

分类号
UDC

密级
编号

学校代码: 10277
学 号: 2021151033



上海体育学院

硕士学位论文 (专业硕士)

4 周中高等强度运动对 7-9 岁儿童认知能力的影响

The Effects of 4-weeks moderate-to-high-intensity exercise on cognitive ability of children aged 7-9 years

院 系: 体育教育训练学院

专 业: 体育教学

姓 名: 石春芳

指 导 教 师: 陈超 副教授

递 交 日 期: 2022 年 6 月 3 日

学位授予单位: 上海体育学院

关于论文出版授权的声明

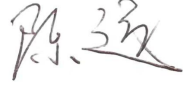
授权学校将本人的学位论文提交至清华大学“中国学术期刊（光盘版）电子杂志社”进行电子和网络出版，并编入 CNKI 系列数据库，传播本学位论文的全部或部分内容，同意按《中国优秀博硕士学位论文全文数据库出版章程》享受相关权益。

论文级别：☒硕士☐博士

专业、领域：儿童青少年体能训练理论与实践

论文题目：4 周中高等强度运动对 7-9 岁儿童认知能力的影响

作者签名：

校内导师签名：

2022 年 6 月 3 日

摘要

研究目的:

近年运动与儿童青少年认知能力关系的研究频频开展,但从成果中得知中高等强度运动对普通儿童认知能力影响的研究还存不足,即不足以解释研究生态性效度、运动强度分歧、同质性研究测评结果差异等问题。故本研究旨在与维持日常身体活动且不进行规律运动的 7-9 岁儿童对比,探析中高等强度运动干预对同龄儿童认知能力的影响效果和变化差异,以期充实中高等强度运动对认知能力量效关系的理论依据,为优化认知能力的运动方案提供参考。

研究方法:

采用文献资料法检索运动与认知能力相关的文献,综述研究成果并总结现有研究不足,拟定研究设计。运用实验法和测试法推进研究进程,据筛选标准招纳入上海市 JD 区 AY 社区 7-9 岁儿童 43 名(干预组 22 名、对照组 21 名),由三名上海体育学院研究生参照实验方案对干预组儿童进行单次约 60 分钟,累计 16 次,为期 4 周的中高等强度($\geq 60\%HR_{max}$)运动干预,对照组维持 4 周的日常身体活动且不进行规律运动;干预前后测量所有受试儿童的认知能力(抑制控制、工作记忆、认知灵活性、注意选择、注意广度)任务。数理统计法应用于运动负荷数据、认知能力数据的收集整理和 SPSS26.0 统计软件的相关数据分析,正态分布与方差齐性检验进一步检测各项数据后续应选用的统计方法,独立样本 T 检验、配对样本 T 检验及重复测量方差分析方法用于检测参数检验中两组儿童认知能力的组内、组间差异效果,威尔科克森符号秩检验、曼惠特尼 U 检验用于检测非参数检验中两组儿童认知能力的组内、组间差异效果,显著差异值设定为 $P<0.05$ 。

研究结果:

(1) 抑制控制能力上,干预组儿童一致任务反应时、不一致任务反应时、总任务反应时相比前测具有非常显著差异($P<0.01$),均值分别改善了 $217.94\pm 210.28ms$ 、 $255.74\pm 260.35ms$ 、 $229.60\pm 213.30ms$,中位数值(四分位距)分别改善 $177.15ms$ ($150.88-309.78ms$)、 $189.62ms$ ($90.24-339.49ms$)、 $177.47ms$ ($134.53-325.59ms$);对照组儿童不一致任务反应时、总任务反应时相比前测存在显著差异($P<0.05$),均值分别改善了 $76.26\pm 140.45ms$ 、 $68.65\pm 140.25ms$,中位数值(四分位距)分别缩短了 $92.80ms$ ($-1.32-158.50ms$)、 $82.86ms$ ($-36.83-158.54ms$);两组儿童正确率任务相比前测均无显著差异($P>0.05$)。

(2) 工作记忆能力上,干预组儿童空间工作记忆 1-1 任务反应时相比前测具有显著差异($P<0.05$),均值改善了 $156.00\pm 324.85ms$;两组儿童其余工作记忆任务相比前测均无显著差异($P>0.05$)。

(3) 认知灵活性能力上,干预组儿童反应时任务相比前测具有显著差异($P<0.05$),均值改善了 $182.81\pm 329.95ms$;两组儿童其余任务相比前测均无显著差异($P>0.05$)。儿童随 4 周干预时间变化在反应时任务上具有非常显著差异($P<0.01$)。

(4) 注意选择能力上,干预组儿童正确率、反应时任务相比前测均具有非常显著差异($P<0.01$),均值分别改善了 $11.10\pm 15.59\%$ 、 $147.98\pm 124.04ms$;对照组正确率任务相比前测存在显著差异($P<0.05$),均值改善了 $6.66\pm 11.43\%$,对照组正确率相比前测不具有显著差异($P>0.05$)。儿童在正确率任务上随时间变化具有非常显著差异($P<0.01$);反应时任务随时间变化具有显著差异($P<0.05$),且时间与组别存在交互作用($P<0.05$)。

(5) 注意广度能力上, 两组儿童注意广度任务相比前测均无显著差异 ($P>0.05$); 儿童在该任务表现出随时间变化具有显著差异 ($P<0.05$)。

研究结论:

(1) 中高等强度运动干预对 7-9 岁儿童认知能力的改善效果优于仅维持日常身体活动且不进行规律运动的儿童, 在范围和改善幅值上分别得以体现。儿童进行中高等强度运动后抑制控制反应时(一致任务、不一致任务、总任务)、注意选择(正确率、反应时)能力均有明显改善, 认知灵活性反应时、空间工作记忆 1-1 任务反应时能力均有改善; 不进行规律运动的儿童仅能改善抑制控制反应时(不一致任务、总任务)、注意选择正确率能力。

(2) 儿童进行中高等强度运动后认知能力的改善程度从大到小依次为: 注意选择>抑制控制>认知灵活性>工作记忆>注意广度; 儿童维持日常身体活动且不进行规律运动后的认知能力改善程度从大到小依次为: 注意选择>抑制控制>认知灵活性=注意广度=工作记忆。

关键词: 运动;儿童;认知;注意力;执行功能

Abstract

Objectives:

In recent years, studies on the relationship between exercise and cognitive ability of children and adolescents have been carried out frequently, but the results show that there is still insufficient research on the impact of moderate and high-intensity exercise on the cognitive ability of ordinary children. Differences in the evaluation results of homogeneity studies, etc. Therefore, the purpose of this study was to compare the effects of moderate-to-high-intensity exercise on the cognitive ability of children of the same age with those of 7-9-year-old children who maintained daily physical activities without regular exercise intervention, in order to enrich the cognitive ability of moderate-to-high-intensity exercise. The theoretical basis of the dose-effect relationship of cognitive ability provides a reference for the exercise program to optimize cognitive ability.

Methods:

The literatures related to exercise and cognitive ability were retrieved by the literature method, the research results were summarized and the existing research deficiencies were summarized, and the research design was drawn up. Using experimental methods and testing methods to advance the research process, according to the screening criteria, 43 children aged 7-9 in AY Community, JD District, Shanghai (22 in the intervention group and 21 in the control group) were recruited. In the program, children in the intervention group were given a single session of about 60 minutes for a total of 16 times, with a period of 4 weeks of moderate-to-high-intensity ($\geq 60\%$ HRmax) exercise intervention. Cognitive ability (inhibitory control, working memory, cognitive flexibility, attentional choice, attention span) tasks for all children tested. Mathematical statistics method is applied to the collection and arrangement of exercise load data and cognitive ability data and the related data analysis of SPSS26.0 statistical software. The normal distribution and the homogeneity of variance test are used to further detect the statistical methods that should be selected in the follow-up. Independent sample T Test, paired-samples T test and repeated measures ANOVA were used to detect intra- and inter-group differences in cognitive ability of two groups of children in the parametric test. Wilcoxon signed-rank test and Mann-Whitney U test were used for In the non-parametric test, the intra-group and inter-group differences in cognitive ability of the two groups of children were detected, and the significant difference value was set as $P < 0.05$.

Results:

(1) In terms of inhibitory control ability, the consistent task response time, inconsistent task response time and total task response time of children in the intervention group were significantly different from those in the pre-test ($P < 0.01$), with the mean improved by 217.94 ± 210.28 ms, 255.74 ± 260.35 ms and 229.60 ± 13.30 ms, respectively. The median values (quartile distance) were improved by 177.15 ms (150.88-309.78 ms), 189.62 ms (90.24-339.49 ms) and 177.47 ms (134.53-325.59 ms), respectively. In the control group, there were significant differences in inconsistent task response time and total task response time compared with the pre-test ($P < 0.05$), and the mean values improved 76.26 ± 140.45 ms and 68.65 ± 140.25 ms,

respectively. The median values (quartile distance) decreased by 92.80ms(-1.32-158.50ms) and 82.86ms(-36.83-158.54ms), respectively. There was no significant difference between the two groups in the accuracy task compared with the pre-test ($P>0.05$).

(2) In terms of working memory ability, the children in the intervention group had significant difference in spatial working memory 1-1 task response compared with the pre-test ($P<0.05$), and the mean value improved 156.00 ± 324.85 ms; There were no significant differences in other working memory tasks between the two groups ($P>0.05$).

(3) In terms of cognitive flexibility, the children in the intervention group had significant difference in response time task compared with the pre-test ($P<0.05$), and the mean value was improved by 182.81 ± 329.95 ms; There were no significant differences in other tasks between the two groups ($P>0.05$). There were significant differences in response time tasks among children with 4 weeks of intervention ($P<0.01$).

(4) In terms of attention selection ability, the accuracy rate and response time task of the intervention group were significantly different from those of the pre-test ($P<0.01$), and the mean values were improved by $11.10\pm 15.59\%$ and 147.98 ± 124.04 ms, respectively. The accuracy of the control group was significantly different from that of the pretest ($P<0.05$), and the mean value was improved by $6.66\pm 11.43\%$. The accuracy of the control group was not significantly different from that of the pretest ($P>0.05$). There was a significant difference in children's accuracy task over time ($P<0.01$). There was significant difference in response time ($P<0.05$), and there was interaction between time and group ($P<0.05$).

(5) There was no significant difference in attention span ability between the two groups ($P>0.05$). Children showed significant difference in this task over time ($P<0.05$).

Conclusions:

(1) The improvement effect of moderate-to-high-intensity exercise intervention on the cognitive ability of 7-9-year-old children was better than that of children who only maintained daily physical activities and did not engage in regular exercise, which were reflected in the range and magnitude of improvement respectively. Children's ability to inhibit control response time (consistent task, inconsistent task, total task), attentional selection (correct rate, reaction time) ability after moderate-to-high-intensity exercise were significantly improved, cognitive flexibility response time, spatial working memory 1-1. The ability to respond to tasks was improved; children who did not exercise regularly could only improve the ability to respond to inhibitory control (inconsistent tasks, total tasks), and the ability to pay attention to the correct rate of selection.

(2) Children's cognitive ability improvement after moderate and high-intensity exercise is in descending order: attentional selection>inhibitory control>cognitive flexibility>working memory>attention span; children's cognitive ability after maintaining daily physical activity and not engaging in regular exercise. The degree of cognitive improvement in descending order is: attentional selection>inhibitory

control>cognitive flexibility=attention span=working memory.

Key words: exercise; Children; Cognitive; Attention; Executive function

目录

1 前言.....	1
1.1 选题依据.....	1
1.1.1 儿童身心状况受制于认知能力的影响.....	1
1.1.2 儿童适于参与中高等强度运动.....	1
1.1.3 关键期阶段内儿童认知能力的发展更具高效性.....	2
1.1.4 认知领域同类方案的研究过程亟待精化.....	2
1.2 研究目的.....	2
1.3 研究意义.....	3
2 文献综述.....	3
2.1 相关概述.....	3
2.1.1 认知能力的定义.....	3
2.1.2 注意力概述.....	4
2.1.3 执行功能概述.....	6
2.1.4 中高等强度运动.....	8
2.2 儿童认知能力发展的阶段特征.....	9
2.2.1 儿童注意力发展的阶段特征.....	9
2.2.2 儿童执行功能发展的阶段特征.....	9
2.3 运动干预对认知能力的影响.....	10
2.3.1 运动干预对儿童注意力的影响.....	11
2.3.2 运动干预对儿童执行功能的影响.....	14
2.3.3 儿童认知能力的提升方法.....	16
2.4 文献小结.....	18
3 研究对象与方法.....	18
3.1 研究对象.....	18
3.2 研究方法.....	18
3.2.1 文献资料法.....	18
3.2.2 实验法.....	18
3.2.3 测试法.....	23
3.2.4 数理统计法.....	27
4 研究结果.....	28
4.1 干预组运动负荷监控结果.....	28
4.2 两组儿童认知能力的基线数据结果对比.....	30
4.3 两组儿童前后认知能力的变化结果.....	31
4.3.1 两组儿童抑制控制能力的变化结果.....	33
4.3.2 两组儿童工作记忆能力的变化结果.....	34
4.3.3 两组儿童认知灵活性能力的变化结果.....	37
4.3.4 两组儿童注意选择能力的变化结果.....	38
4.3.5 两组儿童注意广度能力的变化结果.....	39
5 分析与讨论.....	40
5.1 运动强度因素对认知能力的影响分析.....	41
5.2 运动干预对儿童认知能力的影响分析.....	43
5.2.1 对抑制控制能力的分析.....	43
5.2.2 对工作记忆能力的分析.....	45

5.2.3 对认知灵活性能力的分析.....	46
5.2.4 对注意选择能力的分析.....	47
5.2.5 对注意广度能力的分析.....	48
6 结论与建议.....	49
6.1 结论.....	49
6.2 建议.....	49
7 研究不足与展望.....	49
7.1 研究不足.....	49
7.2 研究展望.....	50
8 参考文献.....	50
致谢.....	62
附录.....	63

1 前言

1.1 选题依据

1.1.1 儿童身心状况受制于认知能力的影响

万物皆求发展,儿童青少年作为强国的希望,国、家、社、校的高质量人才发展趋势致使该群体面临各方压力,加之部分家长、教师的教育方式不当,多方原因综合使得处于心理发展最不稳定时期的儿童认知能力发展不足,生理与心理问题频现。心理上,早期评估存在心理问题的少年儿童总计约达三千万,且渐呈上升走势^[1]。生理上,体力活动水平不足进而促使诸多身体问题频增。

认知能力体现于方方面面,它与身心状况相互关联^[2],良好的认知能力可以促进身心发展,反之亦然。尤其是注意力和执行功能,因为注意是贯穿于认知全过程的心理品质,对学习效率和运动操作表现起着关键作用,执行功能损害将导致认知功能的部分障碍,影响人们的生活质量和工作效率,使个体的认知水平降低^{[3][4]}。现下,执行功能、注意力与儿童青少年身心健康的关联已成为认知类研究的热点问题。

1.1.2 儿童适于参与中高等强度运动

科学原理及实践经验中均表明运动是儿童才智、心理成长的有力途径^[5],经常参加锻炼的个体能促进其中枢神经系统、脑细胞的生长和神经元联络的复杂性从而改善大脑的结构和功能,减缓认知衰减速率同时提高认知水平^[6]。诸多政策的推行进一步验证了体育运动于身于心皆是良药:《体育强国建设纲要》中提出制定青少年体质健康干预计划,2020年上海市教委等六部门联合出台举措要求小学一到三年级每周落实4节体育课,《“十四五”规划建议》明确体育要变成青少年社会化和健康素养促进的实践方式,运用体育多元功能推进青少年健康素养发展^[7],该陈述进一步揭示了运动具有长效性。

基于运动举措下中高等强度运动方式的效率最高,但各专家学者或许存有疑惑:中高等强度运动是否适于低龄群体开展?世界卫生组织(WHO)已建议5-17岁群体每日进行60min中等到高强度体力活动(MVPA)^[8],综述研究也明确中高强度运动更具吸引力和乐趣感^{[9][10]},儿童更容易坚持这一锻炼形式。实则,中高等强度运动相较于传统的中低强度持续训练更符合儿童的天性,不失为儿童优选

^[1] 杨红. 不同运动项目训练对初一学生执行功能影响的实验研究[D]. 南京师范大学, 2017.

^[2] Diamond A. Executive Functions[J]. annual review of psychology, 2013, 64(64):135-168.

^[3] Schoemaker K, Bunte T, Wiebe S A, et al. Executive function deficits in preschool children with ADHD and DBD[J]. Journal of Child Psychology and Psychiatry, 2012, 53(2):111-119.

^[4] 刘琳琳, 王惠玲, 王焄生等. 伦敦塔任务下精神分裂症执行功能与精神症状的关系[J]. 武汉大学学报(医学版), 2012(01):71-74.

^[5] 徐国根, 舒能贵, 徐本力等. 学龄前儿童全脑型体育教育的实验研究[J]. 哈尔滨体育学院学报, 2006, 29(1):231-233.

^[6] 董进霞, 钟秉枢, 布鲁斯·维科斯科, 等. 大脑可塑性和儿童认知能力研究进展对我国学校体育改革的启示[J]. 体育与科学, 2014(6):5.

^[7] 杨国庆. “十四五”我国竞技体育发展的时代背景与创新路径[J]. 武汉体育学院学报, 2021, 55(1):8.

^[8] Organization W H. Global recommendations on physical activity for health. [M]. Geneva:WHO, 2010:7-10.

^[9] 邓建伟, 曹莉. 高强度间歇训练与儿童青少年健康促进的研究进展[J]. 中国体育科技, 2019, 55(6):21-34.

^[10] 刘建秀, 方雯, 王帝之, 等. 高强度间歇训练促进儿童青少年健康:现状·机制·可行性[J]. 体育科学, 2019, 39(8):61-72.

的一种运动方法。

1.1.3 关键期阶段内儿童认知能力的发展更具高效性

人类潜能发展的关键在于儿童时期^[1]，而该时期恰为认知能力发展的重要阶段，其能力的发展趋势总体表现为随着年龄增长逐步提升，直至发展高峰结束。研究中得出注意力的快速发展期是 7-11 岁，执行功能的快速发展期也处于该阶段中，分别为抑制控制 5-8 岁、工作记忆 7-10 岁、认知灵活性能力 7-10 岁^[2]。显然，5-11 岁阶段是人体大脑对外界刺激最敏感的时期，处于此年龄段的个体认知能力呈快速发展，在关键期内通过外部刺激（如运动）发展其能力能达到事半功倍的效果^[3]。如上提及，虽儿童阶段为认知能力发展的黄金时期，但以往国内儿童阶段的相关研究更多聚集在学龄前儿童和特殊儿童类型上，运动对普通儿童群体认知能力影响的研究数量有限，对相关研究成果的分析中也证实了已有研究不足以支撑运动对普通儿童认知能力的最佳效益方案，故可从运动干预的角度出发，综合设计高效的干预方法，以期能在关键期阶段促成普通儿童认知能力的快速发展。

1.1.4 认知领域同类方案的研究过程亟待精化

运动与认知能力的研究成果较为充溢，深入分析，综述研究中发现个别关键点存在矛盾，中等强度与高等强度运动均对认知能力有积极影响^[4]，此结果与诸多研究中提及的倒“U”负荷理论有所分歧，产生该分歧的原因可能是运动强度的监测不够全面、科学客观及受不同机制的调控。再者过去研究侧重于追求变量控制，多用功率自行车、跑台等易于控制的运动工具，与儿童生活的环境有所区别，研究生态效度有待提高。除此外，认知能力 PC 端测试任务已较为成熟的运用于儿童阶段中，但注意力和执行功能相关测评任务的选取似乎存在不适用于该研究受试群体的情况，同质性研究的测评结果具有差异性，相关学者发问：不同的测评任务在认知能力表现上有多少一致性^[2]？显然，运动对认知能力的“剂量关系”尚未厘清，且选择性促进现象存在的同时认知能力的提升存在何种差异？种种问题亟待解决。本研究设计中所有干预课次的运动负荷均通过受试儿童佩戴心率表的方式实现强度监测，以使更准确、客观的控制运动强度，认知能力采用 PC 端任务及问卷进行评测，灵活调控测试任务以适应受试群体的认知发展特征。

综上所述，认知能力尤其是注意力和执行功能对儿童的身心发展起着至关重要的作用，儿童阶段发展认知能力能起到事半功倍的效果，长期运动是一种促进认知能力发展的高效方法，中高等强度运动于儿童有可操作性且对认知能力的提升可能存在长效性，故而中高等强度运动对普通儿童群体认知能力的影响效果值得深入研析。

1.2 研究目的

本研究旨在与维持日常身体活动且不进行规律运动的 7-9 岁儿童对比，探求

^[1] 谢香道,付正君,苗风藻,徐本力.球类训练对开发儿童运动和智力潜能的实验[J].体育与科学,2002,23(03):60-62.

^[2] 文萍,李红.6-11岁儿童执行功能发展研究[J].心理学探新,2007,27(03):38-43.

^[3] Khan N A, Hillman C H. The relation of childhood physical activity and aerobic fitness to brain function and cognition: a review[J]. Pediatric Exercise Science, 2014, 26(2): 138-146.

