



记忆编码后短时有氧运动对长时记忆固化的影响

张展嘉¹, 李天晴², 张冰¹

摘要: 探讨了记忆编码后短时有氧运动对长时记忆的影响, 以及运动强度这一因素在短时有氧运动与长时记忆关系中的作用。实验选取 48 名在校大学生(男女各半), 分为控制组、低强度运动组和高强度运动组, 运动组进行 30 min 不同强度的有氧运动, 控制组则不进行运动。通过测试一周后对之前学习的中性词汇的再认成绩来评价长时记忆固化水平。结果表明, 不同有氧运动强度对长时记忆固化的影响存在差异: 高强度短时有氧运动能够显著提升长时记忆固化水平($P < 0.05$), 低强度短时有氧运动对长时记忆固化水平则不产生显著影响($P > 0.05$)。不同强度有氧运动对长时记忆的影响不随性别变化而改变。

关键词: 有氧运动; 记忆编码; 长时记忆

中图分类号: G804.8 文献标志码: A 文章编号: 1006-1207(2015)03-0049-03

Effect of Short-time Aerobic Exercise after Memory Encoding on Long-term Memory Consolidation

ZHANG Zhanjia¹, LI Tianqing², ZHANG Bing¹

(Division of Sports Science and Physical Education, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: This research explores the effect of short-time aerobic exercise after memory encoding on long-term memory, as well as the role of exercise intensity in the relationship between short-time aerobic exercise and long-term memory. 48 college students (half male and half female) were chosen as the subjects, who were randomly divided into three groups: low-intensity exercise group, high-intensity exercise group and control group. The exercise groups exercised aerobically for 30 minutes with different intensity, while the control group did no exercise. The level of long-term memory consolidation was measured one week later by testing the recognition of the neutral words learned one week before. The result shows that various exercise intensity can lead to different effects on long-term memory. High-intensity short-time aerobic exercise can improve the level of long-term memory consolidation significantly ($P < 0.05$), while low-intensity short-time aerobic exercise has little or no effect on long-term memory consolidation ($P > 0.05$). Additionally, the effects of different intensity aerobic exercises on long-term memory do not vary with gender difference.

Key Words: aerobic exercise; memory encoding; long-term memory

生命不息, 运动不止。生活中经常运动的群体往往表现出更佳的精神状态, 让人感觉其神采奕奕、精力充沛。有氧运动对体质健康的促进作用已经众所周知, 随着运动科学的不断发展, 有氧运动对记忆认知方面的作用也越来越多地被学者所研究。记忆功能是中枢神经系统的高级功能之一, 在心理学范畴中, 记忆指的是获取外界信息后对信息进行编码、储存以及再提取的过程^[1]。一直以来, 研究者从有氧运动对记忆的影响这一角度出发, 对该问题进行了长期而广泛的研究。现有的研究表明, 具有长期运动习惯的人群会比相同年龄段的人群具有更好的反应速度、准确率与记忆水平^[2-4]。有氧健身水平更高的青少年会表现出更好的再记忆能力, 研究者认为, 有氧健身给机体带来的生理结构变化对记忆编码和记忆提取的过程产生了积极

的影响^[5]。

一项有氧运动对记忆影响的荟萃分析表明, 不仅是长期的有氧运动, 短时有氧运动(10~60 min)对于记忆也有着显著的促进作用^[6]。在进行短时间的有氧运动的 1 h 内对受试者进行不同的测试, 发现受试者在记忆测试方面表现更好^[7]。同时也有研究发现, 学习记忆后进行短时有氧运动可以显著改善老年人与轻度失忆症患者的记忆, 该项结果在一项动物实验上也得到了验证^[8, 9]。虽然学习后有氧运动对于记忆固化的促进作用已经得到了大量的证明, 但是记忆编码后短时有氧运动对于长时记忆的影响并未得到充分研究, 并且运动强度这一因素的影响在人体实验中也未进行深入探讨, 目前国内 90% 以上关于运动与记忆的研究都为动物实验研究。本研究选取国内某一流大学的

收稿日期: 2014-12-22

第一作者简介: 张展嘉, 男, 在读硕士。主要研究方向: 体育与健康、运动与认知科学。

作者单位: 1. 清华大学体育部, 北京 100084; 2. 清华大学心理学系, 北京 100084



在校生为研究对象,在前人研究的基础上,探讨记忆编码后短时有氧运动与长时记忆的关系,以及有氧运动强度这一因素对记忆固化的影响。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

