.10$］。对反应时进行重复测量方差分析，结果显示，干预时间的主效应有统计学意义［$F_{(4,19)}=3.03$，$P=0.04$，$\eta_p^2=0.39$］，干预组别的主效应有统计学意义［$F_{(1,22)}=6.96$，$P=0.02$，$\eta_p^2=0.24$］，干预时间与干预组别的交互作用无统计学意义［$F_{(4,19)}=1.38$，$P=0.28$］。见表 1。

为进一步明确干预与抑制控制功能之间的时间量效关系，本研究对干预组不同干预时长的反应时进行两两比较，结果显示，在维持正确率不变的情况下，1 周的干预对大学生抑制控制任务反应时有明显的提

升作用($P=0.01$),之后的干预仅起到维持作用($P<0.05$),表明 1 周可能是干预的最佳周期剂量。

3 讨论

3.1 短时干预对大学生抑制控制功能的影响 短时身体运动干预抑制控制的效果优于认知训练干预,与盖笑松等[16]研究结果基本一致。究其原因可能一方面是基于唤醒理论,运动提高身体唤醒水平,调节脑血管的血氧饱和度、脑源性神经营养因子等,诱发脑神经可塑性环境和脑神经短暂重塑,使个体能集中更多注意资源、有效排除干扰[17],提高了抑制控制任务的表现;另一方面是自我控制的力量模型[18]认为自我控制能力有限,且实施的过程会消耗自我资源、产生自控损耗[19-20],自我控制能力的暂时下降会对后续认知任务产生不利影响。基于此模型的解释,若先前任务消耗大量的控制资源,后续控制任务的成绩就会下降;本研究认知训练干预中,个体需要集中注意力控制认知和反应,且持续 30 min,如此对自控资源有较多消耗,可能会降低后续抑制控制任务的表现。

表 1 长期干预中干预组与对照组大学生干预前后正确率及反应时($\bar{x}\pm s$)

Table 1 The accuracy and reaction time before and after longterm intervention in the intervention and control groups of college students($\bar{x}\pm s$)

组别	人数	正确率					反应时/ms				
		前测	1 周	4 周	6 周	8 周	前测	1 周	4 周	6 周	8 周
干预组	13	0.94±0.04	0.95±0.02	0.96±0.03	0.96±0.04	0.95±0.03	77.54±39.34	28.13±10.32	14.14±26.98	13.54±25.61	15.14±21.34
对照组	11	0.97±0.03	0.95±0.04	0.93±0.08	0.95±0.05	0.92±0.06	64.13±31.44	62.59±46.11	55.79±69.69	56.76±57.25	51.43±44.28

短时干预整体验证了身体运动在改善抑制控制功能即时效果方面的优势,同时研究也发现,身体运动与认知训练在反应正确率上的交互作用,即无身体运动时认知训练影响无统计学意义,有身体运动时认知训练反而起到负面影响。说明身体运动和认知活动会消耗一些共同的能量或资源[21],当能量或资源急剧减少后,再完成认知任务时成绩就会下降,提示在即时效应研究时,既要把握测量的时间,又要注意干预的“度”。这可能是解释目前此领域中研究结果不一致的原因之一。有研究认为,身体运动诱发个体的神经可塑性环境,若同时进行认知训练,就可以增强认知训练对认知功能的改善效益[22-23],低认知负荷的急性运动有助于提高儿童解决情绪冲突的能力,认知负荷是影响运动后抑制控制的一个关键因素[24]。与此不同的研究表明,仅有传统的运动才会对抑制控制起到明显的促进作用,而运动视频游戏中的认知成分并不会起到更多的增值贡献[25];还有研究发现,第一人称射击类游戏对参与者的抑制控制功能有一定的损伤作用[26]。综上,运动融合认知的短时干预中,对运动和认知两个要素的量的设置较为关键,这可能会决定干预的效应。

3.2 长期干预与大学生抑制控制的量效关系 长期干预的结果显示,通过每周 3 次的运动融合认知干预促进了大学生抑制控制功能的发展,且干预 1 周就取得明显效果,结合正确率和反应时随干预时间变化的曲线,研究认为在改善大学生抑制控制功能时,1 周的运动融合认知干预最节省化,亦能达到最优效果。如前所述的认知刺激假说,认知需求高的身体运动会激活认知过程相关的特定脑区,从而获得更优的认知效益,因此,为改善个体的抑制控制功能,推荐采用运动融合认知的干预形式,以取得最优效果。另外,对于大学生而言,其认知发展水平较高,且具有较强的适应能力,1 周的干预训练达到改善效果后,其对干预有了较快的适应,可能导致后续干预对其作用的效果不明显。