^[4] 孙小伟,唐征宇.体育锻炼对认知和情绪的影响综述[J].吉林体育学院学报,2009,25(05):89-91.

同龄儿童进行为期 4 周中高等强度运动干预后认知能力产生的效果,分析中高等强度运动对儿童认知能力的影响,进一步揭示各子能力的增长幅值,研析中高等强度运动对认知子能力的影响差异,验证本实验设计方案是否能全面促进儿童认知能力的发展,以期充实运动对普通儿童认知能力的相关论证。

1.3 研究意义

理论意义: 有利于完善运动干预对儿童认知能力影响的研究,丰富运动对认知能力影响的理论基础;揭示中高等强度运动对认知能力的影响差异,为中高等强度运动对认知能力影响的“剂量效应”提供参照依据。

实践意义: 通过实验验证干预方案对认知能力的成效性,为促进儿童认知能力的发展提供一种切实可用的运动干预方案;为教育者和父母在制定运动计划时提供参考依据;间接促使受试儿童养成运动习惯,为终身体育奠定基础。

2 文献综述

2.1 相关概述

2.1.1 认知能力的定义

认知能力是反映个体不同认知过程的统称,包括感觉输入的转换、储存、监护、恢复和运用,是人体将接收到的外界讯息利用大脑将其加工、储存、判断及处理的能力^[1]。除此还有研究将认知指代为“通过思想、经验和感觉获得相关信息并进一步理解的心理活动或过程”,分为非社会认知和社会认知。非社会认知即个体的心智能力,如注意广度、加工速度、解决问题、执行能力以及工作记忆等。有关自己和他人知识的感知、编码、储存、提取和控制的心理过程统称为社会认知^[2]。综上可知认知能力涵盖的范围极广,包括注意、记忆、执行功能、感知、想象、思维、言语^[3]、以及信息监测、学习策略、知识表征、概念形成和推理、问题解决等^{[4][5]},结合当前对认知范畴的界定可将认知能力归纳为人的心理行动即人体在醒觉情况下持续保持的各种有意识的精神行动^[6]。虽上述各认知子能力中具体指向的认知功能存在交叉,如注意与抑制控制能力存在高度关联,记忆与工作记忆能力互有交叉,这是认知各项能力中普遍存在的一种联系。

目前研究中少有对认知所有子能力均涉及的单篇文献,从这一角度言对认知能力的研究呈现侧重性、不一致性的特点,专家或存疑问为何本文主选注意力和执行功能能力进行测评?进一步看,与本文相关的运动对认知能力影响的研究进展中,早于十几年前,就已报道研究多集中于高层次的认知能力——执行功能上^[7],至今,执行功能的研究仍未曾止步,近年同时展开了运动与注意力相关的研究。执行功能是具有调控、剖析人体精神活动进程及外在表现行径功能的认知能力。注意力是涉及人体处理速度、集中、准确性、持续和选择等多方面认知的一项重要能力,对信息处理和解决问题等认知过程至关重要。就上文所述的认知能

^[1] 姒刚彦. 当代锻炼心理学研究[J]. 体育科学, 2000, (01): 62-66.

^[2] Green M F, Horan W P, Lee J. Nonsocial and social cognition in schizophrenia: current evidence and future directions[J]. World Psychiatry, 2019, 18, 146-161.

^[3] 陈帼眉. 幼儿心理学[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 1999: 19.

^[4] 邵志芳. 认知心理学: 理论、实验和应用[M]. 上海: 上海教育出版社, 2006.

^[5] Fiocco A J, Yaffe K. Defining successful aging: the importance of including cognitive function over time[J]. Arch Neurol, 2010, 67(7): 876-880.

^[6] 张振馨. 认知功能障碍研究进展[J]. 中华内科杂志, 2005, 44(8): 25-27.

^[7] Colcombe S, Kramer A F. Fitness effects on the cognitive function of older adults: a meta-analytic study. [J]. Psychological Science, 2003, 14(2): 125-130.

力中“状态”、“活动”恰巧反映了多种认知参与的心理状态，能通过“执行功能”、“注意力”两种认知子能力体现。故此，研究所指的认知能力包括执行功能和注意力，其中，抑制控制、工作记忆（空间工作记忆、语言工作记忆）、认知灵活性为执行功能所属；注意力包含两个维度（后文陈述依据研究中的实际条件决定）：注意选择、注意广度。

2.1.2 注意力概述

2.1.2.1 注意力的定义

注意是意识的一种表现，是智力的重要构成要素，权威专家威廉·詹姆斯早年明确了注意是心理学的重点任务，其本质是意识的聚焦与集中^[1]。后人常借用朱智贤的解释，把注意明确为个体心理行为对特定事物的指向和集中^[2]，不同学者对注意的界定存在细微差异，但皆离不开指向与集中两大特点。朱骏、章建成意为注意是一种有选择的心理行动，对刺激进行选择是注意的根本功用^[3]。彭聃龄、张必隐认为注意力是一种有意识的和手控制的活动，它区别于潜意识、前意识或自动化活动，具有集中性和指向性两大特点。注意的集中性为注意过程中所指向的对象保持高度紧张性的能力。指向性为心理指向某一目标而离开另一目标的能力^[4]。还有学者将注意力界定为在忽略其他不相关信息的基础上将意识聚集于目前需着注的独一且清晰的信息上的能力^[5]。在学习和信息处理的全过程中注意力始终位于起始地位，是所有阶段群体达成高效学习的首要前提^[6]。

虽各专家学者对注意力的界定各有见解，但可发现注意力始终围绕人们的一切心理活动，始终从人的意识出发，本文综合诸多学者的观点，将注意力界定为人体心理活动或意识对对象的指向和集中。

2.1.2.2 注意力的划分

注意力由不同的子能力组成，《心理学》书中依据特定条件将注意分三个种类，即无意、有意和有意后注意。注意特性划分为四个维度，分别是注意的广度、稳定性、分配和转移^[7]。除此外注意力还包括注意选择、注意控制、注意警觉、注意瞬脱、注意保持等多种注意子能力。注意保持（稳定性）为特定时长内将注意保持在某个客体上的能力。分配性注意为人体在处理多种信息时能够将注意在同一时刻分配到不同的任务内或注意两种及更多刺激的能力。注意控制指个体把注意指向并维持在特定目标上的能力，包含抑制干扰刺激、注意转换、注意监督等具体方面。

研究中测评的两项注意子能力，分别做以下界定，注意选择指个体对出现的刺激进行筛选以用于达成目标任务的一种认知能力，即在同步出现的几种刺激中忽视其它刺激而选择一种注意。注意广度指在同一时间内清晰地掌握目标数量的能力。

^[1] James B W. The principles of psychology[J]. American Journal of Psychology, 1950, 2 vols(4):761.

^[2] 朱智贤. 心理学大词典[M]. 北京:北京师范大学出版社, 1989. 981-983.

^[3] 朱骏, 章建成, 金亚虹等. 体育运动中选择性注意的国外研究现状[J]. 上海体育学院学报, 2000, 24(4):46-50.

^[4] 彭聃龄, 张必隐. 认知心理学[M]. 浙江教育出版社, 2004. 12:105.

^[5] 徐鹏, 张家健, 赵冰. 选择性注意的神经机制和眼动注意模型的研究综述[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2015, 29(11):112-119.

^[6] 戴安银. 太极拳干预对选择性注意力和持续性注意力的影响研究[D]. 北京体育大学, 2019.

^[7] 杜玫, 詹丽峰. 心理学[M]湖北科学技术出版社, 2013. 08. 58-62.

2.1.2.3 注意力的测评方法

注意力的测评工具与方法较为丰富,经对注意力相关研究汇总发现已开发出针对不同类型群体和不同子能力测评的仪器、量表和软件工具。

特定人群的评测上,李永瑞等人研制了可测试注意四项能力(稳定性、广度、分配、转移)的专为特种人员提供支持的“BT-LYR 注意能力测试软件(1.0 版)”^[1]。北京师范大学殷教授针对专业运动员编制了优秀运动员注意力纸笔测验^[2]。

儿童青少年的注意力评测上,易于测量学生注意力综合水平的“注意力测验”软件^[3]、专门针对动态过程注意力变化的以 CPT 技术为基础的儿童注意力检测单片机 SCM-CPT 测试工具^[4]均得到开发。陈国鹏、金瑜等人对全国约 2000 名受试者进行测试后编制了《中小学生注意力测验》,经信效度检验能够准确测量注意的稳定性、广度、转移、持续性和集中性能力^[5]。21 世纪初期学者采用自行创编的“辨错测验量表”验证其可有效地测量基础教育初段儿童的有意注意稳定性能力^[6]。殷恒婵教授等人编制了反映 12-21 岁不同群体青少年注意分配、广度、稳定性和转移能力的《青少年注意力测验》量表,分别执行图形辨别测验、选四圈测验等四项测试任务^[7]。陈惠芳等人早期采用华东师范大学华师科教仪器厂生产的 EP801-I 速示仪测量注意广度,对 4-14 岁儿童测试具有极高的可靠性^[8]。除此还有用于注意选择测试的“儿童选择性注意力测试”(TEA-Ch)^[9]。

不限定群体的测评上,王晓芬、姚家新编制开发了“WT-注意力测试软件”测量其注意稳定、广阔性,克服了纸笔测试不足的同时使测试结果科学可靠^[10]。白炳良基于“人体肌肉会随注意力的变化而张弛”这一特性设计了“注意稳定测量仪”用于测评注意稳定性^[11]。国外研究多用 d2 测试反映人体多维度的注意能力^[12]。人体的注意警觉、注意定向和执行控制能力运用注意网络测试进行评估^[13]。选择性注意能力测试上包括经典的视觉搜索实验范式^[14]、Flanker 任务等。

从目前运动与之相关的测评研究成果中可发现国内对注意力的测评方法运用较单一。结合国外研究发展趋势看运用 PC 端辅助的测试方法更受研究者青睐,因而本研究将采用 PC 端辅助注意力测评,选用经典范式视觉搜索测试注意选择能力(确定受试者的搜索目标,随即在屏幕上会出现不同的刺激,要求受试者在刺激背景中搜索目标,正确率、反应时是评价能力高低的标准)。选用陈惠芳文中提及的方法测评注意广度能力(以固定刺激时间呈现 2-10 个随机分布的黑点,

[1] 李永瑞. 注意能力测评方法的初步研究[J]. 应用心理学, 2001 (03): 24-28.

[2] 殷恒婵, 张锋周, 宋湘勤, 等. 优秀运动员注意力测量与评价研究[J]. 体育科学, 2006 (03): 60-65+71.

[3] 王称丽. 中小学生注意力发展及培养研究[D]. 上海师范大学, 2011, 13.

[4] 刘成刚, 兰公瑞, 刘希平等. 儿童注意力检测单片机的研制及动态分析指标的试用[J]. 心理科学, 2007 (04): 929-933.

[5] 陈国鹏, 刘申. <<中小学生注意力测验>>全国常模制定报告[J]. 心理科学, 1998, 021 (005): 401-403.

[6] 凌光明. 小学低年级学业不良儿童的有意注意稳定性研究[D]. 苏州大学, 2001.

[7] 殷恒婵. 青少年注意力测验与评价指标的研究[J]. 中国体育科技, 2003, 39 (3): 51-53.

[8] 陈惠芳, 程华山. 4—14 岁儿童注意广度发展的实验研究[J]. 心理科学, 1989 (1): 3.

[9] ALTENBURG T M, CHINAPAW M J, SINGH A S. Effects of one versus two bouts of moderate intensity physical activity on selective attention during a school morning in Dutch primary schoolchildren: A randomized controlled trial[J]. J Sci Med Sport, 2016, 19 (10): 820-824.

[10] 王晓芬, 姚家新. “WT-注意力测试软件”的研究与应用[J]. 体育科学, 2001, 021 (001): 69-72.

[11] 白炳良. 注意稳定测量仪[J]. 漳州师范学院学报: 自然科学版, 1999, 12 (04): 39-41.

[12] Brickenkamp R, Zillmer E. The d2 Test of Attention. Seattle (WA): Hog-refe and Huber; 1998.

[13] Fan J, Mc Candliss B D, Sommer T, et al. Testing the efficiency and independence of attentional networks[J]. J Cogn Neurosci, 2002, 14 (3): 340-347.

[14] Treisman A M, Gelade G. A feature-integration theory of attention[J]. Cognitive Psychology, 1980, 12 (1): 97-136.

刺激出现后需受试者即刻判断每一次刺激出现的黑点数量,刺激一定次数后用直线内插法求出正确率 50%处的点数作为注意广度的能力水平),经改编后应用于 PC 端(下文称视觉容量任务)。

2.1.3 执行功能概述

2.1.3.1 执行功能的定义

执行功能是指进行高级复杂的任务时脑区经对多种基本认知过程调整,促使人们的行为灵活有序且具有目的性的高级认知过程^[1]。它是脑区不同种认知能力的齐集,能够完善、把握并妥洽多种认知进程,改进人类认知反应形式,从而使相关脑区做出相宜的回应^[2]。国内学者把执行功能界定为以大脑前额叶及其边缘系统等其它脑区为生理基础,目的是使个体形成协调有序的行为,其本质是监控和调节其它基本认知过程^[3]。

纵观国内外专家对执行功能的见解,所持观点较为一致,皆认为执行功能是认知成分加工、控制和完成行为目标。鉴于此,本文将执行功能界定为儿童为完成指定目标,以大脑前额叶及其边缘系统等其它脑区为生理基础,对学习期内的各种基础认知任务实现调控以达成目标优化目的的高级认知过程。

2.1.3.2 执行功能的划分

多个领域的成果证实了执行功能涵盖多项不同的认知加工过程。Smith 等人提及执行功能可分成不同的子功能,分别是注意抑制、任务管理、计划目标、监测、编码^[4]。认知灵活性、干扰控制、抑制、时空整合、计划和工作记忆等成分也是划分方法之一。21 世纪初国外学者运用潜变量分析法将其分成几个方面,即记忆刷新、抑制优势反应和注意转换^[5]。还有研究表明执行功能包括复杂的认知过程,涵盖抑制控制、注意控制、工作记忆、认知灵活性及计划等成分^[6]。

综合诸多研究中对执行功能的划分,本文采用较为常用的划分方法将其分为抑制控制、工作记忆和认知灵活性^[7]。抑制控制主要是对自身想法、语言、行为和注意力的自我管理和管控能力,能够抑制本能倾向和本能反应^[8]。工作记忆是人在完成任务时大脑根据已有信息对其执行无间断更新的过程,可将信息积储于大脑内并进行相应处理从而修正复杂的认知活动^[9]。研究者提出工作记忆模型包括语言工作记忆、视觉空间工作记忆和中央执行系统,顾名思义视觉空间工作

^[1] Funahashi S. Neuronal mechanisms of executive control by the prefrontal cortex[J]. Neurosci Res, 2001, 39(2):147-165.

^[2] Hillman C H, Snook E M, Jerome G J. Acute cardiovascular exercise and executive control function[J]. International Journal of Psychophysiology, 2003, 48(3):0-314.

^[3] 周晓林. 执行控制:一个具有广阔理论前途和应用前景的研究领域[J]. 心理科学进展, 2004, 12(5):641-642.

^[4] Smith, E. E. Storage and Executive Processes in the Frontal Lobes[J]. Science, 1999, 283(5408):1657-1661.

^[5] 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.

^[6] ANNE C, ETIENNE K. Reasoning, learning, and creativity: frontal lobe function and human decision-making[J]. Plos Biology, 2012, 10(3):1.

^[7] 张文静, 徐芬. 3-5 岁幼儿执行功能的发展[J]. 《应用心理学》, 2005.

^[8] 陈天勇, 李德明. 执行功能可分离性及与年龄关系的潜变量分析[J]. 心理学报, 2005(02):210-217.

^[9] 吴慧中, 王明怡. 抑制控制内部结构间的关联-基于认知神经学的视角[J]. 中国临床心理学杂志, 2015, 23(06):991-5.

记忆解决视觉和空间信息^[1]。后人研究基于存储类型不同进一步将视觉空间工作记忆分成空间、客体共两种形式的工作记忆^[2]。认知灵活性指人体在进行复杂任务时的心理定势与目标操作行为之间的往复转换,即思维和变化间转换的能力^[2]。

2.1.3.3 执行功能的测评方法

总结国内外研究对执行功能的经典测试方法,抑制控制能力的测量上,二十世纪七十年代的 Flanker 任务是至今被引用频次最高的方法,现今研究中对此方法的运用普遍经 E-prime 软件程序编程来实现更客观、科学的测试;除此还用斯特鲁色词测验(stroop 任务)、go/no go 任务测评抑制控制能力^{[3][4][5]}。

工作记忆常用的测评方法有记忆广度任务、跟踪任务、视觉空间工作记忆测验、斯腾伯格作业和数字刷新任务(n-back 范式)^{[6][7]},以变更刺激来源实现对不同形式工作记忆能力的测量,如改变数字、物体位置和颜色等刺激呈现形式^{[2][8]}。数字广度测验分为正背任务和倒背任务,正背任务在个别研究中应用于短时记忆的测评,倒背任务应用于语言工作记忆能力的测评^[9]。数字刷新任务是认知神经科学中常用的范式^[10],分为字母与空间形式,依照难度可分为 0-back(同页面)、1-back(前一个)、2-back(前两个)或是 3-back(前三个)^[11]。视觉空间工作记忆的测试方法主要分为两种形式,其一是延迟配对简单作业,为实验控制者调控两个刺激物的间隔时长,受试者需界定当前刺激物中目标物的位置与下一刺激物中目标物的位置是否一致而做出判断;其二为固定间隔时长,调控出现刺激物中目标物的数量,数量多则表示认知要求高,受试者判断前后两次刺激是否相符^[12]。视觉空间工作记忆测试任务一般通过 corsi 模块任务改编实现^[13]。

认知灵活性的测评同样囊括多种方法,数字转换任务(More-odd shifting)、连线测验(TMT)、威斯康星卡片分类测验(WCST)等是较为常用的测评方法^[14]。儿童阶段最常用的测试任务是 Frye 等人提出的威斯康星卡片分类测验

^[1] Baddeley A D. Working memory. Oxford: Oxford University Press, 1986.

^[2] Zimmer H D, Speiser H R, Seidler B. Spatio-temporal working-memory and short-term object-location tasks use different memory mechanisms. Acta Psychologica, 2003, 114: 41-65.

^[3] VERBRUGGEN F, NOTEBAERT W, LIEFOOGHE B, et al. Stimulus-and response-conflict-induced cognitive control in the flanker task[J]. Psychon Bull Rev, 2006, 13(2): 328-333.

^[4] Eriksen B A, Eriksen C W. Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task[J]. Percept Psychophys. 1974, 1: (1): 143-149.

^[5] ADLEMAN N E, MENON V, BLASEY C M, et al. A developmental fMRI study of the Stroop color-word task [J]. Neuro-image, 2002, 16 (1): 61-75.

^[6] 罗炯, 欧阳一毅. 健身运动对工作记忆的影响研究评述[J]. 山东体育学院学报, 2018, 34(6): 8.

^[7] BOKURA H, YAMAGUCHI S, KOBAYASHI S. Electrophysiological correlates for response inhibition in a Go/No Go task[J]. Clin Neurophysiol, 2001, 112(12): 2224-2232.

^[8] 解超. 不同运动强度对儿童青少年工作记忆影响的 Meta 分析[J]. 中国学校卫生, 2020, 41(03): 42-46+50.

^[9] Carlson S. M, Moses L. J, Breton C. How specific is the relation between executive function and theory of mind? Contributions of inhibitory control and working memory[J]. Infant and Child Development, 2002, 11(2): 73-92.

^[10] Watter S, Geffen G M, Geffen L B. The n-back as a dual-task: P300 morphology under divided attention. [J]. Psychophysiology, 2001, 38(6).

^[11] Owen, A. M., Mc Millan, K. M., Laird, A. R., & Bullmore, E. N-back working memory paradigm: A meta-analysis of normative functional neuroimaging studies[J]. Human Brain Mapping, 2005(25): 46-59.

^[12] Redick T S, Lindsey D. Complex span and n-back measures of working memory: A meta-analysis[J]. Psychonomic Bulletin & Review, 2013, 20(6): 1102-1113.

^[13] Corsi P M. Human memory and the medial temporal region of the brain. Doctoral Dissertation McGill University, 1972.