研究对象为国内某一流大学在校生 48 名(男 24 名,女 24 名),身体健康状况良好,无运动禁忌症,(矫正)视力和色觉正常,分为控制组、低强度组和高强度组,每组 16 人。研究对象的年龄在 18~24 岁之间,平均年龄为 21.8 ± 1.8 岁。实验当天身体状态良好,实验前没有进行较大强度的体育锻炼。

1.2 有氧运动方案

本研究在瑞典产 MONARK839E 功率自行车上实施有氧运动,功率自行车的阻力根据受试者的身体素质情况进行调节,蹬车频率保持在 50~60 转/分。本研究采用最大心率来评价运动强度,参照美国运动医学学会对有氧运动强度的分级标准^[10]以及国内一些学者的研究方案^[11],本研究低强度组有氧运动负荷设定为个体的 50%~59% 最大心率,高强度组有氧运动负荷率设定为个体的 70%~79% 最大心率。实验中使用芬兰产 POLAR 运动心率表对受试者的心率进行监控,运动至相应强度对应心率范围内开始计时,运动时间均为 30 min。此外,本研究也使用主观疲劳感觉(RPE)对运动强度实行监控。

1.3 记忆材料

从《现代汉语双字感情信息评定表》^[12]中共选取 60 个中性词汇(愉悦度 5.09 ± 0.31 , 9 点量表)^[13],其中随机抽取 30 个作为受试者在学习阶段的记忆词汇,另 30 个中性词汇将作为一周后词汇再认测试的干扰词汇。考虑到受试者在再认过程中会进行猜测,再认成绩将通过下述方式得到校正:再认率 = $(1 - \text{虚报率}) / \text{击中率} \times 100\%$,其中虚报率 = 虚报词汇数 / 30,即将干扰词汇错认为记忆词汇;击中率 = 击中词汇数 / 30,即再认正确的记忆词汇^[14]。

1.4 实验过程

本实验共有 3 种实验条件,分别是记忆编码后进行 30 min 高强度有氧运动(高强度组)、记忆编码后进行 30 min 低强度有氧运动(低强度组)或记忆编码后休息(控制组)。

实验过程主要分为 4 个阶段。在第一个阶段中,每位受试者在主试的引导下进入实验室,随机分配到高强度组、低强度组或控制组,保证每组的受试者性别男女比例为 1:1。之后,受试者将会在研究者的引导下了解实验流程与仪器。待受试者身体状态与情绪都处于较为稳定的状态时,记录受试者安静状态下的心率值,之后便可开始正式实验。

实验过程的第二个阶段是词汇学习环节。每名受试者坐在计算机前并调整至舒服的距离进行词汇学习。所有词

汇均为黑色 125 点大小,呈现于白色背景上。每个单词将呈现 2 s,随后屏幕上相继呈现 500 ms 的空屏与 500 ms 词汇间会有 500 ms 的注视点,接着呈现下一个词汇。30 个学习词汇为随机无重复呈现。全部学习词汇呈现结束后,对受试者进行词汇的自由回忆。要求受试者写出尽可能多的学习词汇,作为他们的短时记忆与记忆水平基线。回忆正确一个词汇记 1 分,回忆错误或是没有回忆出不扣分。自由回忆测试满分为 30 分。在自由回忆测试结束后,计算机屏幕呈现的指导语会告知被试不得对呈现过的词语进行回忆,实验者也会对此进行口头提醒。

在实验的第三个阶段,控制组的受试者将会被安排在房间内休息,高强度组与低强度组受试者将在功率自行车上进行 30 min 的有氧运动,低强度组受试者需保持 50%~59% 的最大心率;高强度组受试者需保持 70%~79% 的最大心率。从有氧运动开始到结束,每隔 5 min 记录一次受试者的主观体力感觉与心率,30 min 共记录 7 次。

实验中的最后一个阶段是在一周后受试者对所学词汇进行再认测试。再认测试中所用的词汇,除去 30 个记忆词汇,还有 30 个干扰词汇。记忆词汇与干扰词汇将被混合在一起,随机无重复呈现给受试者。受试者通过按键反应判断之前的学习中是否记忆过该单词,其中每组有一半受试者,记过按“F”键,没有记过按“J”键;另一半受试者记过按“J”键,没有记过按“F”键。受试者的判断将通过计算机记录,最终再认成绩根据校正公式得出。