本研究尚存不足:其一,研究对身体运动和认知训练的干预以短时干预为主,未来要明确两个因素在促进大学生抑制控制中的作用,可以设计长期干预实验,加以探索;其二,长期干预中未对干预方案进行个性化定制和适应性调整,该点在未来研究中也有待加强。

利益冲突声明 所有作者声明无利益冲突。

参考文献

[1] MIYAKE A, FRIEDMAN N P, EMERSON M J, et al. The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "frontal lobe" tasks: a latent variable analysis[J]. Cogn Psychol, 2000, 41(1): 49-100.

[2] MORIE K P, GARAVAN H, BELL R P, et al. Intact inhibitory control processes in abstinent drug abusers (II): a high-density electrical mapping study in former cocaine and heroin addicts[J]. Neuropharmacology, 2014, 82: 151-160.

[3] REBETEZ M M L, ROCHAT L, BARSICS C, et al. Procrastination as a self-regulation failure: the role of inhibition, negative affect, and gender[J]. Pers Individ Dif, 2016, 101: 435-439.

[4] YANG Y, RAINE A, COLLETTI P, et al. Morphological alterations in the prefrontal cortex and the amygdala in unsuccessful psychopaths.[J]. J Abnorm Psychol, 2010, 119(3): 546-554.

[5] MIRANDA C A, MELIÁ DE ALBA A, MARCO T R. Mathematical abilities and executive function in children with attention deficit hyper-

activity disorder and learning disabilities in mathematics[J]. Psicothema, 2009, 21(1): 63-69.

[6] BROWN A B, BIEDERMAN J, VALERA E M, et al. Effect of dopamine transporter gene (*SLC6A3*) variation on dorsal anterior cingulate function in attention-deficit/hyperactivity disorder[J]. Am J Med Genet B Neuropsychiatr Genet, 2010, 153B(2): 365-375.

[7] 范文敏,张国礼.错失恐惧对抑制控制的影响:急性有氧运动的干预作用[C]//中国心理学会.第二十四届全国心理学学术会议摘要集.新乡,2022:1088-1090.
FAN W M, ZHANG G L. The effect of misplaced fear on inhibitory control: the role of acute aerobic intervention[C]//Chinese Psychological Association. Abstracts of the 24th national psychology conference. Xinxiang, 2022: 1088-1090. (in Chinese)

[8] 刘焕楠,陈乐琴.运动干预对青少年儿童抑制控制功能影响的 Meta 分析[J].南京体育学院学报,2019,2(8):33-41.
LIU H N, CHEN L Q. Meta-analysis of the effect of exercise intervention on the inhibition control function of adolescents[J]. J Nanjing Sport Inst, 2019, 2(8): 33-41. (in Chinese)

[9] 丁相玲,祖静,张向葵.抑制控制训练对手机依赖大学生的干预效果[J].心理与行为研究,2018,16(3):342-348.
DING X L, ZU J, ZHANG X K. The effects of inhibition control training in mobile phone dependency college students[J]. Stud Psychol Behav, 2018, 16(3): 342-348. (in Chinese)

[10] SPIERER L, CHAVAN C F, MANUEL A L. Training-induced behavioral and brain plasticity in inhibitory control[J]. Front Hum Neurosci, 2013, 7: 427.

[11] FLYNN R M, RICHERT R A. Cognitive, not physical, engagement in video gaming influences executive functioning[J]. J Cogn Dev, 2018, 19(1): 1-20.

[12] BENZING V, SCHMIDT M. The effect of exergaming on executive functions in children with ADHD: a randomized clinical trial[J]. Scand J Med Sci Sports, 2019, 29(8): 1243-1253.

[13] BEST J R. Exergaming immediately enhances children's executive function[J]. Dev Psychol, 2011, 48(5): 1501-1510.

[14] AUDIFFREN M, TOMPOROWSKI P D, ZAGRODNIK J. Acute aerobic exercise and information processing: energizing motor processes during a choice reaction time task[J]. Acta Psychol, 2008, 129(3): 410-419.

[15] SCHMIDT M, BENZING V, KAMER M. Classroom-based physical activity breaks and children's attention: cognitive engagement works![J]. Front Psychol, 2016, 7: 1474.