^[14] Sun Changhua, Wu Zhenyun, Wu Zhiping, et al. Age differences in the level of categorical gen

(WCST), 该任务经改编后称其为维度变化卡片分类测验(DCCS)。

综上可得知同一维度的测评方法大同小异, 本文采用 Flanker 任务测试抑制控制能力; 改编后的 Corsi 模块任务测试空间工作记忆(呈现给受试者连续几组九方格, 每次一组, 九方格中随机出现目标物, 要求受试者记住目标物的位置, 呈现结束后要求受试者画出目标物的位置, 或采用计算机工具辅助进行, 在随后一组中对出现的九方格内的目标物进行判断, 是否与上一组九方格中的目标物处于相同的位置。); 倒背数字任务测试语言工作记忆; 参考 Kray 等人的研究任务改编的类别-颜色转换任务测评认知灵活性能力(两组图, 每组两张, 如绿圆与绿色正方形, 红圆与红色正方形。在当前刺激下要求受试儿童依据刺激中的提示进行形状或颜色判断, 最终以正确率和反应时作为结果的呈现。))。

2.1.4 中高等强度运动

运动过程中常使用运动强度来评价运动质量与效率, 心率(HR)、耗氧量(VO_2)、乳酸率(LT)、梅托(MET)等是评价运动强度的常用指标, 综合考虑测试指标对外部环境的严苛要求, 选用心率指标作为本研究运动负荷的评价方法, 切合实验设计且更具客观性与可操作性。研究者据运动方案及预期运动目标可进行运动强度分级, 普通群体的运动强度一般区分为低、中、高三等级; 而各等级的心率区间划分也有不同程度的差异, 个别研究中中等强度为 55%-70%HRmax, 大强度为 70%-90%HRmax; Janssen P 将低强度界定为小于 60%HRmax, 中等强度界定为 60%-75%HRmax, 大强度界定为 76%-90%HRmax, 极限强度为 91%-100%HRmax^[1]; 还有研究表述低强度为小于 60%HRmax, 中等强度为 60%-80%HRmax, 亚极量强度为 80%-90%HRmax, 极量强度为达到或超过 100%HRmax^[2]; ACSM 运动处方指南中规定心肺耐力和抗阻运动的强度计算为中等强度 64%-76%HRmax, 较大强度 77%-95%HRmax, 次大-最大强度大于等于 96%HRmax^[3]。切合本研究实际, 将引用大于等于 60%HRmax 作为中高等强度的负荷界定。最大心率的计算方法有多种, 基于 Gelbart M 等人的实验研究, 最大心率采用 $208-0.7 \times \text{年龄}$ 的计算方法更符合本研究受试者的年龄阶段^[4], 依此算法本文 7-9 岁儿童的中高等强度负荷心率应大于等于 121.02-121.86 次/min。

儿童青少年群体的心率变化相比成人存在特殊性, 7-9 岁儿童进行中高等强度运动是否可行, 已得到相关研究论证, 《中国儿童青少年身体活动指南》明确 6-17 岁群体每日应进行至少累计 60min 的中等或高强度身体活动^[5]。体育课的开展中提出学生的中等-高强度运动的负荷量需占总时长的 50% 以上, 其中单次练习采用持续性 10min 以上时长的运动强度需为中等强度以上, 即心率大于 130 次/min, 单次间歇性运动总时间达 10min 以上的强度为大强度, 即心率大于 150 次/min。

eralization of adults and their relations with memory[J](in Chinese). Psychological Science, 1996, 19(3): 129-133.

[1] Janssen P. Lactate threshold training[J]. Human Kinetics, 2001.

[2] 林华, 贺业恒, 徐瑞. 心率变异性在大众健身领域的研究进展与展望[J]. 体育科学, 2016, 36(6): 55-60.

[3] 主译王正珍. ACSM 运动测试与运动处方指南(第十版)[M]. 北京: 体育大学出版社, 2019, 6. 美国运动医学学会: 140.

[4] Gelbart M, Ziv-Baran T, Williams C A, et al. Prediction of Maximal Heart Rate in Children and Adolescents[J]. Clinical Journal of Sport Medicine Official Journal of the Canadian Academy of Sport Medicine, 2016, 27(2): 139.

[5] 中国儿童青少年身体活动指南制作工作组. 中国儿童青少年身体活动指南[J]. 中国循证儿科杂志, 2017, 12(6): 401.

/min)^[1]。另一研究同样强调体育课教学需保证一定的运动负荷（即运动密度达 75%左右，运动强度达平均心率 140-160 次/min）^[2]。基于上述前人对运动负荷的解读，可见中高等强度运动可操作性强，能在 7-9 岁儿童群体中实施，故本文将中高等强度运动定义为基于运动强度大于等于 60%HRmax 的由多种运动素质及多种形式组成的发展儿童认知能力的运动。

2.2 儿童认知能力发展的阶段特征

儿童阶段是认知能力提升的关键期，该阶段内主管协调与复杂认知任务的人体构造部位暂未发育完成，具备较大幅度的神经可塑性^[3]。细观认知能力提升的全过程，复杂任务的认知能力提升普遍与感知运动、神经肌肉运动交互影响，而小脑对于执行功能的发展起着至关重要的作用，小脑-前额叶神经网络与选择性注意力、动作的学习与监控及预期更是关系密切，若能在儿童阶段予以正确的运动干预将利于认知能力的发展^[4]。

2.2.1 儿童注意力发展的阶段特征

注意力与神经系统发育相关，中小学时期恰是神经系统可塑性最高的核心阶段，对注意发展阶段的研究中发现注意力无性别差异，但随着年龄的变化注意力的发展具有差异性^[1]，总体而言，7-15 岁阶段的群体随着年龄的增长注意能力呈持续发展的趋势^[5]。

不同维度的注意能力发展速度大同小异，多数注意子能力的增长高峰期均为小学阶段。其中，儿童的注意广度能力增速不均衡，早期研究得出 4-10 岁注意广度能力发展迅速，11-14 岁注意广度能力发展缓慢^[9]。此外学者侯东风得出小学二-四年级与五-七年级间是个体注意广度的快速发展期^[6]。注意广度的发展就如姚本先提到的一样，0.1 秒的时间内小学阶段群体仅能看到 2-3 个客体，初中阶段可观察到 4-5 个客体，而高中阶段则可达到 4-6 个客体，即成年人的水平^[7]。

显然，注意力具有极高的可塑性，儿童阶段是注意力发展的关键期，在此阶段可采取有力的措施以促进注意力最大化发展。

2.2.2 儿童执行功能发展的阶段特征

小学阶段是人体大脑功能发展的快速时期，但执行功能各成分间的发展趋势存在差异性，各功能均表现出随年龄递增而增长的走势，于 10 岁后开始趋于平缓，5-12 岁的执行功能发展不容被忽略^{[8][9][10]}。

^[1] 武海潭, 黄沙海, 谢晨. 对青少年儿童不同运动负荷组合方式的指导建议——基于“体力活动—健康效益”的关系审视[J]. 山东体育学院学报, 2018, 34(3): 7.

^[2] 苏坚贞, 季浏. 基于中国健康体育课程模式的“运动密度”概念探析[J]. 首都体育学院学报, 2019, 31(5): 11.

^[3] Myer G D, Faigenbaum A D, Edwards N M, et al. Sixty minutes of what? A developing brain perspective for activating children with an integrative exercise approach[J]. British Journal of Sports Medicine, 2015, 49(23): 1510-1516.

^[4] 张庭然, 罗炯. 健身运动对儿童认知功能的影响及其作用机制研究进展[J]. 中国全科医学, 2018, 21(12): 6.

^[5] 王晓芬, 姚家新. “WT-注意力测试软件”的研究与应用[J]. 体育科学, 2001, 021(001): 69-72.

^[6] 侯东风. 长春市中小学生注意品质特点的研究[D]. 东北师范大学. 2006. 05: 14.

^[7] 姚本先. 心理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2005: 47.

^[8] 王晶, 陈英和, 仲宁宁. 小学儿童执行功能各成分的发展特点[J]. 中国临床心理学杂志, 2009(4): 3.

^[9] Gathercole S E, Brown L, Pickering S J. Working memory assessments at school entry as longitudinal predictors of National Curriculum attainment levels[J]. Educational and Child Psychology, 2003, 20(3): 109-122.

各子功能的发展中,抑制控制能力最先得到快速发展,其快速增长期约在 6-7 岁,且 7 岁时抑制控制能力就能达到 12 岁的水平^[1],另一研究中表明,抑制控制能力 5-8 岁时明显提升,8 岁后儿童抑制控制能力提升幅度已极小,但抑制控制能力测试时的正确率与反应速度可得到提升。工作记忆能力同样在学龄期就得到发展,随着儿童群体年龄的增长其大脑对应体积的不断变化,儿童相应的简单工作记忆任务能力表现出大范围提升。复杂工作记忆任务则从 9 岁开始逐渐增长,直至青春期减缓。另一研究表明工作记忆能力从 7 岁-10 岁一直呈线性增长,8 岁和 12 岁均是工作记忆能力的两个发展转折期,8 岁之后儿童依赖重心由空间转向语音工作记忆^[2]。认知灵活性能力从 3-4 岁开始正式发展,这一阶段能够完成简单的灵活性任务,随着生长发育,有两个快速增长期约在 7-8 岁和 9-10 岁^[1],且有研究者发现认知灵活性的发展呈倒 U 型趋势^[3]。国外研究者 John 对儿童与执行功能的关系进行梳理后得出从儿童至青春期执行功能的发展存在阶段性,并对目的导向性行为的认知有着极为关键的作用^[4]。

综上,不同时期的执行功能水平表现出不同的发展特点,儿童时期是执行功能发展的关键阶段,故未来研究可考虑在执行功能的最佳可塑期,通过有力途径最大程度的促进执行功能发展。

2.3 运动干预对认知能力的影响

近年与认知能力相关的研究层见叠出,除了对其定义、理论、机制等方面的研究外,1975 年开始在个别数据库(Pubmed)中出现运动与认知能力关系的研究,2010 年后大幅递增,其中,执行功能的研究较为丰富,注意力、记忆力、智力等研究也相继进行。运动促进认知能力发展已展开了深层次的研究,特殊群体类型居多,展开了人群、认知各项子能力、研究工具、运动类型、运动周期、运动时长、运动强度等维度的深度探索,已取得丰硕的理论成果。2017 年发表于《体育科学》名为“慢性锻炼与认知功能关系的回顾与展望——国际历史发展的视角”的研究分阶段性的研析了运动与认知能力关系的现有重要主题与未来研究的发展趋势^[5]。

运动作为一种行之有效的促进群体认知能力发展的途径,国内早期研究验证了基本的运动训练如走、跑、跳、投、爬、平衡等动作可以促进认知能力的发展。Donnelly 等人选取 1527 名二-三年级的儿童进行为期 3 年(上学日每天增加 90min 中高等强度体力活动)的运动干预后得出干预组的认知能力得分显著高于对照组^[6]。四年级儿童在校学习期间进行为期 10 周(2 次/周,第一阶段 6 周,第二阶

^[10] 陈爱国,朱丽娜,王鑫,等.短时中等强度有氧运动对儿童脑的可塑性影响:来自脑功能局部一致性的证据[J].体育科学,2015,35(8):24.

^[1] Klenberg L, Korkman M, Lahti-Nuuttila P. Differential development of attention and executive functions in 3- to 12-year-old Finnish children[J]. Developmental Neuropsychology, 2001, 20(1): 407-428.

^[2] Brocki K C, Bohlin G. Executive functions in children age 6-13: A dimensional and developmental study[J]. Developmental Neuropsychology, 2004, 26(2): 571-593.

^[3] Kray J, Eber J, Lindenberger U. Age differences in executive functioning across the lifespan: The role of verbalization in task preparation[J]. Acta Psychologica, 2004, 115(2-3): 143-165.

^[4] BEST, JOHN R. "Effects of physical activity on children's executive function: Contributions of experimental research on aerobic exercise." Developmental Review 30.4(2010): 331-351.

^[5] 张育恺,周成林,陈爱国,等.慢性锻炼与认知功能关系的回顾与展望——国际历史发展的视角[J].体育科学,2017,37(5):12.

^[6] Donnelly J E, Greene J L, Gibson C A, et al. Physical Activity Across the Curriculum (PAAC): A randomized controlled trial to promote physical activity and diminish overweight and obesity in elementary school children[J]. Preventive Medicine, 2009, 49(4): 336-341.

段 4 周) 的高强度间歇训练(结合音乐)后,经 Flanker 测试得知高强度间歇训练的认知能力比对照组提升快^[1]。

当已确定适宜运动对认知能力的促进效益后,可依据周期长短将运动干预类研究分急性与长期两类,急性类通常指单次持续一定时长的运动干预,长期类指有计划、持续数周或数月的运动干预,本研究受试群体为儿童,故下文着重综述运动干预对儿童认知能力的影响。

2.3.1 运动干预对儿童注意力的影响

2.3.1.1 急性运动

为了探究运动与注意力促进的效应关系,Reigal 等人对 11-15 岁受试者实施 15min 综合干预(跳跃、5*10 米)后发现体能水平高的受试者选择性注意力得分更高^[2]。Graf 等和 Tine 等人对儿童受试者分别进行 6min 协调性运动和 12 分钟有氧运动干预后注意力集中性、注意选择能力得到显著改善^{[3][4]},Tine 的研究也呈现出同样的结果^[5]。Kulinna 等人分项目展开了探讨,即对 9-10 岁儿童分别进行一次 45min 的体育舞蹈和一次传统体育课运动干预,发现一次性体育舞蹈课能显著改善儿童的注意选择能力^[6]。

从运动强度角度而言,Janssen 等、Gallotta 等和 Claudia 等人对受试者年龄在 8-11 岁间的研究中均得出注意选择能力显著提高的结果,进一步看,干预内容分别是 15min 的中等强度体育活动(跑、跳和跳绳活动组合)、15min 的中等-剧烈强度综合运动和 12min 的跑步运动(HR180-190 次/min)^{[7][8][9]}。运动频率上看,Altenburg 将 10-13 岁的受试者分为 3 组,组一不进行任何体力活动,组二进行一次 20min 的中等强度(40%-60%HRmax)有氧锻炼(视频舞蹈活动),组三进行两次 20min 的体力活动(间隔 90min),结果得出进行 2 次体力活动的受试者注意选择能力评分最高且所获得的益处可持续至完成活动的 110min^[2]。高强度运动对注意力的影响中发现一项值得关注的成果,20 名 8-17 岁的儿童青少年进行一次大强度运动后即刻于 1 小时后测量注意力,结果发现单次大强度运动

^[1] Takehara K, Ganchimeg T, Kikuchi A, et al. The effectiveness of exercise intervention for academic achievement, cognitive function, and physical health among children in Mongolia: a cluster RCT study protocol[J]. BMC Public Health, 1944, 19.

^[2] Reigal R E, Moral-Campillo L, Rocío Juárez-Ruiz de Mier, et al. Physical Fitness Level Is Related to Attention and Concentration in Adolescents[J]. Frontiers in Psychology, 2020, 11.

^[3] Graf C, Koch B, Klippel S, et al. Correlation between physical activities and concentration in children-Results of the CHILT project[J]. Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin, 2003, 54(9): 242-246.

^[4] Tine M T, Butler A G. Acute aerobic exercise impacts selective attention: an exceptional boost in lower-income children[J]. Educational Psychology, 2012, 32(7): 821-834.

^[5] Tine, Michele. Acute aerobic exercise: an intervention for the selective visual attention and reading comprehension of low-income adolescents[J]. Frontiers in Psychology, 2014, 5: 575-.

^[6] Kulinna P H, Stylianou M, Dyson B, et al. The Effect of an Authentic Acute Physical Education Session of Dance on Elementary Students' Selective Attention[J]. BioMed Research International, 2018, (2018-2-5), 2018, 2018: 1-8.

^[7] Janssen M, Chinapaw MJM, Rauh SP, et al. A short physical activity break from cognitive tasks increases selective attention in primary school children aged 10-11[J]. Ment Health Phys Act, 2014, 7(3): 129-134.

^[8] Gallotta M C, Emerenziani G P, Franciosi E, et al. Acute physical activity and delayed attention in primary school students[J]. Scand J Med Sci Sports, 2015, 25(3): e331-e338.

^[9] Claudia, Niemann, Mirko, et al. Influence of acute and chronic physical activity on cognitive performance and saliva testosterone in preadolescent school children[J]. Mental Health and Physical Activity, 2013, 6(3): 197-204.

可对儿童青少年认知能力产生积极和消极的影响,这种影响取决于运动至认知激活的延迟时间和激活的认知类型^[1]。

综合上述结果可发现多数急性研究均采用中等及以上的运动强度,运动项目涉及范围较广(协调运动、有氧运动、综合运动、舞蹈、健身、跑步等),运动项目不同所得结果有所差异。虽多项研究证实了短时运动能够产生认知促进效应,但这种方式带来的积极影响较为短暂,且从人体身心发展的长远性看,长期运动能够获得更持久的影响,因而后续研究主要讨论长期运动干预对注意力的影响。

2.3.1.2 长期运动

长期运动干预中不同年龄、类型的儿童注意力提升效果有所差异,在特殊人群的研究中,刘阳等确定了中等强度(HR120-140 次/min)定向运动对注意缺陷多动障碍(ADHD)儿童注意分配和注意广度的促进^[2],太极拳对 ADHD 倾向儿童的症状同样得以改善^[3]。切合研究目的本文主要综述运动对普通儿童注意力的作用。

儿童时期进行长时体育锻炼可使前额叶皮层相关的认知控制元素增强,Chaddock-Heyman 等人纳入年龄为 8-9 岁的 14 名受试者进行为期 9 个月(5 次/周,60min/次)的体育锻炼后经功能磁共振成像(fMRI)扫描得知右前额叶前部皮层的激活水平下降,注意力和抗干扰能力相继提高^[4]。

就干预内容而言,吴广宏研究足球与乒乓球运动干预对注意持续性的影响,经单次 35min 的主体干预后得出乒乓球运动可使儿童注意持续性能力提高^[5]。Alesi 等人对 8.8±1.1 岁的受试儿童实施为期 25 周(2 次/周,75min/次)的足球干预后注意力明显提高^[6]。Telles 等人 and Chaya 等人分别对儿童(10.5±1.3 岁、7-9 岁)采取 12 周(5 次/周,45min/次)(6 次/周,45min/次)的瑜伽干预后注意力均得到显著提升^{[7][8]}。Adsiz 等人 and Chen 等人分别对儿童实施 12 周排球运动和 4 周(5 次/周)协调运动干预后得出注意力明显改善^{[9][10]}。选取四年级学生分别进入具有协调双边球技能(CBBS)的篮球、足球干预组和常规篮球、足球

^[1] Samuel R D,Zavdy O,Levav M,et al.The Effects of Maximal Intensity Exercise on Cognitive Performance in Children[J].Journal of Human Kinetics,2017,57(1):85-96.

^[2] 刘阳,杨宁.定向运动练习对 ADHD 儿童认知能力影响的实验研究[J].中国特殊教育,2018(11):39-44.

^[3] 陈玉民.太极拳锻炼对注意力缺少多动障碍倾向儿童的影响[J].成都体育学院学报,2016,42(5):29-32.

^[4] Laura C H,Erickson K I,Voss M W,et al.The effects of physical activity on functional MRI activation associated with cognitive control in children: a randomized controlled intervention[J].Frontiers in Human Neuroscience,2013,7:72-72.

^[5] 吴广宏.足球与乒乓球锻炼对少儿注意持续性的影响[J].中国心理卫生杂志,2006,(20)11:741

^[6] Alesi M,Bianco A,Luppina G,et al.Improving Children's Coordinative Skills and Executive Functions:The Effects of a Football Exercise Program[J].Perceptual & Motor Skills,2016,122(1):27.

^[7] Telles S,Singh N,Bhardwaj A K ,et al.Effect of yoga or physical exercise on physical,cognitive and emotional measures in children:a randomized controlled trial[J].Chinese Medicine,7,1(2013-11-07),2013,7(1):37-37.

^[8] Chaya M S,Nagendra H,Selvam S,et al.Effect of Yoga on Cognitive Abilities In Schoolchildren from a Socioeconomically Disadvantaged Background: A Randomized Controlled Study[J].Journal of Alternative & Complementary Medicine,2012,18(12):1161-7.

^[9] Adsiz E,Dorak F,Ozsaker M,et al.The influence of physical activity on attention in Turkish children[J].Healthmed,2012,6(4):1384-1389.

^[10] Chen W,Harris H.Impact Of Coordinated-bilateral Physical Activities On Attention And Concentration In School-aged Children:2833 Board #116 June 12[J].Medicine & Science in Sports & Exercise,2018,50(5S):696.