1.5 数据统计与分析

研究利用 SPSS20.0、EXCEL2013 等软件对实验测试数据进行数理分析,计量数据均以“平均值 \pm 标准差(M \pm SD)”表示,统计方法采用单因素方差分析模型(ANOVA)、独立样本 T 检验,显著性水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果与讨论

2.1 受试者组间同质性检验

本实验对于不同组别的性别进行了很好的平衡。经单因素方差分析,不同组受试者在年龄、身高、体重、最大心率、情绪状态、安静时的心率等方面都不存在显著差异($P > 0.05$)。在自由回忆分数方面,控制组、低强度组和高强度组的自由回忆分数分别为 (8.9 ± 4.1) 、 (8.5 ± 2.8) 、 (10.4 ± 4.3) 分,组间无显著性差异($F = 0.771, P > 0.05$),表明不同组的受试者短时记忆能力没有差别。综上所述,不同组的受试者基本同质。

2.2 不同强度有氧运动对长时记忆的影响以及性别差异

图 1 表明了高强度组、低强度组、控制组的心率值在学习后 30 min 内的变化情况。其中高强度组最高为 (143.6 ± 2.0) 次/分,其次为低强度组为 (105.3 ± 3.6) 次/分,控制组最低为 (72.0 ± 9.2) 次/分。组间心率均值存在显著差异($F = 434.7, P < 0.01$),高强度组显著大于低强度组与控制组($P < 0.01$),低强度组显著大于控制组($P < 0.01$),表明本实验对运动强度这一自因素进行了有效的操控。

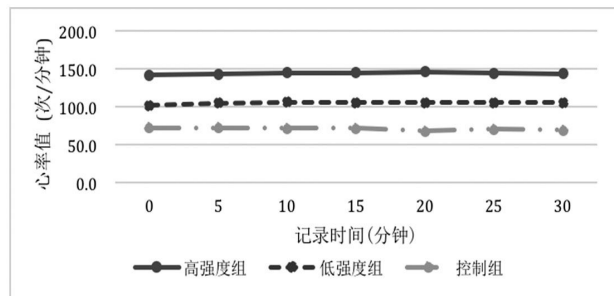


图1 不同组学习后30 min内心率均值的变化情况

Figure 1 Changes of the Heart Rate Average Value within 30min of Learning of the Different Groups

在1周后的再认成绩中,高强度组的平均再认率最高为 0.53 ± 0.12 ,控制组次之为 0.43 ± 0.08 ,低强度组最低为 0.41 ± 0.10 (见图2)。对不同组的再认成绩进行单因素方差分析,结果表明运动强度因素效应显著($F=4.45, P < 0.05$)。进一步的LSD多重比较结果表明,与控制组相比,低强度有氧运动组的再认成绩无显著差异($P > 0.05$),而高强度有氧运动组的再认成绩显著高于控制组($P < 0.05$)和低强度有氧运动组($P < 0.01$)。上述结果说明,高强度有氧运动组的长时记忆固化情况优于低强度有氧运动组和控制组,而控制组的长时记忆固化情况与低强度有氧运动组没有差别。在性别差异方面,方差分析结果显示性别因素效应不显著($F=1.54, P > 0.05$),说明男、女性别之间的再认成绩没有差异,即性别不对长时记忆固化情况产生影响。此外,多元方差分析结果显示,强度 \times 性别的交互作用不显著($F=0.10, P > 0.05$),说明学习记忆后不同强度有氧运动对长时记忆的影响不随性别变化而改变。

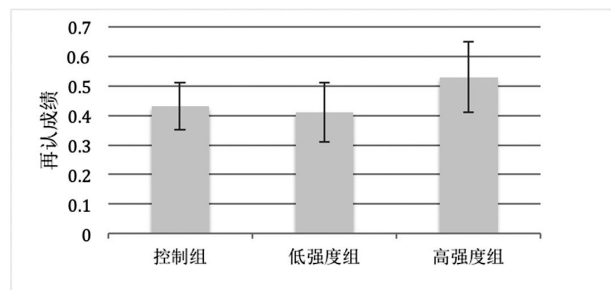


图2 各强度组间再认成绩比较

Figure 2 Comparison between the Recognition Results of the Different Intensity Groups