[16] 盖笑松,许洁,闫艳,等.体感游戏促进儿童的执行功能:运动强度和认知参与的作用[J].心理学报,2021,53(5):505-514.
GAI X S, XU J, YAN Y, et al. Exergame can improve children's executive function: the role of physical intensity and cognitive engagement[J]. Acta Psychol Sin, 2021, 53(5): 505-514. (in Chinese)

[17] HILLMAN C H, PONTIFEX M B, RAINE L B, et al. The effect of acute treadmill walking on cognitive control and academic achievement in preadolescent children[J]. Neuroscience, 2009, 159(3): 1044-1054.

[18] BAUMEISTER R F, TICE V D M. The strength model of self-control[J]. Curr Direct Psychol Sci, 2007, 16(6): 351-355.

[19] 张连成,高淑青,郑程浩.自控损耗的生理、心理与脑机制研究进展[J].心理技术与应用,2019,7(7):441-448.
ZHANG L C, GAO S Q, ZHENG C H. Research progress on physiological, psychological and brain mechanism of ego-depletion[J]. Psychol Technol Appl, 2019, 7(7): 441-448. (in Chinese)

[20] BAUMEISTER R F, TICE D M, VOHS K D. The strength model of self-regulation: conclusions from the second decade of willpower research[J]. Perspect Psychol Sci, 2018, 13(2): 141-145.

[21] GAILLIOT M T. Hunger and reduced self-control in the laboratory and across the world: reducing hunger as a self-control panacea[J]. Psychology, 2013, 4(1): 59-66.

[22] MOTTA-TEIXEIRA L C, TAKADA S H, MACHADD-NILS A V, et al. Spatial learning and neurogenesis: effects of cessation of wheel running and survival of novel neurons by engagement in cognitive tasks[J]. Hippocampus, 2016, 26(6): 794-803.

[23] LI R, QU P, HU X, et al. Assessing acute effects of two motor-cognitive training modalities on cognitive functions, postural control, and gait stability in older adults: a randomized crossover study[J]. Peer J, 2024, 12: e18306.

[24] LUDYG S, GERBER M, SCHWARZ A, et al. Effects of cognitive and physical load of acute exercise on inhibitory control and prefrontal cortex hemodynamics in children[J]. Med Sci Sports Exerc, 2024, 56(7): 1328-1336.

[25] O'LEARY K C, PONTIFEX M B, SCUDDER M R, et al. The effects of single bouts of aerobic exercise, exergaming, and videogame play on cognitive control[J]. Clin Neurophysiol, 2011, 122(8): 1518-1525.

[26] DELEUZE J, CHRISTIAENS M, NUYENS F, et al. Shoot at first sight! First person shooter players display reduced reaction time and compromised inhibitory control in comparison to other video game players[J]. Comput Hum Behav, 2017, 72: 570-576.

收稿日期:2024-11-26　**修回日期**:2025-01-26　**本文编辑**:汤建军

(上接第 702 页)

[22] 梅凤鸣.同期耐力与力量训练对非体育专业大学生 800 米成绩影响的实验研究[D].长春:吉林体育学院,2024.
MEI F M. An experimental study on the influence of simultaneous endurance and strength training on 800 meter performance of non-physical education major college students[D]. Changchun: Jilin Institute of Physical Education, 2024. (in Chinese)

[23] KOSMAS C E, BOUSVAROU M D, KOSTARA C E, et al. Insulin resistance and cardiovascular disease[J]. J Int Med Res, 2023, 51(3): 655741820.

[24] ASHRAF M J, BAWEJA P. Obesity: the 'huge' problem in cardiovascular diseases[J]. Mo Med, 2013, 110(6): 499-504.

[25] SOTAK M, CLARK M, SUUR B E, et al. Inflammation and resolution in obesity[J]. Nat Rev Endocrinol, 2025, 21(1): 45-61.

[26] MCHENRY J, CARRIER N, HULL E, et al. Sex differences in anxiety and depression: role of testosterone[J]. Front Neuroendocrinol, 2014, 35(1): 42-57.

[27] WANG P, LI Q, WU L, et al. Association between the weight-adjusted-waist index and testosterone deficiency in adult males: a cross-sectional study[J]. Sci Rep, 2024, 14(1): 25574.

收稿日期:2025-04-23　**修回日期**:2025-04-27　**本文编辑**:汤建军