干预组,对其进行为期 16 周的干预后使用 d2 量表测量得出 CBBS 组注意力表现和注意力持续时间有显著改善,且长时间的球类练习可以改善认知能力^[1]。

结合运动强度看,吴广宏选取五年级学生分设四个实验组(小强度足球组、中强度足球组、小强度乒乓球组、中强度乒乓球组)和一个对照组,对其进行 12 周(3 次/周,主体锻炼 30min/次)的运动干预(小强度 HR105-130 次/min,中等强度 HR130-150 次/min)后使用陈国鹏编制的小学生注意力测验进行测试,得知使小学生注意广度得以显著提高的项目是足球且中等强度效果最优,强度与项目的差异致使所得结果也有所差异^[2]。吴广宏等人再次以五年级学生为实验对象开展研究,结果同样表明使学生注意广度得以改善的项目仍是足球,而乒乓球锻炼主要改善学生的注意持续性和集中性能力,且中等强度的效果同样最佳^[3]。孔久春以少儿健身器、乒乓球运动、跳绳等不同体育锻炼方式对不同年龄阶段(6-11 岁)的儿童实施为期 16 周(3 次/周)的中等强度运动干预后得知使其注意稳定性向好发展的项目是乒乓球和少儿健身拳锻炼,且一年级学生干预效果更显著,进一步发现乒乓球运动对儿童注意稳定性的促进效果最优^[4]。Ma 等人对 9-11 岁儿童进行为期 3 周的高强度间歇训练后发现运动间隔 10 分钟后测量注意选择能力能得到一定程度的改善^[5]。赵梅玲对 5 岁儿童进行持续 16 周(3 次/周,40min/次)强度为 120-140 次/min 的干预后得出功能训练组和网球结合功能训练组的受试者注意力任务显著提高^[6]。

并非所有运动干预均有积极影响,Schmidt 等和 Andrew 等人的研究中儿童(8-10 岁、11.2±0.6 岁)的注意力和持续注意能力效果均不显著,干预内容分别是为期 2 周(2 次/周,10min/次)的体育活动和为期 4 周(3 次/周,10min/次)的运动干预^{[7][8]}。

如上所述,运动干预对注意力的影响效果存在强度、干预变量、测量方法项目等方面的差异,中等及以上强度运动对注意力的影响效果最佳,干预周期或长或短(短则两周,多则 9 个月)皆能促进注意力的发展,但单次时长较短的干预效果不显著。内容安排上,技能项目干预居多且不同运动项目对注意力子维度的影响效果存在差异性,缺乏体能主导的运动对儿童注意力的影响。故考虑总结各方案中利于注意力提升的理念与思路,设计基于中高等强度负荷下包含各项身体素质练习的组合运动干预方案,以此探究短周期高频次的中高等强度运动干预对注意力的影响效果。

^[1] Chen J. The Impacts of Coordinated-Bilateral Ball Skills Intervention on Attention and Concentration, and Cardiorespiratory Fitness among Fourth-Grade Students[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2021, 18.

^[2] 吴广宏. 足球与乒乓球锻炼对小学生的注意广度影响的实验研究[J]. 北京体育大学学报. 2005. 12.

^[3] 吴广宏, 徐培, 梁斌. 足球与乒乓球锻炼对小学生注意特征的影响[J]. 中国体育科技, 2007, 43(002): 106-109.

^[4] 孔久春. 不同锻炼方式对儿童注意力稳定性影响的实验研究[D]. 北京体育大学 2008. 06.

^[5] Ma J K, Le Mare L, Gurd B J. Four minutes of in-class high-intensity interval activity improves selective attention in 9-to-11-year olds[J]. Applied Physiology Nutrition & Metabolism, 2015, 40(3): 238-244.

^[6] 赵梅玲. 两种训练干预方案对学龄前儿童体质与不同认知任务的影响[J]. 北京体育大学学报, 2020, 43(5): 9.

^[7] Schmidt M, Benzing V, Wallman-Jones A, et al. Embodied learning in the classroom: Effects on primary school children's attention and foreign language vocabulary learning[J]. Psychology of Sport and Exercise, 2019, 43: 45-54.

^[8] Andrew, N, Wilson, et al. The impact of 10-minute activity breaks outside the classroom on male students' on-task behaviour and sustained attention: a randomised crossover design[J]. Acta Paediatrica, 2016, 105(4): e181-e188.

2.3.2 运动干预对儿童执行功能的影响

2.3.2.1 急性运动

急性运动已广泛应用于执行功能的研究中,国内殷恒婵等人选取小学生群体进行干预后得出执行功能显著改善,细观实验方案发现干预中体现了高认知参与理念,以花样跑步、趣味田径游戏、小手球+素质练习、踢毽+游戏、武术+花样跳绳+8 字跑五种方案为干预内容^[1]。结合强度与项目看,有研究把四年级学生分为灵敏运动、有氧运动、阻力运动和对照共四组分别进行中等强度干预(60%-69%HRmax),受类型影响所得结果也不同,具体表现为有氧运动对执行功能的促进效果优于灵敏和阻力运动^[2]。陈爱国等人选取四年级学生分为大强度(70%-79%HRmax)、中等强度(60%-69%HRmax)、小强度(50%-59%HRmax)和对照共四组,经篮球运球干预后得出不同强度运动对被试的执行功能存在积极影响,中等强度对抑制及工作记忆能力的效果最好,其次为大强度,认知灵活性同为中等强度干预效果最好^[3]。Tottori N 选取 8-12 岁儿童进行 8-10 分钟 HIIT 训练后发现儿童执行功能显著提高^[4],使用 HIIT 干预的还有 Martínez-Vizcaíno V 的研究,针对儿童喜爱游戏的天性将 HIIT 与游戏相结合,通过 15 分钟的热身、28 分钟的 HIIT 游戏及 10 分钟的放松运动后成功提高了儿童的执行功能^[5]。Lambrick D 对 20 名约 8.8 岁的儿童进行两次 15 分钟的次最大强度跑步机运动,经测量 Stroop 任务且经近红外光谱(NIRS)测量脑灌注和氧合后得出儿童的执行功能显著提高^[6]。

综上可发现中等及以上强度是该类研究中运用最多且最有效的负荷强度,能够显著提升儿童群体的执行功能,而干预内容不同执行功能所得效果不同,由于本研究目的主要为长期运动对儿童执行功能的影响,对急性干预不做过多赘述。

2.3.2.2 长期运动

长期运动干预基于不同内容、强度对普通儿童的执行功能能力进行了广泛研究,Taubert 等对 23 名 8-9 岁小学生进行为期 9 个月(5 次/周,60min/次)的运动干预后发现抑制和转换功能得到明显的提升^[7]。Kamijo 等对 43 名 7-9 岁的小学生进行为期 9 个月(5 次/周,120min/次)的运动干预后使用 Sternberg 任务和 fMRI 测量得知工作记忆能力明显改善^[8]。Catherine 等人对 7-11 岁的儿童采用

^[1] 殷恒婵,李鑫楠,陈爱国,宋湘勤,杜吟,潘家礼,王畅.5 种运动干预方案对小学生脑执行功能影响的试验研究[J].天津体育学院学报,2015,30(01):7-10

^[2] 颜军,王源,陈爱国,马冬静.短时中等强度不同类型运动对小学生执行功能的影响[J].体育与科学,2014,35(06):94-100.

^[3] 陈爱国,赵莉,李焕玉,颜军,殷恒婵.不同强度短时篮球运球训练对小学生执行功能的影响[J].天津体育学院学报,2014,29(04):352-355.

^[4] Tottori N, Morita N, Ueta K, Fujita S. Effects of High Intensity Interval Training on Executive Function in Children Aged 8-12 Years. Int J Environ Res Public Health. 2019;16(21):4127. Published 2019 Oct 26.

^[5] Martínez-Vizcaíno V, Álvarez-Bueno C, Cavero-Redondo I, et al. MOVI-daFIT! Intervention: Rationale and design of a cluster randomized controlled trial testing the effects on improving adiposity, cognition, and subclinical atherosclerosis by increasing cardiorespiratory fitness in children. Medicine (Baltimore). 2019;98(9):e14737.

^[6] Lambrick D, Stoner L, Grigg R, Faulkner J. Effects of continuous and intermittent exercise on executive function in children aged 8-10 years. Psychophysiology. 2016;53(9):1335-1342.

^[7] Taubert M, Pleger B. The effect of physical activity on functional MRI activation associated with cognitive control in children: a randomized controlled intervention[J]. 2013, 12(7):12-18.

^[8] KAMIJO K, PONTIFEX M B, OLEARY K C, et al. The effects of an afterschool physical activity program on working memory in preadolescent children[J]. Developmental Science, 2011, 14(5):1046-58.

fMRI 测试实施 13 周 (20-40min/天) 干预后的效果, 结果得知运动可以发展执行功能能力并致使大脑激活改变^[1]。

细观干预内容, 研究者选取 24 名 7-10 岁儿童进行为期 8 周 (2 次/周, 90min/次) 的体操训练干预, 同龄 20 名对照儿童维持日常活动不进行干预, 结果得知体操运动干预可以促进儿童空间工作记忆能力^[2]。盖笑松等人将儿童依据高/低认知、高/低强度的不同配对形式分为四组, 对其进行 6 周 (3 次/周, 20min/次) 的体感游戏干预, 采用倒背数字、Flanker 任务、维度变化卡片分类任务 (DCCS) 测试后得知执行功能显著提高, 尤其受干预过程中认知参与因子和运动强度因子的影响 (认知参与因子>运动强度因子), 工作记忆和认知灵活性的改善最为明显^[3]。PANG 等选取 8-11 岁儿童分别进行为期 6 个月 (1 次/周, 120min/次) 包含认知性质的体育课及普通体育课后得知前者可发展儿童的反应抑制能力^[4]。

干预内容与强度相结合来看, 江大雷、曾从周对实验组儿童进行 8 周中等强度足球运动游戏干预 (35min/次, 2 次/周) 后得出实验组的执行功能总分和抑制控制得分显著高于对照组^[5]。殷恒婵选取三、五年级学生进入两个实验组分别进行为期 20 周 (3-5 次/周, 30min/次)、强度为 40%-80%HRmax 的运动干预训练 (干预一为武术的基础上加入跳绳和“8 字跑”、干预二为花样跑步), 于干预前、干预 10 周和 20 周后测量执行功能能力, 结果得知 20 周干预后所测的执行能力均大于 10 周干预后的效果, 干预一的抑制控制能力更好, 干预二的工作记忆效果更好, 两种方案的认知灵活性均得到提升^[6]。刘丽丽对 9-11 岁学生进行 8 周 (2 次/周) 的中等强度 (60%-69%HRmax) 花样跳绳运动干预后发现受试者工作记忆及认知灵活性水平得到显著改善^[7]。戴朝选取 10-11 岁儿童进行 24 周 (5 天/周, 2 h/天 (2 次)) 的中等强度 (60%-69%HRmax) 足球运动 (技术、战术演练和模拟比赛等) 后, 分别于 0 周、24 周、停练 4 周和停练 8 周时测试结果变化情况, 得知实验组抑制控制和认知灵活性能力的提高极其显著的优于对照组, 工作记忆能力表现出显著改善, 停练后抑制和灵活性能力的改善效果仍能保持至第 8 周^[8]。CHANG 等选取 6-8 岁儿童分别进行 8 周 (2 次/周, 35min/次) 的中强度和低强度足球运动后得知两种运动强度均能提升儿童的反应抑制能力^[9]。Davis 等人对均龄为 9.2 岁的受试者执行持续 15 周的运动干预后得知大剂量运动组的执行功能任务得分明显高于对照组^[10]。Nobuaki 对 8-12 岁儿童进行为期 8

^[1] Catherine L. Davis, Tomporowski. Exercise Improves Executive Function and Achievement and Alters Brain Activation in Overweight Children: A Randomized, Controlled Trial [J]. Health Psychology, 2011, 30:1, 91-98.

^[2] Hsieh S S, Lin C C, Chang Y K, et al. Effects of Childhood Gymnastics Program on Spatial Working Memory [J]. Medicine & Science in Sports & Exercise, 2017, 49(12):2537-2547.

^[3] 许洁, 盖笑松. 体感游戏促进儿童执行功能: 运动强度和认知参与的作用 [C]//第二十二届全国心理学学术会议摘要集. 2019.

^[4] Pang T Y C, Hannan A J. Enhancement of cognitive function in models of brain disease through environmental enrichment and physical activity [J]. Neuropharmacology, 2013, 64(Complete):515-528.

^[5] 江大雷, 曾从周. 8 周中等强度足球运动游戏对学龄前儿童执行功能发展的影响 [J]. 中国体育科技, 2015 (2):43-50.

^[6] 殷恒婵, 等. 两种运动干预方案对小学生执行功能影响的追踪研究 [J]. 体育科学, 2014, 34(3):24-28.

^[7] 刘丽丽. 8 周花样跳绳运动对小学生执行功能影响的实践研究 [D]. 扬州大学, 2016.

^[8] 戴朝. 足球锻炼及停练对 10-11 岁儿童执行功能的影响 [J]. 成都体育学院学报, 2020, 46(05):109-113.

^[9] CHANG Y K, TSAI Y J, CHEN T T, et al. The impacts of coordinative exercise on executive function in kindergarten children: an ERP study [J]. Exp Brain Res, 2013, 225(2):187-196.

^[10] Davis C L, Tomporowski P D, Boyle C A, et al. Effects of Aerobic Exercise on Overweight Children's Cognitive Functioning: A Randomized Controlled Trial [J]. Research Quarterly For Exercise & Sport, 2007, 78(5):510-519.

周（3 次/周，8-10min/次）的高强度间歇和中等强度有氧训练，采用伦敦塔等任务测量得出高强度间歇组儿童工作记忆得分显著提升^[1]。Tuckman 等对儿童进行为期 12 周（3 次/周）的有氧运动后得出儿童的认知灵活性能力显著提升^[2]。研究者对 7-13 岁儿童分别进行为期 6 周的高强度训练及较低强度训练，经 Flanker、倒背数字、反向 Corsi 等多项任务测试后得出高强度间歇训练显著改善了儿童的认知控制与工作记忆能力^[3]。

并非所有干预研究均能改善受试者的执行功能，Konijnenberg 选取了 1173 名 7-12 岁的儿童，对其进行为期 6-8 个月健康导向的慢性运动教学项目（HOPP）（45min/天），包括在校期间每天 45 分钟的中低强度体育活动，且每周定期上体育课，Flanker 任务、Stroop 任务测试得出儿童的执行功能未发生明显改变^[4]。Greeff 对 8.1±0.7 岁儿童的研究中也得出相似结果，同为中低强度体育课形式干预^[5]。除了常规体育课的运动干预，部分学者也进行了众多运动形式的探索，例如有研究对学龄儿童进行 10 周干预（20min 中低强度蹦床训练，5 次/周），并于干预后进行 SCA、GNG、WMS 和 FIS 测试得知儿童执行功能未发生明显变化。Egger 对 7-9 岁的儿童进行为期 20 周的以课堂为基础的低强度体力活动项目（有氧组）后得知执行功能无显著差异。

综上所述，不同干预类型、时长、周期、强度对执行功能各子能力的影响有所差异，以中等及以上强度为主的研究多对执行功能有改善作用，而无提升效果的研究多为低强度负荷，在相关研究中表明认知参与度高的运动相对于单一运动效果更好，且不同研究中对各子功能的促进程度不一，故可综合已有研究中利于执行功能发展的相关变量来设计干预方案，以此研析执行功能的最大改善程度效益。

2.3.3 儿童认知能力的提升方法

本文的认知能力包括注意力和执行功能，二者既相互联系又相互区别，共同反映人体的认知能力。基于本研究目的可整合已有研究成果中利于该认知能力提升的设计理念与方法，综合设计运动方案以促进儿童认知能力的高效提升。

经研究实践得知，儿童接受身体协调性运动（如视-动协调训练、视-听协调训练、听-动分配训练等）可显著改善其协调动作表现、视觉空间工作记忆、注意力、计划、认知灵活性、抑制能力及注意选择能力，换言之，大脑不同部位协调工作的练习活动不仅改善动作协调能力更改善认知能力水平^{[6][7][8][1]}；有氧、无

^[1] Nobuaki Tottori, Noriteru Morita, et al. Effects of High Intensity Interval Training on Executive Function in Children Aged 8-12 Years[J]. Cns Drugs, 24(9):755-768.

^[2] Tuckman BW, Hinkle JS. An experimental study of the physical and psychological effects of aerobic exercise on schoolchildren[J]. Health Psychology. 1986, 5:197.

^[3] Moreau D, Kirk I J, Waldie K E. High-intensity training enhances executive function in children in a randomized, placebo-controlled trial[J]. eLife Sciences, 2017, 6:e25062.

^[4] Konijnenberg C, Fredriksen PM. The effects of a school-based physical activity intervention programme on children's executive control: The Health Oriented Pedagogical Project (HOPP). Scand J Public Health. 2018;46(21_suppl):82-91.

^[5] de Greeff JW, Bosker RJ, Oosterlaan J, Visscher C, Hartman E. Effects of physical activity on executive functions, attention and academic performance in preadolescent children: a meta-analysis. J Sci Med Sport. 2018;21(5):501-507.

^[6] 王泽军, 季浏, 褚昕宇. 运动对认知能力的影响及其神经生物学机制[J]. 中国运动医学杂志, 2011, 30(11): 1039-40.

^[7] EGAN C D, VERHEUL M H G, SAVELSBERGH G J P. Effects of experience on the coordination of internally and externally timed soccer kicks[J]. J Motor Behavior, 2007, 39(5):423-432.

^[8] 沈德立, 阴国恩. 中国青少年注意发展与教育[M], 中国卓越出版社 1990 年版。

氧运动能对人体执行功能产生正面影响^[1]；间歇运动可作为促进认知能力发展的重要运动形式^[2]；包含更多趣味性、团体性（同伴参与、合作完成）与复杂任务的项目可刺激生理活动同时促进儿童的策略选择、问题理解与解决能力以此完善认知水平^{[9][3]}；积极地心理环境、丰富的体育器材及合作的组织形式有助于儿童执行功能发展^[4]；复杂的动作形式及反复进行丰富执行功能操作的运动能够强化执行功能能力^{[5][6]}；出声复述、适应性体育锻炼方法可以最大程度地发挥工作记忆能力的可塑性^{[7][8]}；相比于简单的、封闭的、认知参与较少的项目（跳绳、跑步等），认知参与因子高的项目更有利于发展儿童的执行功能能力（如篮球、足球等项目）^{[9][10][11]}；相对开放的、注意范围大、注意信息量多的集体性项目（如大球类）可以提升儿童的注意广度^[1]；长时间聚焦的项目类型（如小球类）可以提升儿童的注意集中性。

强度设置上，中等强度运动对执行功能的促进效益通过行为学与脑神经科学的依据得以证实^{[11][12]}，倒 U 理论中同样证实中等强度的运动可以提升认知能力。除此，也有研究表明中高强度持续训练和高强度间歇训练均可以显著改善儿童和青少年的执行功能^[13]，甚至高强度运动远比中强度短时间运动带来的效益更高^[14]，注意力研究的综述中同执行功能保持着一致的结果，同认为中等强度运动更能显著提高注意力。

综合上述智者的提升理念，本研究中运动干预采用中高等强度负荷，运动方案包含有氧、无氧、混氧供能的多种运动素质组合而成的高认知参与运动。

^[1] 路毅, 邓文冲. 不同运动方式对大脑结构及认知功能的调节作用及差异[J]. 中国组织工程研究, 2021, v. 25;No. 949(20):142-148.

^[2] 蔡春先, 张运亮, 朱艳彤, 等. 间歇运动干预对儿童执行功能的影响及其延迟效益研究[J]. 首都体育学院学报, 2021, 33(5):8.

^[3] Manion V, Alexander JM. The benefits of peer collaboration on strategy use, metacognitive causal attribution, and recall[J]. J Exp Child Psycho, 1997, 67(2):268-289.

^[4] Pesce C. Shifting the focus from quantitative to qualitative exercise characteristics in exercise and cognition research[J]. J Sport Exerc Psychol, 2012, 34(6):766.

^[5] MOREAU D, CONWAY A R A. Cognitive enhancement: a comparative review of computerized and athletic training programs[J]. International Review of Sport and Exercise Psychology, 2013, 6(1):155-183.

^[6] Center on the Developing Child at Harvard University. Building the Brain's "Air Traffic Control" System: How Early Experiences Shape the Development of Executive Function: Working Paper No. 11[R]. 2011.

^[7] Buckley S, Macdonald J, Laws G. The effects of a short training in the use of a rehearsal strategy on memory for words and pictures in children with Down syndrome[J]. 1996, 4(2):70-78.

^[8] FURLEY P, MEMMERT D. The role of working memory in sports [J]. Int Rev Sport Exerc Psychol, 2010, 3(2):171-194.

^[9] Tomporowski P D, McCullick B, Pendleton D M, et al. Exercise and children's cognition: The role of exercise characteristics and a place for meta cognition[J]. Journal of Sport & Health Science, 2015, 4(1):47-55.

^[10] 傅建, 范亚荣. 不同时间中等强度体育锻炼对初中生执行功能和学业成绩影响的实验研究[J]. 体育与科学, 2016(6):110-116.

^[11] 解超, 金成吉, 张自云, 等. 中等强度有氧运动对我国学龄儿童执行功能影响的 Meta 分析[J]. 中国学校卫生, 2017, 38(1):65-68.

^[12] Schmidt M, Jäger K, Egger F, et al. Cognitively Engaging Chronic Physical Activity, But Not Aerobic Exercise, Affects Executive Functions in Primary School Children: A Group-Randomized Controlled Trial[J]. Journal of Sport & Exercise Psychology, 2015, 37(6):575.

^[13] Lambrick D, Stoner L, Grigg R, et al. Effects of continuous and intermittent exercise on executive function in children aged 8-10 years[J]. Psychophysiology, 2016, 53(9):13-35.

^[14] Costigan S A, Eather N, Plotnikoff R C, et al. High-intensity interval training for improving health-related fitness in adolescents: a systematic review and meta-analysis[J]. Br J Sports Med, 2015:1253-1261.