本研究以普通在校大学生为研究对象,揭示了学习记忆后短时有氧运动对长时记忆固化的影响。研究表明,不同强度短时有氧运动对长时记忆固化的影响存在差异,具体表现为高强度短时有氧运动能够显著提升长时记忆固化水平,而低强度短时有氧运动对长时记忆固化水平则不产生明显影响。对于高强度短时有氧运动引起的长时记忆效果固化的促进作用,可以根据有氧运动给人体带来的生理唤起进行解释。记忆的形成有赖于突触间的长时程增强效应,其固化过程发生在突触间的分子与细胞层面。短时有氧运动的过程中,肾上腺素、皮质醇、突触素等神经递质的发放得到了促进,这些都有助于加强突触的可塑性,加速记

忆固化的过程^[9, 15-17]。即,记忆编码后,短时有氧运动所引发的生理唤起促进了记忆固化的过程。这一点在许多应用相同范式的研究中都得到了证明:研究发现在被试进行学习后,若进行压力作业、吸烟(尼古丁摄入)、收听或收看带有感情色彩的音乐与视频,其对学习材料的记忆水平都显著高于控制组^[14, 18-23]。这同样是因为上述的方式都可以造成个体生理的唤起,促进各类神经递质的发放。因此,在本研究中我们可以认为,高强度短时有氧运动引起的各项生理变化促进了神经元间长时程增强效应,加强了突触间的联系,提高了长时记忆固化水平,而低强度短时有氧运动引起的生理唤起作用不足以对长时记忆固化水平产生显著提升。

3 结论与建议

3.1 结论

记忆编码后短时有氧运动能够对长时记忆固化水平产生积极影响,其中不同运动强度对长时记忆固化的影响存在差异,高强度短时有氧运动能够显著提升长时记忆固化水平,而低强度短时有氧运动对长时记忆固化水平则不产生显著影响。同时,不同强度有氧运动对长时记忆的影响不随性别变化而改变。

3.2 不足与建议

本研究探讨了记忆编码后短时有氧运动与长时记忆的关系,以及运动强度这一因素对长时记忆固化的影响,由于受试者均为在校大学生,因此不同年龄段人群是否与本研究的结果存在差异未能得到证实。此外,运动强度只是构成有氧运动的其中一个要素,有氧运动的其他构成要素(如运动类型、运动时间等)对长时记忆固化的影响未能得到揭示。后续的研究应着力弥补这些不足,关注有氧运动其他构成要素单独及其交互作用对长时记忆固化的影响,全面揭示短时有氧运动对长时记忆影响的“剂量—效应”关系。

参考文献:

- [1] Milner B, Squire L R, Kandel E R. (1998). Cognitive neuroscience and the study of memory[J]. *Neuron*, 20(3): 445-468.
- [2] Churchill J D, Galvez R, Colcombe S, et al. (2002). Exercise, experience and the aging brain[J]. *Neurobiology of aging*, 23(5): 941-955.
- [3] Colcombe S J, Erickson K I, Scalf P E, et al. (2006). Aerobic exercise training increases brain volume in aging humans[J]. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 61(11): 1166-1170.
- [4] Harada T, Okagawa S, Kubota K. (2004). Jogging improved performance of a behavioral branching task: implications for prefrontal activation[J]. *Neuroscience research*, 49(3): 325-337.
- [5] Chaddock L, Hillman C H, Buck S M, et al. (2011). Aerobic fitness and executive control of relational memory in preadolescent children[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 43(2): 344-349.

(下转第71页)



各个方面,专业教练与俱乐部之间的纠纷由劳动法庭处理。

6.11 阿根廷

该教练劳资合同事项由集体谈判协议第 662/13(1)号规制,该协议由阿根廷足协(AFA)和阿根廷足协技术指导协会(ATFA)颁布。

教练与俱乐部之间必须签订由阿根廷足协提供的标准合同,但是,实践中,为了给予教练更好的条件(和薪酬),不备案以避税的做法也很常见。这类争议由劳动法庭受理。合同签署后至少 6 个月时间,俱乐部才可以解除合同。

如果俱乐部不支付教练相应的报酬(包括直到比赛进程中的最后的报酬),那么俱乐部将不得与另一个教练签约。

集体谈判协议的条款通过对俱乐部进行严格的限制来保障教练的权利。如果俱乐部不遵守,就不能与其他教练另行签约。然而,双方也可以就提前解除合同的内容进行约定。如果俱乐部没有支付所有工资,那么教练有权在

催告俱乐部 48 h 以后解除合同。该措施保证了教练有权获得合同到期前的全部薪酬和奖金。

注释:

- 【注 1】技术指导、专业教练一级——欧洲足联专业执照;专业教练二级——欧洲足联 A 级执照;基础教练——欧洲足联 B 级执照;青年教练——欧洲足联 C 级执照;业余教练三级;青年指导;室内五人制足球一级教练;室内五人制足球教练。
- 【注 2】但存在一个相当大的管理漏洞,因为意甲集体合同的有效期限截止 2009 年。

参考文献:

- [1] UEFA. 管理欧洲足联教练培训体系和教练教育计划的指令 (the UEFA Directives governing the UEFA Coaching Convention and the UEFA Coach Education Programme)[Z]. 第 20 条。

(责任编辑:杨圣韬)

(上接第 51 页)

- [6] Roig M, Nordbrandt S, Geertsens S S, et al. (2013). The effects of cardiovascular exercise on human memory: a review with meta-analysis[J]. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 37(8): 1645-1666.
- [7] Pontifex M, Hillman C, Fernhall B, et al. (2009). The effect of acute aerobic and resistance exercise on working memory[J]. *Medicine+ Science in Sports+ Exercise*, 41(4): 927.
- [8] Segal S K, Cotman C W, Cahill L F. (2012). Exercise-induced noradrenergic activation enhances memory consolidation in both normal aging and patients with amnesic mild cognitive impairment[J]. *Journal of Alzheimer's Disease*, 32(4): 1011-1018.
- [9] Snigdha S, De Rivera C, Milgram N W, et al. (2014). Exercise enhances memory consolidation in the aging brain[J]. *Frontiers in aging neuroscience*, 6
- [10] Medicine A C O S. (2013). ACSM's guidelines for exercise testing and prescription [M]. Lippincott Williams & Wilkins.
- [11] 陈爱国, 殷恒婵, 颜军, 等. 不同强度短时有氧运动对执行功能的影响[J]. *心理学报*, 2011, 43(9): 1055-1062.
- [12] 王一牛, 周立明, 罗跃嘉. 汉语情感词系统的初步编制及评定[J]. *中国心理卫生杂志*, 2008, 22(8): 608-612.
- [13] 乔艳阳, 张庆林. 记忆编码之后的情绪对中性词语记忆巩固现象的影响[J]. *心理学探新*, 2011, 31(2): 133-137.
- [14] Nielson K A, Powless M. (2007). Positive and negative sources of emotional arousal enhance long-term word-list retention when induced as long as 30min after learning[J]. *Neurobiology of learning and memory*, 88(1): 40-47.
- [15] Dao A T, Zagaar M A, Levine A T, et al. (2013). Treadmill exercise prevents learning and memory impairment in Alzheimer's disease-like pathology[J]. *Current Alzheimer Research*, 10(5): 507.
- [16] Liu H-L, Zhao G, Cai K, et al. (2011). Treadmill exercise prevents decline in spatial learning and memory in APP/PS1 transgenic mice through improvement of hippocampal long-term potentiation[J]. *Behavioural brain research*, 218(2): 308-314.
- [17] 孙国欣, 田振军. 突触素与运动, 学习记忆的神经生物学研究进展[J]. *西安体育学院学报*, 2006, 23(3): 81-83.
- [18] Judde S, Rickard N. (2010). The effect of post-learning presentation of music on long-term word-list retention[J]. *Neurobiology of learning and memory*, 94(1): 13-20.
- [19] Liu D L J, Graham S, Zorawski M. (2008). Enhanced selective memory consolidation following post-learning pleasant and aversive arousal[J]. *Neurobiology of learning and memory*, 89(1): 36-46.
- [20] Nielson K A, Lorber W. (2009). Enhanced post-learning memory consolidation is influenced by arousal predisposition and emotion regulation but not by stimulus valence or arousal[J]. *Neurobiology of learning and memory*, 92(1): 70-79.
- [21] Nielson K A, Yee D, Erickson K I. (2005). Memory enhancement by a semantically unrelated emotional arousal source induced after learning[J]. *Neurobiology of learning and memory*, 84(1): 49-56.
- [22] Tollenaar M S, Elzinga B M, Spinhoven P, et al. (2008). The effects of cortisol increase on long-term memory retrieval during and after acute psychosocial stress[J]. *Acta Psychologica*, 127(3): 542-552.
- [23] Warburton D M, Rusted J, Fowler J. (1992). A comparison of the attentional and consolidation hypotheses for the facilitation of memory by nicotine[J]. *Psychopharmacology*, 108(4): 443-447.

(责任编辑:何聪)