2.4 文献小结

综合各相关领域的研究成果, 认知能力的界定、划分、测量方法等内容已极为丰富, 运动对注意力、运动对执行功能的关系下展开了基于运动干预变量(运动项目、运动周期、时长、频次、强度、测评指标)等不同要素组合的研究, 已取得相应成果, 如: 中等强度运动能较为有效的改善注意力和执行功能能力, 不同运动项目对注意力和执行功能的干预效果有所差异, 干预时长和周期能够影响注意力和执行功能的改善程度。相比国外研究, 国内长期运动干预对儿童认知能力影响的高质量研究较少, 而受不同实验方案差异性的影响, 运动方式、时长、强度、认知能力测试等的侧重点各有不同, 较难进行综合比较。

儿童虽作为认知能力快速发展期的群体, 我国多数研究皆将对象指向于特殊儿童群体, 对普通儿童的研究有待充实, 仍然缺乏普通儿童群体中组合训练对认知能力影响的研究, 已有研究成果不足以反映运动对普通儿童认知能力的最佳效益方案。运动负荷的监控是否科学有效, 为何存在中高等强度与“倒 U 负荷理论”负荷分歧, 所选取的测试指标是否适合对应年龄群体, 运动方案设计是否依据受试情况进行具体分析设计。显然, 这些问题还未得到解决, 普通儿童群体中长期运动与认知能力的量效关系还缺乏部分研究内容的论证。因此, 本研究选用为期 4 周(16 次)的由不同运动素质组合而成的具有高认知参与的中高等强度运动方式进行干预研究, 以此探究中高等强度运动对普通儿童认知能力的影响效果。

3 研究对象与方法

3.1 研究对象

将 4 周中高等强度运动对 7-9 岁儿童认知能力的影响作为本文的研究对象。

3.2 研究方法

3.2.1 文献资料法

通过中国知网、百度学术、Web of science(WOS)、PubMed 等数据库以不同形式组合的检索词检索发表于 2022 年 2 月 15 日前的运动与认知能力相关的文献, 检索词包括: “儿童”、“儿童青少年”、“运动干预”、“运动”、“中高等强度”、“认知”、“执行功能”、“注意力”、“Children”、“Children and Adolescents”、“Physical Activity”、“Exercise Intervention”、“Exercise”、“Activity”、“cognitive”、“Executive Function”、“Attention”等。以此深入了解相关领域的国内外研究现状, 为本研究探索中高等强度运动与儿童认知能力的关系找寻理论基础。

3.2.2 实验法

3.2.2.1 实验对象

依据纳入标准累计招募到上海市 JD 区 AY 社区儿童 43 名(24 名男童 19 名女童), 随机分组后干预组 22 名、对照组 21 名, 所选受试者的监护人签署自愿知情书, 并同意被监护受试儿童参与本实验。

纳入标准: 年龄在 7-9 岁间; BMI 值为 $18.5-23.9\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$; 无精神异常, 无多动症, 无明显智商差异(父母、教师评价排查); 非色盲; 惯用右手; 无呼吸道疾病; 无运动禁忌症; 能够正常完成学校体育课; 干预前测的前两天无大情绪波动与剧烈运动; 能够与人正常交流; 无家庭经济困难。

排除标准: 基于筛选标准排除累计三次干预训练缺席的受试者。

实验期间因新冠肺炎疫情、度假等因素影响未能完成实验的儿童共 3 名, 包含干预组 2 名, 对照组 1 名, 最终纳入研究的受试儿童情况如下表 1 所示。经对受试对象年龄、身高、体重数据进行独立样本 T 检验后得出, 干预组与对照组在下述基本指标中无显著差异 ($P>0.05$)。

表 1 受试者基本信息的同质性检验结果 ($M\pm SD$)

分组	总 (n=40)	IG (n=20)	CG (n=20)	P
性别 (男/女)	23/17	13/7	10/10	0.350
年龄 (岁)	7.93 \pm 0.76	7.70 \pm 0.73	8.15 \pm 0.75	0.062
身高 (cm)	132.85 \pm 7.60	132.50 \pm 7.42	133.20 \pm 7.95	0.775
体重 (kg)	28.20 \pm 6.57	29.15 \pm 7.72	27.25 \pm 5.21	0.367

注: IG: 干预组; CG: 对照组; 独立样本 T 检验 $P>0.05$ 为无显著差异。

3.2.2.2 实验时间和地点

2021 年 7 月中旬-8 月中旬进行为期 4 周的运动干预 (受新冠肺炎影响, 4 周内包括前测与后测共 4 天), 第一周的周一-周二与第四周的周四-周五进行测试, 其余工作日的上午进行干预训练, 单次时长为 60 分钟, 晴天于户外进行, 雨天于室内进行, 上海市 JD 区 AY 社区广场大草坪及活动室为实验地点。

3.2.2.3 实验仪器与器材

(1) 博能 (polar) 心率表与 Ipad: 心率表共 22 个, 产自芬兰, 产品编号为 10021116610382, 该表拥有 9 个光学通道, 可使心率监测反应时间更快、读书更灵敏; 博能心率表与装有“polar team”团队心率监测软件的 Ipad 同时使用。

(2) 其他器材: 电子秤、皮尺各一, 标志碟、标志桶、跳圈、小栏架、绳梯若干。

3.2.2.4 实验设计

(1) 干预设计安排

本研究为验证中高等强度运动对儿童认知能力的促进效果和影响差异, 干预组依据综述汇总的认知提升方法制定干预任务, 为最大程度的实现 7-9 岁儿童认知能力的发展。周期安排上干预组儿童进行为期 4 周共计 16 次的中高等强度运动干预, 分 4 个阶段进行, 第 1 次-第 4 次为第一阶段, 第 5 次-第 8 次为第二阶段, 第 9 次-第 12 次为第三阶段, 第 13 次-第 16 次为第四阶段。对照组维持 4 周的日常身体活动且不进行规律性的运动干预。

干预组的课程设计将综合综述部分专家学者对认知能力的提升方法而拟定。具体而言, 基于协调性运动对认知能力的促进, 在训练过程中设计跳跃类、爬行类、视-动-听协调训练类等运动内容; 基于开放性运动类型对注意广度的提升, 设计指令搜索跑、翻碟子热身跑等内容; 基于高认知参与对执行能力的提升, 设计运动中融入认知因素的固定指令热身跑、假口令动作等运动内容; 基于积极心理环境对执行功能的发展, 干预训练中多以积极评价与积极反馈的形式开展; 基于出声复述对工作记忆的提升, 设计冥想、出声复述训练环节等形式内容; 基于复杂动作形式对认知能力的提升, 设计最伟大拉伸、闯三关等内容; 基于合作与趣味性的组织形式对认知能力的提升, 为利用视觉、听觉刺激儿童在运动过程中的认知能力, 设计五子棋游戏、分组比拼游戏等内容; 基于间歇运动利于儿童认知能力的发展, 运动干预部分采用间歇形式开展; 基于丰富的体育器材对执行功能的提升, 运用颜色丰富的标志碟、标志桶、小栏架、圆圈、绳梯等多种运动器

械辅助干预训练；基于中等强度负荷与高等强度负荷对认知能力的促进效应，采用中高等强度负荷（ $\geq 60\%$ HRmax）进行运动干预。考虑儿童身心发展的规律性与阶段性，运动干预方案的内容设计由易至难，运动强度由低至高。

综合上述设计思路，部分干预练习示例如下：

指令搜索跑：所有受试儿童在跑步过程中，注意听教练突然发出的口令，如“一个红色标志碟与一个绿色标志桶！”此时围绕所有散乱标志物跑步的受试者需按照口令快速反应，于最短的时间取到目标标志物，而后继续跑步，直至受试者将所有标志物都拿到。一个标志物记 1 分，分数多者获胜，以此为目标激励受试儿童积极参与。该内容设计意图为：运动过程中儿童需对教练的简单指令与复杂指令快速反应，锻炼了工作记忆能力，随后大脑需对其指令进行动作转换，体现认知灵活性能力，寻找目标物，考验受试儿童注意选择的能力。

碎步反口令激活：当听到开始口令后所有受试儿童双腿微屈双脚快速点地，双臂于体侧慢速前后摆动完成碎步激活动作，此过程中教练会给出指令如“左”！受试儿童需向反方向一侧“右”跳转一次后继续回到原始动作继续完成碎步激活练习，以此反复练习，直至教练发令“停止”。该内容设计意图为在快速运动过程中儿童需抑制住习惯的动作指令，完成相反的动作，体现抑制控制能力，其次，碎步反向跳转动作的转换体现认知灵活性能力。

五边形指令任务：受试儿童立于五个不同颜色标志碟围成的五边形中，依据教练口令如“红色点 10 次开合跳”、“触碰绿色后黄色高抬腿”依次完成动作。设计意图为颜色判断锻炼注意选择能力，动作变换锻炼认知灵活性能力，复杂口令锻炼工作记忆能力。

闯三关练习：所有儿童分为相同人数的组别，以接力的形式完成闯三关练习，比拼哪一组能在最短的时间内完成任务，依次为标志线单双脚转换跳-绕八字-虫蠕式触碰标志物-标志圈套标志桶。设计意图为不同动作间的变换锻炼认知灵活性能力，颜色触碰锻炼注意选择能力，圆圈套标志桶锻炼抑制控制能力，站点循环练习锻炼工作记忆能力。

（2）实验干预方案

干预组各阶段运动干预方案见下表 2，对照组维持日常身体活动且不进行规律性运动。

表 2 干预组中高等强度运动方案

干预周期	动作准备部分	主体训练部分	恢复再生部分
第一阶段 (第 1-4 次)	抱团游戏热身跑、 手臂画圆、侧滑 步、虫蠕式、抱膝 提踵、弓步走、四 字拉伸、行进下蹲 跳、原地碎步接冲 刺跑、碎步反口令 激活	双人拉绳合作游戏 圆圈类：简单动作 绳梯类：简单动作 爬行类：直线简单爬行 小栏杆类：单一方向动作 标志碟类：两点间的变换动作 标志桶类：单一方向动作 综合类：简单动作	
第二阶段 (第 5-8 次)	固定指令热身跑、 肩部 T 激活、侧滑 步、虫蠕式、侧蹲 步、超人拉伸、碎 步跳跃、前后跳线 接冲刺跑、前后踩 线接指定动作练 习	闯关三关练习 圆圈类：多方向动作+认知指令 绳梯类：多方向动作 爬行类：直线简单爬行 小栏杆类：正向与侧向动作 标志碟类：三点间的变换动作+ 认知指令 标志桶类：前后与左右方向动作 综合类：简单组合动作	站姿并腿拉伸、站 姿分腿拉伸、 站姿腿前测拉伸、 仰卧麻花拉伸、俯 卧双手拉脚背等、 冥想 30 秒、出声 复述训练环节
第三阶段 (第 9-12 次)	翻碟子热身跑、肩 部 Y 激活、侧滑 步、虫蠕式、弓步 接侧蹲步、最伟大 拉伸、一进二退 跳、左右跳线接冲 刺跑、前后踩线接 前后跳线	五子棋游戏练习 圆圈类：组合动作+认知指令 绳梯类：组合动作 爬行类：正向与侧向动作 小栏杆类：多方向动作 标志碟类：四点间的变换动作+ 认知指令 标志桶类：组合动作+认知指令 综合类：复杂动作	
第四阶段 (第 13-16 次)	指令搜索热身跑、 肩部 W 激活、侧 滑步、虫蠕式、盘 腿下坐、最伟大拉 伸、一进二退跳、 碎步激活接前后 踩线、原地反口令 指定动作练习	圆圈类：组合动作+认知指令 绳梯类：组合动作 爬行类：多方向组合动作 小栏杆类：多方向组合动作 标志碟类：五点间的变换动作+ 认知指令 标志桶类：组合动作+认知指令 综合类：复杂动作+认知指令	

(3) 训练流程安排

准备部分 (15min)：包括一般性热身、脊柱激活、动态拉伸、动作整合、神经激活五部分内容。中高等强度运动干预的强度递增应循序渐进，使受试者逐渐适应运动强度与运动策略，故而该准备活动旨在唤醒受试者的运动参与及部分认知参与，为主体训练内容做足身心准备。

主体部分 (37min)，基于上表 2 中的安排，第一阶段为第 1-4 次干预课程，考虑受试者年龄及本研究设计思路，这一阶段训练内容以单一方向的简单动作及少量的认知策略为主，因初期设计较难的动作会使受试儿童动作完成质量较低且

过分关注动作的细节及规范性而达不到预计运动负荷,所以,本阶段的目的是帮助受试者熟练掌握简单动作,在保证运动强度的同时为后期复杂动作练习奠定基础,以间歇训练形式开展为主,单次训练安排为 3 个循环,每一循环间间歇 3 分钟。第二阶段为第 5-8 次干预课程,经过第一阶段动作的积累,受试者逐步理解且能够执行教练的指令,动作难度逐渐增加,基于第一阶段的基础上融入更多的认知指令,此阶段单次训练安排仍为 3 个循环,每一循环间间歇 3 分钟。第三-四阶段,练习内容与认知策略难度逐渐递增,间歇安排同为 3 个循环,组间间歇缩短至 2 分钟。

结束部分(8min),静态拉伸、冥想及出声复述运动环节。经过中高等强度训练后受试者身体已极度疲劳,进行拉伸放松以消除运动疲劳促进机体恢复,为下一次干预训练做准备,冥想 30 秒要求受试者闭眼同时引导回顾训练过程,随后的 1 分钟要求集体出声复述运动环节过程,旨在融入认知参与以实现认知能力的提升。

(4) 运动强度监测

本研究所定义的中高等强度负荷为大于等于 60%HRmax,运用 polar 表对干预组儿童进行干预中全课时的运动强度监测,课内通过 Ipad“polar team”软件实时了解受试者的平均心率、最大心率和强度区间累计时间值(如下图 1 部分训练心率实时监测图所示),心率区间一代表 50%-59%HRmax 的时长值,心率区间二代表 60%-69%HRmax 的时长值,区间三、区间四、区间五分别代表 70%-79%HRmax、80%-89%HRmax、 $\geq 90\%$ HRmax 的时长值。一旦运动强度不符合设定区间,立即调整间歇时间及组织形式,通过积极评价等方式合理将运动强度控制在中高等强度区间内。

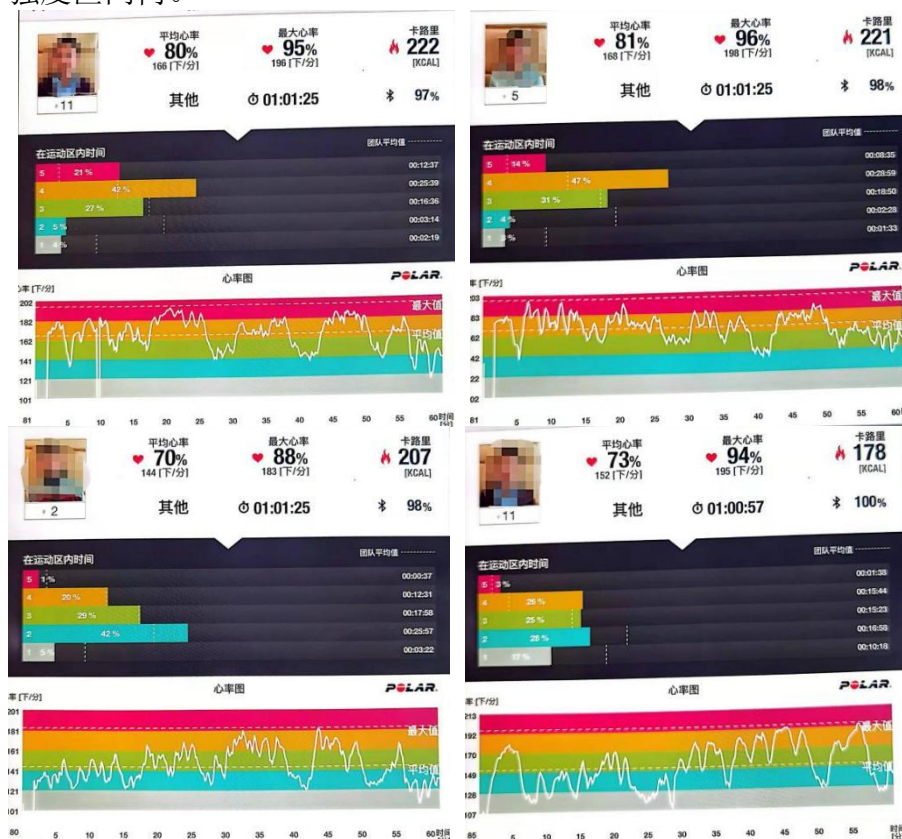


图 1 运动负荷实时监测图例

3.2.2.5 实验控制

(1) 认知能力测试分别于正式干预前两天内和干预结束后两天内的上午 8:30 进行, 尽可能减少认知能力时程效益带来的影响。

(2) 干预时间统一安排为训练日的上午 9:00-10:00, 一天中由于气温相差较大, 因而保持同一时间段的干预, 尽可能避免不可控因素给受试者带来的不适影响。

(3) 所有干预课程由上海体育学院儿童青少年体能方向的 3 名研究生组织进行, 直至训练结束, 避免因干预期间更换教练从而影响受试者的训练适应。

(4) 每次干预训练中的运动强度采用心率表监测, 运动负荷总体监控通过 Ipad 显示, 利于严格做到群体强度监测并及时调控。

(5) 所有受试儿童在 4 周期内不进行实验外的固定运动, 故儿童干预外的运动因素产生的混杂影响可控, 不会对实验效果构成影响(经家长访谈形式确定, 干预外运动因素的界定: 有规律性及组织性; 非自发性运动, 大于 2 次/周, 大于 60min/次, 中高等强度)。

(6) 干预训练过程中受试者统一着舒适的运动服、运动鞋。

3.2.2.6 实验流程

第一步, 制定干预方案, 进行初期调整, 在此基础上修改并确定干预方案; 第二步, 招募两组受试对象, 并与家长沟通, 介绍本实验的目的、意义及对受试者的益处, 确定最终实验对象; 第三步, 干预正式开始前对受试对象进行所有指标的前测, 收集相关数据, 确保两组受试者同质; 第四步, 按照干预方案进行为期 4 周共计 16 次的运动干预; 下一步, 干预结束后对所有受试者进行后测, 收集相关数据; 最后, 整理分析所有实验数据, 进行论文撰写。实验流程如下图 2 所示:

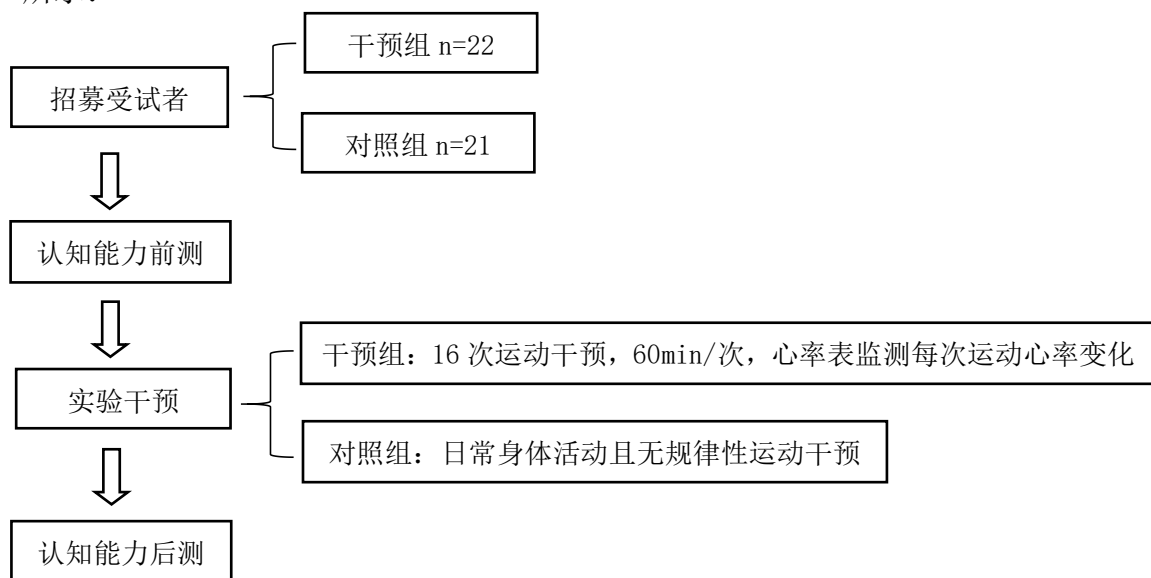


图 2 实验流程图

3.2.3 测试法

3.2.3.1 测试的时间及地点

4 周内的第一周周一-周二完成前期测试, 第四周周四-周五完成后期测试, 地点为上海市 JD 区 AY 社区活动室。

3.2.3.2 测试的仪器

装有 E-prime3.0 软件的笔记本电脑 6 台, 大小均为 15.6 寸, 纸质版倒背数字任务问卷若干份。

3.2.3.3 测试内容

本文中认知能力共包含 6 项测试任务, 视觉搜索任务测试注意选择能力, 注意容量任务测试注意广度能力, Flanker 任务测试抑制控制能力, 改编后的 coris 模块任务测试空间工作记忆能力, 倒背数字任务测试语言工作记忆能力, 类别-颜色转换任务测试认知灵活性能力, 如下表 3 所示:

表 3 测试内容与任务一览表

测试内容	测试任务
注意选择	视觉搜索任务
注意广度	注意容量任务
抑制控制	Flanker 任务
工作记忆	coris 模块任务
空间工作记忆	倒背数字任务
语言工作记忆	类别-颜色转换任务
认知灵活性	

3.2.3.4 测试方法

实验初期选择 JD 区某小学五名 7-9 岁儿童进行预实验, 共测量执行功能三个维度(抑制控制、工作记忆、认知灵活性)和注意力五个维度(注意选择、注意控制、注意广度、注意保持、注意分配), 由于测试时间过长, 实际测量过程中儿童注意控制、注意保持和注意分配三个维度的数据较不理想, 因而注意力仅选择两个维度进行实验, 分别是注意选择、注意广度能力, 参照前人对认知能力的研究也并非对所有子能力进行测试^[1]。

经前人研究论证本文所选用的几种测试方法均有较高的可信度, 能够较好地反应受试群体的认知能力, 且于正式测试前一周再次进行预实验, 同样选取五名 7-9 岁儿童进行认知能力测试, 经预测试即与该五名学生的沟通后得知 7-9 岁儿童能够理解上述认知能力的测试指令与方法, 所得预测试数据有效, 可进行正式测试。

(1) 注意选择

视觉搜索任务测量选择性注意能力, 要求受试者判断蓝色蝴蝶位于左侧或右侧。在干扰条件下, 一只红色蝴蝶会出现在图形中间, 干扰被试的视觉搜索进度。当出现颜色等额外干扰信息时, 视觉搜索任务将变得更困难, 反应时延长同时错误率相应递增。复杂场景对人的注意搜索能力要求极高, 人眼通常会不断跳动力图在最短的时间内提取更多的有效信息。

实验开始后电脑屏幕上首先呈现持续 2000 毫秒的+号预示实验即将开始, 随即出现持续时长为 800 毫秒的刺激图片, 要求受试者判断蓝色蝴蝶在左侧或右侧, 如位于左侧按 f 键, 右侧按 j 键, 做出反应后电脑屏幕出现短暂空白, 随即再开始判断下一刺激, 共包含 96 个试次。最终收集所有试次的正确率与反应时作为实验结果的呈现。

^[1] 房国梁, 张漓, 韩天雨, 等. 高强度间歇训练对老年人认知功能的影响[J]. 中国体育科技, 2020, 56(11):6.

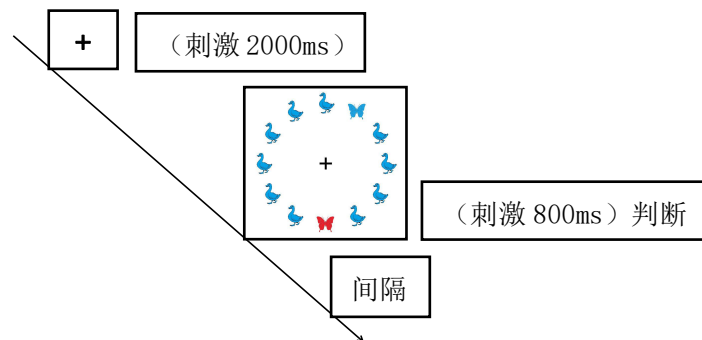


图3 视觉搜索任务测试流程

（2）注意广度

注意广度测试要求受试者报告瞬间呈现的物体数量，当目标物数量较少时受试者易识别，随着目标物数量增加，逼近或超过个体注意广度上限时识别变得越来越困难。

实验开始后，电脑屏幕上呈现持续 1000 毫秒的+号预示下一刺激即将出现，随后电脑屏幕上快速呈现如图 6 形式的刺激图片，要求被试判断刺激圆点的数量并作出相应反应，如：出现 4 个圆点按 F4 键，当受试作出反应后屏幕出现+号，意味着下一刺激即将开始，共完成 63 个试次。最终收集所有试次的正确率与反应时作为实验结果的呈现。

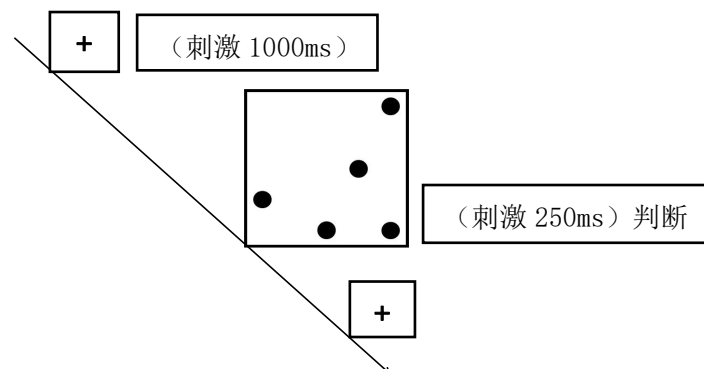


图4 注意容量任务测试流程

（3）抑制控制

Flanker 任务测量抑制控制，实验任务中电脑屏幕上会出现三条小鱼，包含两种情形：一致条件，如三个鱼头朝向一致；不一致条件，如中间鱼头的朝向与两侧相反，两种条件出现机会均等且随机呈现。要求受试者对中间鱼头做出反应，并尽量抑制双侧鱼头的干扰，如“鱼头朝左”按“f”键，“鱼头朝右”则按“j”键。每一组刺激在白色的电脑屏幕上以蓝色文本显示，持续刺激时长为 3000ms，间隔时长为 1000ms，共完成 100 个试次。最终收集所有试次的正确率与反应时作为实验结果的呈现。

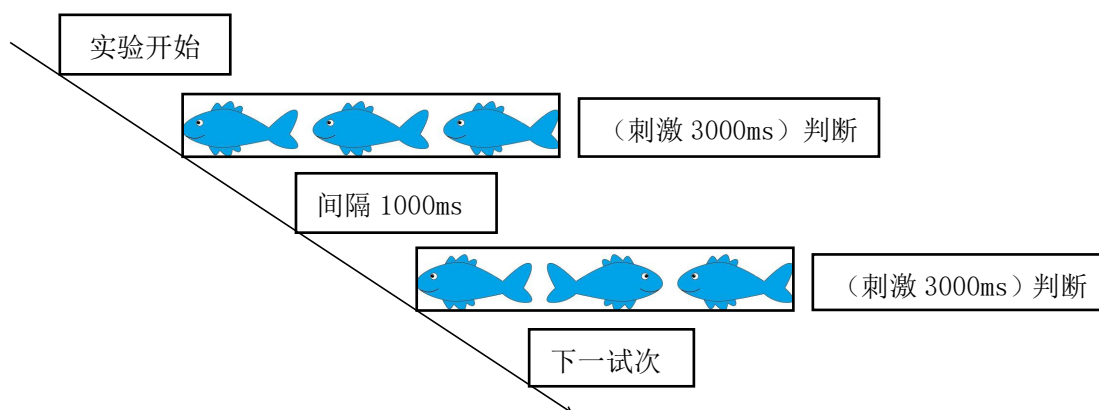


图 5 Flanker 任务测试流程

(4) 空间工作记忆

空间工作记忆测试中需受试者判断当前刺激与上一次刺激的物体位置是否一致。黑色的电脑屏幕上出现持续时长为 500 毫秒的白色+号预示刺激马上开始，随机刺激以图片的形式持续 1000 毫秒，要求受试者记住四个白色方格的位置，图片消失 2.5 秒后呈现另一图片，持续时长同为 1000 毫秒，要求受试者判断该图中的两个白格是否位于上一图片的四个白格位置中。如果白格包括按 f 键，不包括按 j 键，判断后继续进行下一刺激。另一种情况为前一张图片有两个白格，后一张需要做出判断的图片有 1 个白格，同理判断该白格是否位于上一张图片的两个白格中，刺激时时长和间隔时长均一致，两种情况出现机会均等，共 36 个试次。第一种判断形式称其为 4-2 任务，后者称为 1-1 任务。最终收集所有试次的正确率与反应时作为实验结果的呈现。

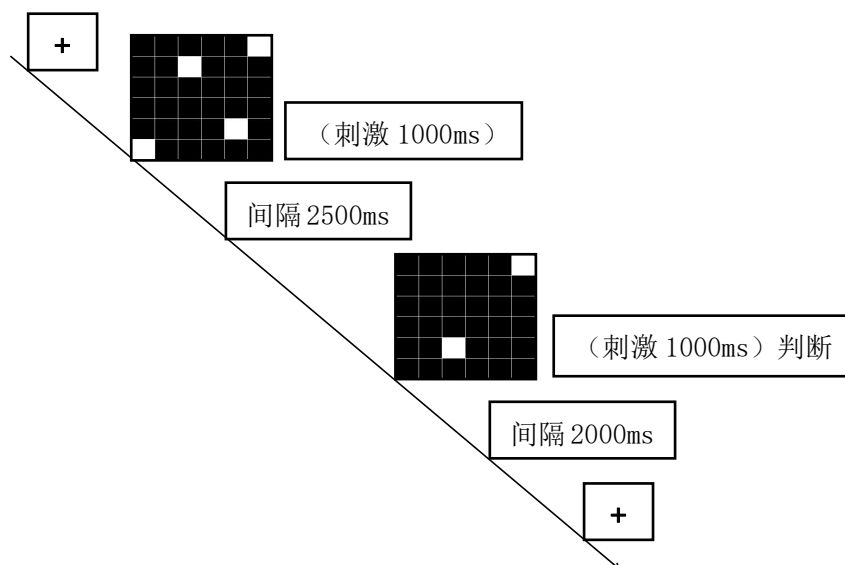


图 6 改编 coris 模块任务测试流程

(5) 语言工作记忆

语言工作记忆采用倒背数字任务问卷测量，实验开始后主试将数字串按逆序读出来，数与数间间隔 1 秒，读完数示意被试开始作答，随后需受试者将主试所读数字按倒序的方式复述出，同一系列中，完成 time1 再进行 time2,如果 time1

与 time2 均失败, 则终止本题, 倒背数字任务的数字串长度为 3-8。最终以字长为结果的呈现。

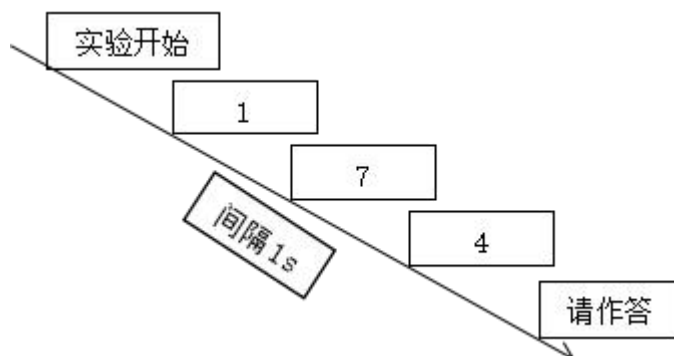


图 7 语言工作记忆任务测试流程

(6) 认知灵活性

类别-颜色转换任务中通过切换不同的任务来评估认知灵活性能力, 共包含三组测验, 其一为要求被试只做形状判断, 如两个图形形状相同, 按“左键”, 不同则按“右键”。其二为要求被试只做颜色判断任务, 如两个图形颜色相同, 按“左键”, 不同则按“右键”。其三为要求被试做颜色和形状判断混合任务, 两种任务不断切换。与前两组相比, 任务切换组的反应更困难, 表现为反应时变长和错误率增加。实验开始后, 电脑屏幕呈现图片刺激持续时长为 2000 毫秒, 当受试者做出反应后, 电脑屏幕出现短暂间歇, 预示下一刺激即将开始, 如此循环往复, 共完成 126 个试次。最终收集所有试次的正确率与反应时作为实验结果的呈现。

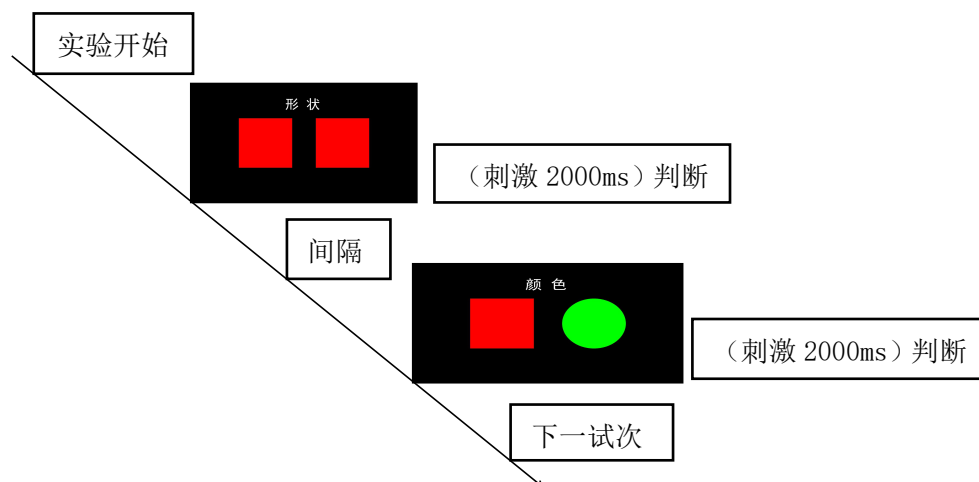


图 8 类别-颜色转换任务测试流程

3.2.4 数理统计法

将所有 PC 端程序测试数据运用 Emerge-3 汇总导入 Excel 工作表进行初步整理, 分别计算出各测试任务的正确率与反应时均值, 问卷测试仅通过 Excel 工作表进行字长数据的初步整理, 使用 SPSS26.0 对所有数据进行分析和处理。鉴于本研究中样本量较小, 运用 Shapiro-Wilk 正态分布检验检测数据的正态性, 同时进行方差齐性检验。参数检验中受试者前测数据采用独立样本 T 检验检测两组是否具有同质性, 使用配对样本 T 检验进行组内前、后测数据对比, 另, 运用一般线性模型中的重复测量方差分析其时间、组别、时间与组别的交互作用, 交互作用显著时进一步完成简单效应分析, 数据结果以平均值±标准差 (Mean±SD)

的形式呈现。如若数据不符合正态性或方差齐性要求,将使用非参数检验的统计学方法,前测采用曼惠特尼(Mann-Whitney)U 检验,组内前后对比采用威尔科克森(Wilcoxon)符号秩检验,数据结果以中位数和四分位距(Median, IQR)的形式呈现。显著性差异设定为 $P<0.05$,非常显著性差异设定为 $P<0.01$ 。

4 研究结果

4.1 干预组运动负荷监控结果

干预组受试者完成了为期 4 周共 16 次的中高等强度运动干预课程,20 名受试者均佩戴心率表监测单次约 60 分钟的心率负荷,16 次干预训练中实际监测平均时长为 59.40 ± 3.00 分钟,以平均心率、最大心率、各强度区间累计时间值为数据呈现结果解读运动干预负荷监测情况,如下表 4、表 5、图 9 和图 10 所示。

表 4 干预组负荷心率指标监测结果 ($M\pm SD$)

课次	平均心率(次/min)	最大心率(次/min)
1	138.88 \pm 10.34	175.47 \pm 9.13
2	143.87 \pm 8.67	182.16 \pm 8.74
3	141.73 \pm 9.01	178.35 \pm 10.45
4	141.20 \pm 12.85	183.80 \pm 11.64
5	142.80 \pm 19.11	175.85 \pm 21.65
6	140.55 \pm 11.40	179.45 \pm 13.81
7	148.35 \pm 13.77	184.70 \pm 11.06
8	151.65 \pm 5.55	189.70 \pm 6.98
9	141.58 \pm 10.99	178.16 \pm 13.39
10	152.28 \pm 14.00	185.72 \pm 10.87
11	141.00 \pm 17.65	177.12 \pm 12.77
12	150.47 \pm 12.19	184.65 \pm 12.75
13	150.65 \pm 5.68	185.18 \pm 5.14
14	151.82 \pm 11.53	185.41 \pm 11.74
15	144.44 \pm 8.95	183.25 \pm 13.08
16	146.47 \pm 10.35	183.35 \pm 11.42
平均值	145.48 \pm 4.70	182.02 \pm 4.12

如上表 4 和下图 9 可发现单次干预训练的心率数据中第 10 次课的平均心率达最高值,为 152.28 ± 14.00 次/min,第 8 次课的最大心率达最高值,为 189.70 ± 6.98 次/min。从总干预次数的集中趋势看,16 次课的平均心率为 145.48 ± 4.70 次/min,最大心率为 182.02 ± 4.12 次/min。本研究中 7-9 岁儿童的实际最大心率应是 202-203 次/min,而平均心率均值约达 72%HRmax,最大心率均值约达到 90%HRmax,本研究对中高等强度的界定为大于等于 60%HRmax,从平均心率监测值可看出已达到本研究所设定的中高等强度负荷,同时达到了 ACSM 运动处方指南中规定 64%-76%HRmax 的中等强度值,显然,运动干预满足中高等强度运动干预的条件。

表 5 干预组单元运动负荷心率区间监测结果 ($M \pm SD$)

课次	各心率区间累计时长值				
	区间一 (50%-59%)	区间二 (60%-69%)	区间三 (70%-79%)	区间四 (80%-89%)	区间五 (≥90%)
	时长 (min)	时长 (min)	时长 (min)	时长 (min)	时长 (min)
1	16.54±5.82	15.42±6.44	17.25±3.85	8.90±4.87	0.22±0.56
2	9.12±2.81	14.03±4.28	19.87±3.53	12.94±3.39	2.34±3.35
3	12.11±4.37	15.59±4.15	16.45±4.07	13.73±4.65	1.15±2.72
4	12.93±3.22	17.45±6.48	11.75±5.79	15.35±4.28	1.76±2.70
5	19.08±12.24	17.40±11.45	11.79±9.17	9.29±8.75	2.79±5.12
6	14.13±12.29	20.22±6.16	15.85±7.65	7.34±8.33	0.97±2.04
7	10.42±6.95	16.44±10.60	16.13±6.63	13.02±9.50	3.09±4.52
8	14.92±4.45	13.35±3.00	15.54±3.61	13.94±3.90	2.63±3.27
9	8.22±5.15	23.88±12.83	10.01±4.77	5.30±5.98	0.82±1.55
10	16.87±11.10	14.21±12.05	14.41±6.26	11.18±6.15	2.15±3.17
11	18.84±11.33	22.23±10.29	12.66±8.18	6.06±7.26	1.63±3.96
12	13.02±1.16	11.89±7.41	19.47±4.78	10.69±7.79	2.60±5.54
13	11.57±4.53	20.48±4.39	14.87±3.27	11.79±4.48	1.05±1.57
14	8.92±7.38	13.83±6.69	21.15±7.43	14.83±6.10	3.08±5.34
15	12.56±6.23	17.19±8.20	17.27±6.01	9.38±5.88	1.60±2.60
16	6.01±5.02	17.16±9.30	17.59±5.76	9.73±7.36	2.55±3.88
平均占 比 (%)	21.97/12.83±3.	28.96/16.92±3.	27.15/15.75±3.	19.80/10.84±3.0	6.94/1.90±0.8
/时长 (min)	80	35	11	5	8

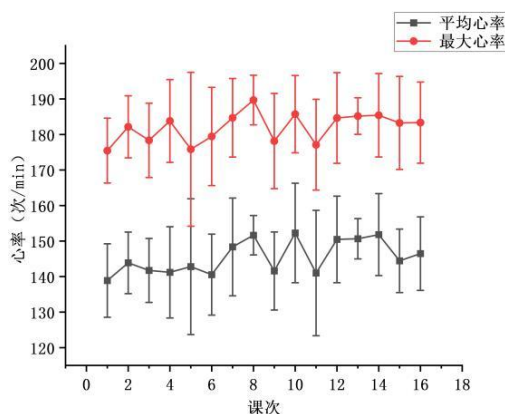


图 9 干预组心率负荷监测结果

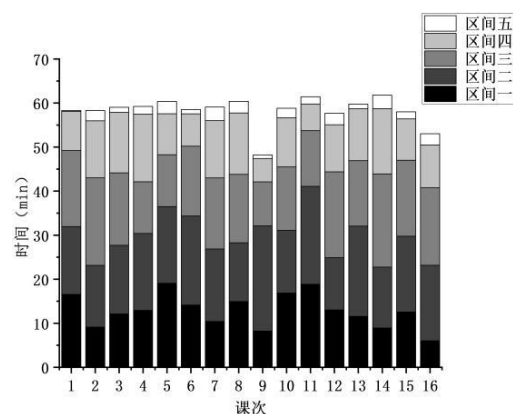


图 10 干预组单元心率负荷监测结果

运动负荷监控结果还以强度区间累计时间法的形式表示, 如上表 5 和上图 10 呈现了单次干预训练中各运动区间的时长, 从总干预负荷的集中趋势反映出: 处于心率区间一 (50%-59%HRmax) 的时长为 $12.83 \pm 3.80 \text{ min}$; 处于心率区间二 (60%-69%HRmax)、区间三 (70%-79%HRmax)、区间四 (80%-89%HRmax)、区间五 ($\geq 90\% \text{ HRmax}$) 的时长分别为 $16.92 \pm 3.35 \text{ min}$ 、 $15.75 \pm 3.11 \text{ min}$ 、 $10.84 \pm 3.05 \text{ min}$ 、 $1.90 \pm 0.88 \text{ min}$ 。经计算可发现中高等强度负荷 ($\geq 60\% \text{ HRmax}$) 占比约为 78.03%, 时长约为 45.41min。因本研究是对全课次进行心率监测, 从

整节课看,符合中高等强度运动的时长约占总时长的四分之三,即全课次的时长占比(100%)-休息时长占比-拉伸时长占比(13%) \approx 所剩时长占比(中高等强度占比 78.03%),故各强度区间累计时长值、中高等强度运动时长与本研究中高、中高等强度运动设计方案相符,达到了中高等强度运动干预的负荷要求。

4.2 两组儿童认知能力的基线数据结果对比

表 6 两组儿童认知能力的基线数据正态性与方差齐性检验结果

测试内容	组别	Shapiro-Wilk 检验	莱文方差等同性检验	
			F	P
抑制控制	一致任务 ACC	IG CG	0.001* 0.001*	0.444 0.509
	一致任务 RT	IG CG	0.032* 0.045*	1.960 0.170
	不一致任务 ACC	IG CG	0.025* 0.040*	3.275 0.078
	不一致任务 RT	IG CG	0.007* 0.037*	4.229 0.047*
	总任务 ACC	IG CG	0.007* 0.001*	1.386 0.246
	总任务 RT	IG CG	0.040* 0.038*	2.415 0.128
	ACC	IG CG	0.870 0.072	0.920 0.344
	RT	IG CG	0.645 0.258	0.183 0.671
	语言工作记忆 倒背任务	IG CG	0.002* 0.003*	0.008 0.928
	4-2 任务 ACC	IG CG	0.154 0.071	1.224 0.276
	4-2 任务 RT	IG CG	0.427 0.658	1.113 0.298
	1-1 任务 ACC	IG CG	0.139 0.178	3.444 0.071
空间工作记忆	1-1 任务 RT	IG CG	0.330 0.770	1.207 0.279
	ACC	IG CG	0.064 0.214	1.231 0.274
	RT	IG CG	0.569 0.419	0.224 0.639
	注意选择	IG CG	0.050 0.116	0.019 0.891
	注意广度	IG CG	0.050 0.116	0.019 0.891
		IG CG	0.050 0.116	0.019 0.891

注: IG: 干预组; CG: 对照组; ACC: 正确率; RT: 反应时; Shapiro-Wilk 检验 $P>0.05$ 为符合正态分布, *表示 $P<0.05$; 莱文方差等同性检验 $P>0.05$ 为方差齐性, *表示 $P<0.05$; 表述为 0.001 的值实际小于 0.001。

两组受试儿童各项认知能力的方差齐性检验与正态分布检验结果如上表 6 所示,在正态分布检验中可发现两组受试儿童的抑制控制(一致任务、不一致任务、总任务)、语言工作记忆能力检验结果均小于 0.05,不符合正态分布。莱文方差等同性检验中受试儿童抑制控制不一致任务反应时检验结果小于 0.05,不符合方差齐性要求。显然,受试儿童的抑制控制、语言工作记忆能力不满足参数检验条件,故两项指标在后续的统计分析中均采用非参数检验方法。认知灵活性、空间工作记忆(4-2 任务、1-1 任务)、注意选择、注意广度能力的正态检验与方差齐性检验结果均大于 0.05,符合正态分布与方差齐性要求,采用前文所述的统计分析方法。

表 7 受试者各项认知能力的基线测试结果 ($M \pm SD$ /中位数, IQR)

测试内容	IG 前测 (n=20)	CG 前测 (n=20)	P
一致任务 ACC (%)	97.00 (92.00-100.00)	98.00 (90.50-99.50)	0.862
一致任务 RT (ms)	780.67 (681.49-877.99)	681.97 (623.55-813.46)	0.063
抑制控制 [#] 不一致任务 ACC (%)	91.00 (85.00-96.00)	94.00 (90.50-98.00)	0.114
不一致任务 RT (ms)	795.64 (691.90-963.74)	706.25 (628.45-832.83)	0.059
总任务 ACC (%)	93.00 (89.25-98.00)	97.00 (91.25-98.00)	0.289
总任务 RT (ms)	782.92 (674.41-909.79)	695.19 (612.37-820.06)	0.052
认知灵活性* ACC (%)	71.72 \pm 12.89	78.80 \pm 10.83	0.068
RT (ms)	1531.51 \pm 324.37	1528.39 \pm 298.14	0.975
语言工作记忆 [#] 倒背任务 (字长)	4.00 (3.00-5.00)	4.00 (3.00-4.00)	0.314
空间工作记忆* 4-2 任务 ACC (%)	48.50 \pm 12.68	47.50 \pm 9.10	0.776
4-2 任务 RT (ms)	1424.52 \pm 457.21	1240.23 \pm 374.74	0.171
1-1 任务 ACC (%)	64.69 \pm 22.05	76.25 \pm 16.92	0.071
1-1 任务 RT (ms)	1206.92 \pm 374.36	1117.16 \pm 253.84	0.380
注意选择* ACC (%)	76.31 \pm 17.98	78.90 \pm 12.93	0.605
RT (ms)	936.65 \pm 214.51	895.65 \pm 195.12	0.531
注意广度*	5.95 \pm 1.45	5.67 \pm 1.29	0.516

注: IG: 干预组; CG: 对照组; ACC: 正确率; RT: 反应时, [#]: 该指标统计方法为曼惠特尼 U 检验; *: 该指标统计方法为独立样本 T 检验; $P > 0.05$ 无显著差异。

上文所述受试儿童的抑制控制与语言工作记忆能力采用非参数检验的方法,由表 7 数据显示经曼惠特尼 U 检验后得知抑制控制、语言工作记忆指标显著性水平均大于 0.05,故在前测时两组儿童的抑制控制、语言工作记忆能力数据结果无显著差异,进行下一步分析的结果有效。

两组受试儿童基线数据中的空间工作记忆、认知灵活性、注意选择、注意广度能力数据结果经独立样本 T 检验后得出显著性水平均大于 0.05,说明干预组与对照组儿童在空间工作记忆、认知灵活性、注意选择、注意广度能力上的数据结果无显著差异,可进行下一步具体分析。

4.3 两组儿童前后认知能力的变化结果

干预组与对照组儿童在实验前、后所进行的认知能力相关测试数据经整理与

统计分析后所得结果如下表 8、表 9 所示。

表 8 两组儿童执行功能测试的数据结果 (M±SD/中位数, IQR)

测试内容		IG (n=20)			CG (n=20)			时 间	组 别	时间* 组别
		前测	后测	P	前测	后测	P			
抑制控制 #	一致任务 ACC (%)	97.00 (92.00-100.00)	96.00 (90.00-98.00)	0.856	98.00 (90.50-99.50)	98.00 (91.00-100.00)	0.775	-	-	-
	一致任务 RT (ms)	780.67 (681.49-877.99)	578.85 (518.77-681.00)	0.001 **	681.97 (623.55-813.46)	629.81 (524.06-718.91)	0.073	-	-	-
	不一致任 务 ACC (%)	91.00 (85.00-96.00)	92.00 (83.00-96.00)	0.965	94.00 (90.50-98.00)	96.00 (92.50-98.00)	0.225	-	-	-
	不一致任 务 RT (ms)	795.64 (691.90-963.74)	589.95 (517.40-702.57)	0.001 **	706.25 (628.45-832.83)	622.56 (569.54-724.78)	0.025 *	-	-	-
	总任务 ACC (%)	93.00 (89.25-98.00)	95.00 (88.50-97.75)	0.924	97.00 (91.25-98.00)	96.00 (95.00-98.75)	0.513	-	-	-
	总任务 RT (ms)	782.92 (674.41-909.79)	624.54 (520.51-664.05)	0.001 **	695.19 (612.37-820.06)	616.66 (549.88-706.52)	0.040 *	-	-	-
	语言工作记忆- 倒背任务 (字 长) #	4.00 (3.00-5.00)	5.00 (4.00-5.75)	0.220	4.00 (3.00-4.00)	4.00 (3.00-4.00)	0.266	-	-	-
	4-2 任务 ACC (%)	48.50±12.68	51.25±14.32	0.403	47.50±9.10	45.00±15.47	0.468	0.960	0.283	0.248
	4-2 任务 RT (ms)	1424.52±457.21	1254.98±396.36	0.058	1240.23±374.74	1248.30±520.08	0.921	0.131	0.521	0.184
	1-1 任务 ACC (%)	64.69±22.05	70.71±17.59	0.070	76.25±16.92	73.75±16.67	0.597	0.571	0.195	0.108
空间工作 记忆 *	1-1 任务 RT (ms)	1206.92±374.36	1050.92±227.95	0.045 *	1117.16±253.84	1092.46±342.77	0.656	0.117	0.831	0.062
	ACC (%)	71.72±12.89	74.44±14.67	0.308	78.80±10.83	75.71±13.32	0.152	0.903	0.261	0.122
	RT (ms)	1531.51±324.37	1348.69±254.14	0.023 *	1528.39±298.14	1451.80±222.44	0.090	0.008 **	0.522	0.216

注: IG: 干预组, CG: 对照组; ACC: 正确率; RT: 反应时; [#]: 威尔科克森符号秩检验;
*: 配对样本 T 检验; * 为 P<0.05 有显著差异, ** 为 P<0.01 有非常显著差异; 表述为 0.001 的值实际小于 0.001。

4.3.1 两组儿童抑制控制能力的变化结果

使用 Flanker 任务对两组儿童抑制控制能力进行前后测试, 经威尔科克森符号秩检验对受试者抑制控制能力的前后数据对比, 由上表 8 和下图 11 的结果显示, 干预组在一致任务反应时、不一致任务反应时、总任务反应时上存在非常显著差异 ($P<0.01$), 均值分别缩短了 $217.94\pm 210.28\text{ms}$ 、 $255.74\pm 260.35\text{ms}$ 、 $229.60\pm 213.30\text{ms}$, 中位数值 (四分位距) 分别缩短了 177.15ms ($150.88\text{-}309.78\text{ms}$)、 189.62ms ($90.24\text{-}339.49\text{ms}$)、 177.47ms ($134.53\text{-}325.59\text{ms}$), 而在一致任务正确率、不一致任务正确率、总任务正确率上无显著差异 ($P>0.05$), 但不一致任务正确率与总任务正确率有了小幅提升, 增长均值幅分别为 $0.60\pm 11.09\%$ 、 $0.10\pm 7.88\%$, 中位数值 (四分位距) 分别为 1.00% ($-6.00\text{-}5.00\%$)、 0.00% ($-3.25\text{-}5.25\%$)。表明经 4 周中高等强度运动后 7-9 岁儿童在抑制控制任务反应时有非常显著的降低, 明显改善了儿童的抑制控制反应时能力, 而正确率的提升无统计学意义。

对照组在不一致任务反应时、总任务反应时上存在显著差异 ($P<0.05$), 均值分别缩短了 $76.26\pm 140.45\text{ms}$ 、 $68.65\pm 140.25\text{ms}$, 中位数值 (四分位距) 分别缩短了 92.80ms ($-1.32\text{-}158.50\text{ms}$)、 82.86ms ($-36.83\text{-}158.54\text{ms}$), 在一致任务正确率、一致任务反应时、不一致任务正确率、总任务正确率上无显著差异 ($P>0.05$), 但一致任务正确率、不一致任务正确率、总任务正确率和一致任务反应时能力同样有小幅改善, 均值分别改善了 $0.50\pm 6.65\%$ 、 $1.50\pm 6.77\%$ 、 $1.00\pm 5.37\%$ 、 $61.41\pm 146.49\text{ms}$, 中位数值 (四分位距) 分别改善了 0.00% ($-4.00\text{-}3.00\%$)、 2.00% ($-2.00\text{-}6.50\%$)、 0.50% ($-2.25\text{-}4.50\%$)、 50.86ms ($-24.96\text{-}172.02\text{ms}$)。表明不进行规律运动干预仅维持 4 周日常身体活动的 7-9 岁儿童在抑制控制不一致任务反应时、总任务反应时上有明显降低, 而正确率 (一致任务、不一致任务、总任务) 和一致任务反应时的变化无统计学意义。

从两组儿童抑制控制能力的前后测幅值对比上发现: 干预组一致任务反应时、不一致任务反应时、总任务反应时能力的增长幅值比对照组高 (幅值均值, 干预组 vs 对照组, 217.94ms vs 61.41ms 、 255.74ms vs 76.26ms 、 229.60ms vs 68.65ms) (幅值中位数值, 干预组 vs 对照组, 177.15ms vs 50.86ms 、 189.62ms vs 92.80ms 、 177.47ms vs 82.86ms), 显然, 中高等强度运动对儿童抑制控制反应时能力的改善优于对照组, 正确率上两组数据的改善幅值基本相似。

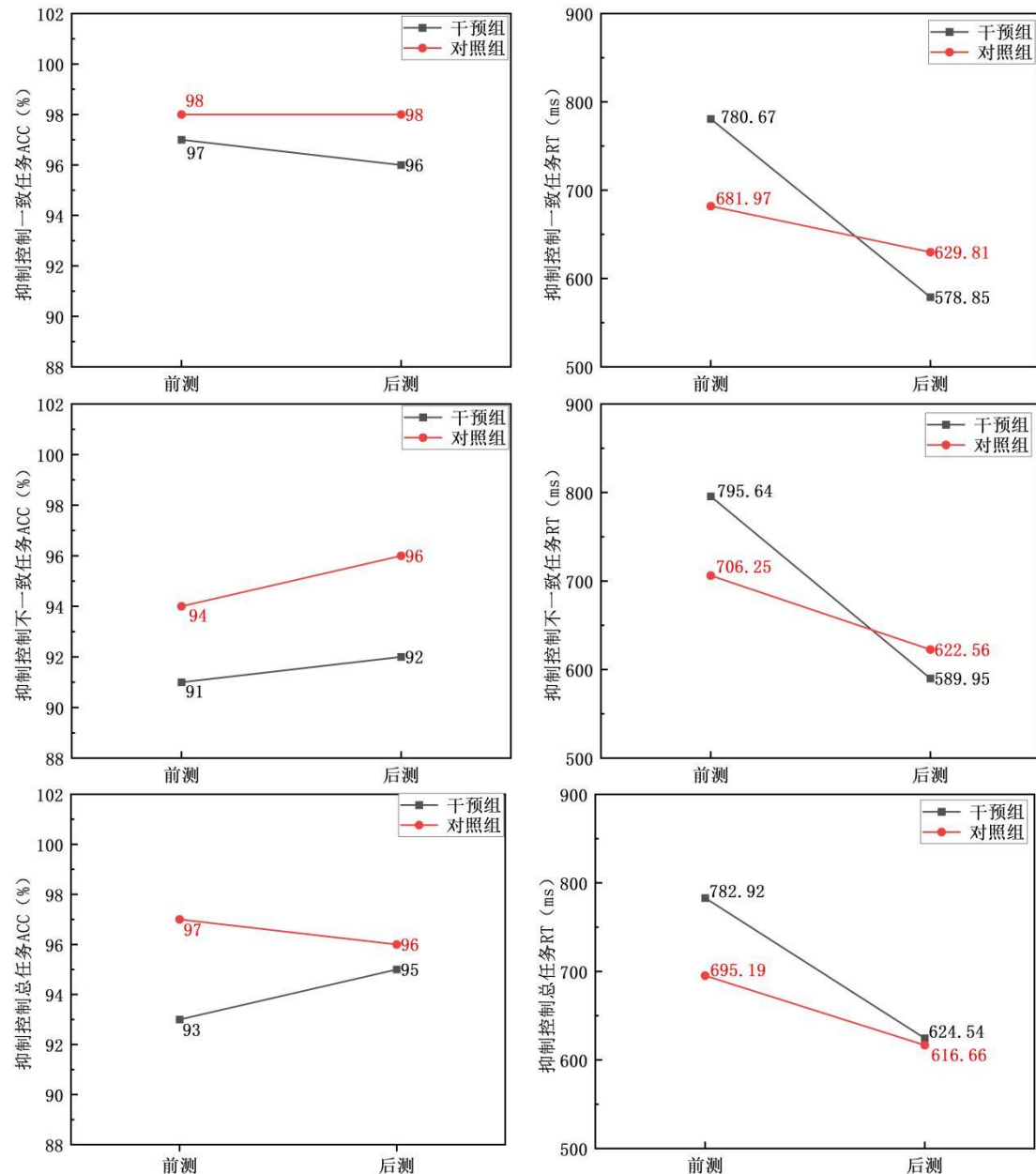


图 11 两组儿童抑制控制前后测试数据结果

4.3.2 两组儿童工作记忆能力的变化结果

4.3.2.1 空间工作记忆

(1) 组内变化

空间工作记忆采用改编后的 coris 任务进行测量，经配对样本 T 检验方法对两组受试儿童空间工作记忆能力的前后数据对比，由上表 8 和下图 12 的结果显示，干预组在 1-1 任务反应时上存在显著差异 ($P < 0.05$)，其均值缩短了 $156.00 \pm 324.85\text{ms}$ ，在 4-2 任务正确率、4-2 任务反应时和 1-1 任务正确率上均无显著差异 ($P > 0.05$)，但其后测数据结果对比前测有小幅改善，分别为 $2.75 \pm 14.37\%$ 、 $169.54 \pm 375.21\text{ms}$ 、 $6.06 \pm 14.01\%$ 。表明经 4 周中高等强度运动后 7-9 岁儿童空间工作记忆 1-1 任务反应时有显著下降，而 4-2 任务正确率、4-2 任务反应时和 1-1 任务正确率的提升无统计学意义。

对照组在 4-2 任务正确率、4-2 任务反应时、1-1 任务正确率和 1-1 任务反应

时上均无显著差异 ($P>0.05$)，具体发现 1-1 任务反应时有小幅改善，其为反应时缩短了 $24.70\pm 244.17\text{ms}$ ，表明不进行规律运动干预仅维持 4 周日常身体活动对 7-9 岁儿童空间工作记忆能力的改变无统计学意义。

(2) 组间变化

经两因素重复测量方差分析方法对两组受试者空间工作记忆能力数据的时间因素和组别因素对比分析后得知，在 4-2 任务正确率上，两组受试儿童随 4 周时间变化该能力无显著差异， $F(1, 19)=0.003$ ， $P=0.960$ ， $\eta^2=0.000$ 。干预组与对照组无显著差异， $F(1, 19)=1.220$ ， $P=0.283$ ， $\eta^2=0.060$ 。时间与组别因素间无交互作用， $F(1, 19)=1.420$ ， $P=0.248$ ， $\eta^2=0.070$ 。

在 4-2 任务反应时上，两组受试儿童随时间的变化无显著差异， $F(1, 19)=2.496$ ， $P=0.131$ ， $\eta^2=0.116$ 。干预组与对照组无显著差异， $F(1, 19)=0.428$ ， $P=0.521$ ， $\eta^2=0.022$ 。时间与组别因素间无交互作用， $F(1, 19)=1.901$ ， $P=0.184$ ， $\eta^2=0.091$ 。

在 1-1 任务正确率上，两组受试儿童随时间变化无显著差异， $F(1, 19)=0.332$ ， $P=0.571$ ， $\eta^2=0.017$ 。干预组与对照组无显著差异， $F(1, 19)=1.801$ ， $P=0.195$ ， $\eta^2=0.087$ 。时间与组别因素间无交互作用， $F(1, 19)=2.844$ ， $P=0.108$ ， $\eta^2=0.130$ 。

在 1-1 任务反应时，两组受试儿童随时间变化无显著差异， $F(1, 19)=2.690$ ， $P=0.117$ ， $\eta^2=0.124$ 。干预组与对照组无显著差异， $F(1, 19)=0.047$ ， $P=0.831$ ， $\eta^2=0.002$ 。时间与组别因素间无交互作用， $F(1, 19)=3.940$ ， $P=0.062$ ， $\eta^2=0.172$ 。

从两组儿童空间工作记忆能力的前后测幅值对比上发现：干预组 4-2 任务正确率、4-2 任务反应时、1-1 任务正确率、1-1 任务反应时能力的提升幅值比对照组高（幅值均值，干预组 vs 对照组， 2.75% vs -2.50% 、 169.54ms vs -8.07ms 、 6.03% vs -2.50% 、 156.00ms vs 24.70ms ），说明中高等强度运动对儿童空间工作记忆能力的改善优于对照组。

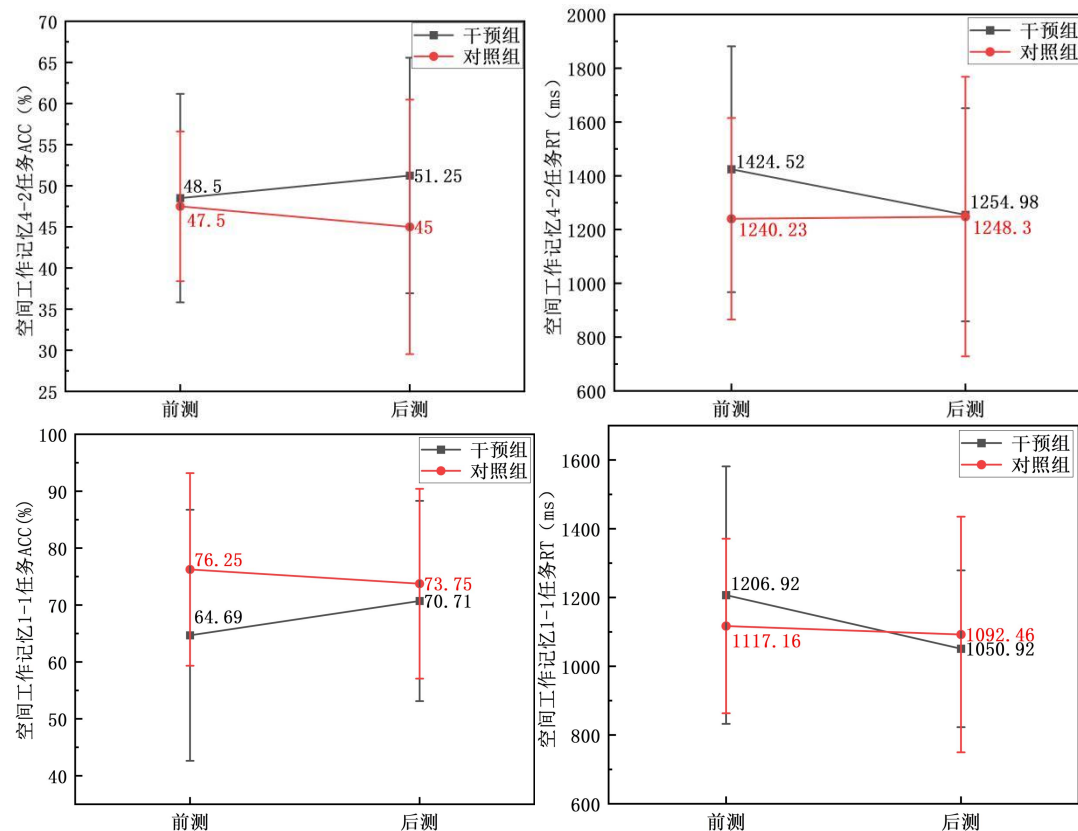


图 12 两组儿童空间工作记忆前后测试数据结果

4.3.2.2 语言工作记忆

两组儿童的语言工作记忆能力采用倒背数字任务测量,经威尔科克森符号秩检验对受试者语言工作记忆能力的前后数据对比可知,干预组在语言工作记忆能力上的数据结果无显著差异 ($P>0.05$),但后测数据与前测数据对比有小幅提升,增长均值幅为 0.50 ± 1.76 字长,中位数值幅(四分位距)为 1.00 字长 (-0.25-2.00 字长)。表明经 4 周中高等强度运动后 7-9 岁儿童在语言工作记忆能力上有小幅提升但无统计学意义。

对照组在语言工作记忆能力上同为无显著差异 ($P>0.05$),增长均值幅为 0.30 ± 1.13 字长,中位数值幅(四分位距)为 0.00 字长 (0.00-1.00 字长)。表明不进行规律运动干预仅维持 4 周日常身体活动对 7-9 岁儿童语言工作记忆能力的改变无统计学意义。

从两组儿童语言工作记忆能力的前后测幅值对比上发现:干预组的提升幅值略比对照组高(均值幅,干预组 vs 对照组, 0.50 字长 vs 0.30 字长)(中位数值幅,干预组 vs 对照组, 1.00 字长 vs 0.00 字长),说明中高等强度运动对儿童语言工作记忆能力的改善略优于对照组。

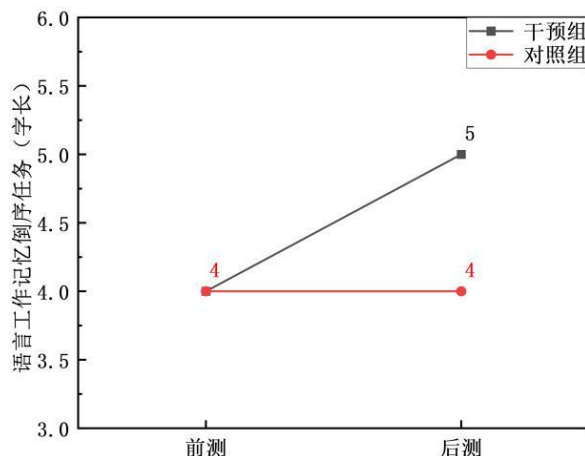


图 13 两组儿童语言工作记忆前后测试数据结果

4.3.3 两组儿童认知灵活性能力的变化结果

4.3.3.1 组内变化

运用类别-颜色转换任务对两组儿童的认知灵活性能力进行测试, 经配对样本 T 检验方法对受试儿童认知灵活性能力的前后数据对比, 由上表 8 和下图 14 的结果显示, 干预组在反应时上具有显著差异 ($P < 0.05$), 其均值缩短了 $182.81 \pm 329.95 \text{ms}$, 正确率结果无显著差异 ($P > 0.05$), 仅提升了 $2.71 \pm 11.59\%$, 表明经 4 周中高等强度运动后 7-9 岁儿童认知灵活性反应时显著下降, 而正确率的提升无统计学意义。

对照组在认知灵活性正确率、反应时上均无显著差异 ($P > 0.05$), 仅有反应时能力有小幅改善, 均值缩短了 $76.59 \pm 191.68 \text{ms}$, 表明不进行规律运动干预仅维持 4 周日常身体活动的 7-9 岁儿童在认知灵活性能力上的提升无统计学意义。

4.3.3.2 组间变化

经两因素重复测量方差分析方法对两组受试儿童认知灵活性数据的时间因素和组别因素对比分析后可知, 在正确率上, 两组受试儿童随时间变化无显著差异, $F(1, 19) = 0.015$, $P = 0.903$, 偏 $\eta^2 = 0.001$ 。干预组与对照组无显著差异, $F(1, 19) = 1.341$, $P = 0.261$, 偏 $\eta^2 = 0.066$ 。时间与组别因素间无交互作用, $F(1, 19) = 2.617$, $P = 0.122$, 偏 $\eta^2 = 0.121$ 。

在反应时上, 两组受试儿童随 4 周干预时间的变化具有非常显著差异, $F(1, 19) = 8.771$, $P = 0.008$, 偏 $\eta^2 = 0.316$ 。干预组与对照组无显著差异, $F(1, 19) = 0.426$, $P = 0.522$, 偏 $\eta^2 = 0.022$ 。时间与组别因素无交互作用, $F(1, 19) = 1.638$, $P = 0.216$, 偏 $\eta^2 = 0.079$ 。

从两组儿童认知灵活性能力的前后测幅值对比上发现: 干预组正确率、反应时能力的提升幅值比对照组高 (均值幅, 干预组 vs 对照组, $2.71\% \text{ vs } -3.08\%$ 、 $182.81 \text{ms vs } 76.59 \text{ms}$), 进一步说明中高等强度运动对儿童认知灵活性能力的改善优于对照组。

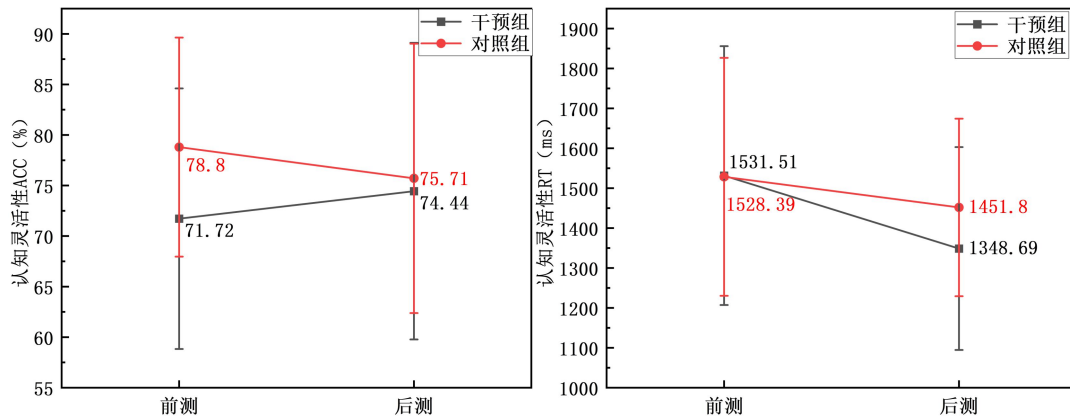


图 14 两组儿童认知灵活性前后测试数据结果

表 9 两组儿童注意力的测试数据结果 (M±SD)

测试内容	IG (n=20)			CG (n=20)			时间	组别	时间*
	前测	后测	P	前测	后测	P			
注 意 选 择									
ACC (%)	76.31±17.98	87.41±9.35	0.00	78.90±12.93	85.56±11.60	0.01	0.00	0.93	0.362
RT (ms)	936.65±214.51	788.67±171.03	0.00	895.65±195.12	896.37±180.50	0.99	0.02	0.56	0.033
注意广度	5.95±1.45	6.85±1.84	0.07	5.67±1.29	6.00±1.60	0.31	0.03	0.22	0.368
	5	84	2	9	0	2	1*	7	

注: IG: 干预组, CG: 对照组; ACC: 正确率; RT: 反应时; *为 $P<0.05$ 有显著差异, **为 $P<0.01$ 有非常显著差异; 表述为 0.001 的值实际小于 0.001。

4.3.4 两组儿童注意选择能力的变化结果

4.3.4.1 组内差异

采用视觉搜索任务对两组受试儿童的注意选择能力进行测试, 经配对样本 T 检验方法对受试儿童注意选择能力的前后测数据对比, 由上表 9 和下图 15 的结果显示, 干预组在正确率、反应时上具有非常显著差异 ($P<0.01$), 其正确率均值提升了 $11.10\pm15.59\%$, 反应时均值缩短了 $147.98\pm124.04\text{ms}$, 表明经 4 周中高等强度运动后 7-9 岁儿童注意选择正确率非常明显的提升, 反应时有非常明显的下降。

对照组在正确率上存在显著差异 ($P<0.05$), 其正确率均值提升了 $6.66\pm11.43\%$, 在反应时上不具有显著差异 ($P>0.05$), 表明不进行规律运动干预而仅维持 4 周日常身体活动的 7-9 岁儿童在注意选择能力正确率上有显著的提升, 而反应时上的变化无统计学意义。

4.3.4.2 组间差异

经两因素重复测量方差方法对两组受试者注意选择数据的时间因素和组别因素对比分析, 在正确率上, 两组受试儿童随时间变化具有非常显著差异, $F(1, 19)=21.312$, $P<0.001$, 偏 $\eta^2=0.529$, 干预组与对照组无显著差异, $F(1, 19)=0.007$, $P=0.933$, 偏 $\eta^2=0.000$ 。时间与组别因素间无交互作用, $F(1, 19)=0.872$, $P=0.362$, 偏 $\eta^2=0.044$ 。

在反应时上, 两组受试儿童随时间变化具有显著差异, $F(1, 19)=6.477$,

$P=0.020$, 偏 $\eta^2=0.254$ 。干预组与对照组无显著差异, $F(1, 19)=0.335$, $P=0.569$, 偏 $\eta^2=0.017$ 。时间与组别因素存在交互作用, $F(1, 19)=5.275$, $P=0.033$, 偏 $\eta^2=0.217$ 。表明随 4 周干预时间的变化干预组与对照组在注意选择反应时上的变化存在明显差异, 经进一步简单效应分析, 后测时干预组的注意选择反应时优于对照组, 但不具有显著差异, $P=0.130$ 。

尽管两组儿童注意选择能力均有不同程度的改善, 但从前后测试提升幅值对比上可发现, 干预组在正确率、反应时能力上的提升均明显高于对照组(均值幅, 干预组 vs 对照组, 11.10% vs 6.66%、147.98ms vs -0.72ms), 同样地, 中高等强度运动对于注意选择能力的改善效果更好。

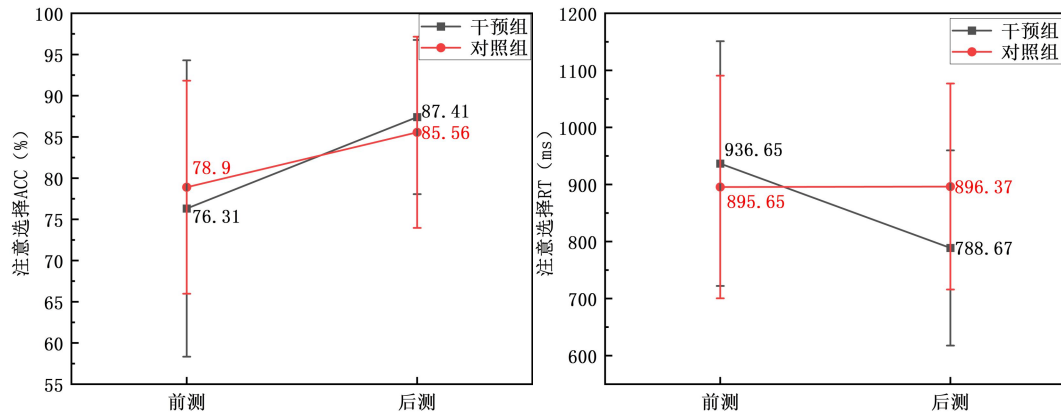


图 15 两组儿童注意选择前后测试数据结果

4.3.5 两组儿童注意广度能力的变化结果

4.3.5.1 组内差异

采用注意容量任务对两组儿童的注意广度能力进行测试, 经配对样本 T 检验方法对受试儿童注意广度的前后测数据对比, 由上表 9 和下图 16 的结果显示, 干预组的注意广度能力无显著差异 ($P>0.05$), 其均值幅改善了 0.90 ± 2.10 点, 对照组注意广度同样无显著差异 ($P>0.05$), 均值幅仅改善 0.34 ± 1.44 点, 表明 4 周的中高等强度运动与日常身体活动均不能显著改善儿童的注意广度能力。

4.3.5.2 组间差异

经两因素重复测量方差方法对两组受试者注意广度数据的时间因素和组别因素对比分析, 两组受试儿童随时间变化具有显著差异, $F(1, 19)=5.458$, $P=0.031$, 偏 $\eta^2=0.223$, 干预组与对照组无显著差异, $F(1, 19)=1.561$, $P=0.227$, 偏 $\eta^2=0.076$ 。时间与组别因素间无交互作用, $F(1, 19)=0.851$, $P=0.368$, 偏 $\eta^2=0.043$ 。

虽两组儿童在注意广度能力上并无交互作用, 但从前后测试提升幅值对比上可发现, 干预组注意广度能力的提升略高于对照组(均值幅, 干预组 vs 对照组, 0.90 点 vs 0.34 点), 中高等强度运动对于注意广度能力的改善效果较好。

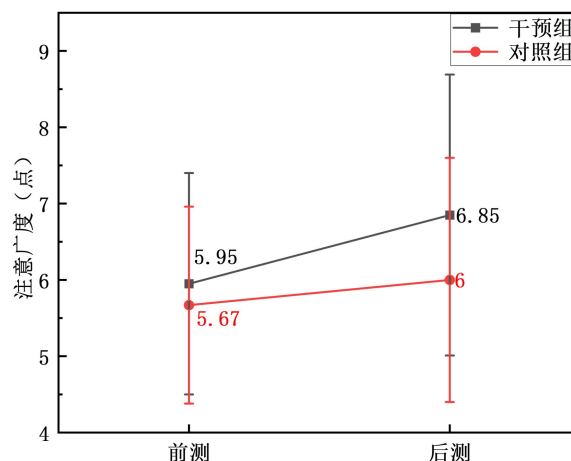


图 16 两组儿童注意广度前后测试数据结果

5 分析与讨论

本研究旨在对比 7-9 岁儿童进行两种方案（其一：4 周中高等强度运动；其二：仅维持日常身体活动且不进行规律运动）后的认知能力变化结果，经 4 周干预后发现所得结果与预期假设部分一致，对此进行如下解释：

自然增长与外部刺激对认知能力的影响作用解释了本研究中的所得的共性结果^[1]，即两组儿童在认知灵活性反应时、注意选择、注意广度能力上得到相应改善，且多项任务呈现出反应时明显降低和正确率无明显变化。

4 周干预运动作用于“神经生理”与“神经预活化”的机制联系解释了研究中 7-9 岁儿童认知能力产生的显著效益^[2]，即儿童进行中高等强度运动后的认知能力改善范围优于不进行规律运动的儿童。相似研究中提及进行认知参与性质、背景环境复杂、具有新颖性、变化性、协调性及快速反应能力的运动可促使小脑和前额叶区域引发生理唤醒，能进一步达成较大幅度的认知激活，即预活化与认知相关的神经网络^[3]。个别研究明确了附加认知能力提升理念的锻炼远比纯粹的运动对执行功能的提升效果好^[1]。细化至内容而言，有氧运动侧重于改善注意力和处理速度；人体长期进行涉及专注、正念等观念且具有复杂动作形式的武术项目运动可促使对大脑皮层要求提高同时增加局部血流量从而发展执行功能^[4]。细细考察，本实验方案基于认知能力的提升方法而设计，包含高认知参与、复杂运动形式、团体合作运动等认知提升理念要点，干预组儿童在实际运动过程中实现了小脑与背外侧前额叶皮层联结配合处理复杂、协调、高级认知功能类的运动任务，以此产生生物唤醒支持着运动任务完成，进而激活认知提高了注意力^[1]。除此，本文设计了基于“团体性”形式的运动如五子棋游戏、闯三关等分组比拼类的干预内容，在完成团体性、学习性运动时儿童需策略性的合作参与，以达成运动过程中非计划性地、随机地情景干扰，该过程为了抑制自动化加工并调度与执行功能关联的神经回路介入对儿童的执行功能发展提出更多挑战性^[5]。从这一点上发现

^[1] 张圳. 恰恰舞教学对 8-10 岁儿童执行功能的影响研究. 广州体育学院[D]. 2021, 06.

^[2] CAREY J R, BHATT E, NAGPAL A. Neuroplasticity promoted by task complexity[J]. Exerc Sport Sci Rev, 2005, 33(1):24-31.

^[3] Verburgh, Knigs, Scherder, et al. Physical exercise and executive functions in preadolescent children, adolescents and young adults: A meta-analysis[J]. British journal of sports medicine, 2014, 48(12):973-979.

^[4] Douris, P., Douris, C., Balder, N., LaCasse, M., Rand, A., Tarapore, F., Zhuchkan, A., Handrakis, J. Martial art training and cognitive performance in middle-aged adults. J. Hum. Kinet. 2015, 47, 277.

^[5] DIAMOND A. Close interrelation of motor development and cognitive development and of the

本研究中的“协调类运动、团体合作类运动、复杂类运动且高认知参与性质等”运动设计思路与上述机制解释认知效益相通,故此“神经生理”与“神经预活化”机制可作为研究中持续 4 周干预运动后儿童认知能力提升范围广的合理性解释。

紧随其上观点,4 周的中高强度运动可以促成大脑相关脑区结构的改变,进而促使神经发育和调节脑内生长因子以此发展个体不同的认知能力,可能解释了本研究中不同维度认知能力结果的差异性变化。因为运动帮助人体分泌较多的脑源性神经营养因子(BDNF)及儿茶酚胺类递质进而影响执行能力(主要是工作记忆)的表现^{[1][1]},抗阻运动促进胰岛素样生长因子 1 的水平以此帮助 BDNF 和血管内皮生长因子的合成达到发展认知能力的目的^[2]。间歇运动更易激发儿童青少年群体的兴趣且能对认知产生正向影响^[3]。进一步佐证了不同维度认知能力的提高程度受运动类型的影响^[2]。

运动周期的长短是否对因变量产生影响,过去研究表明 6 周-9 个月的干预锻炼对语言工作记忆、抑制控制和认知灵活性的发展有显著促进作用^{[4][5]}。体力活动的干预周期基本为 5 周以上^[6],多为 8-16 周不等,而运动周期为 4 周的研究占少数。本研究的干预周期为 4 周,共计 16 次课,单次运动时长为 60 分钟,干预频次及时长足够,但干预周期相对较短,尽管干预方案是基于研究中所有维度认知能力的提升而设计,干预周期的长短仍可能是导致部分研究结果不具有统计学差异的原因。

以上解释从认知参与程度、运动的背景环境、运动的组织形式、运动内容的复杂程度^[7]等影响认知能力发展因素的角度简要分析了本实验方案设计对认知能力所产生的共性效果。总言之,在实验设计前期本文已参考多项研究而拟定该认知能力提升方案,因此,专门性的认知提升方案可作为研究中部分认知能力提升的可能性解释。

5.1 运动强度因素对认知能力的影响分析

强度因素是影响认知能力发展的关键点。运动强度因素对认知能力的影响已得到领域中权威专家的证实,唤醒假说和神经营养因子假说等沉淀性理论已被验证为运动强度对认知能力促进效益的解释^[8]。权威专家不断拓展是否该假说是强度影响认知能力的唯一机制类解释,在此基础上提出了将运动中对努力的控制纳入自我调节领域以此解释运动对认知影响的观点,即自我控制强度模型理论,在运动过程中的自我调节促进人体发生自我控制从而帮助人体从身体领域转到认知领域,强度控制模型与运动-认知交互作用联系取决于任务的耗能性与注意的

cerebellum and prefrontal cortex[J]. Child Development, 2000, 71(1):44-56.

^[1] WINTER B, BREITENSTEIN C, MOOREN F C, et al. High impact running improves learning[J]. Neurobiology of learning and memory, 2007, 87(4): 597-609.

^[2] Harveson, A. T.; Hannon, J. C.; Brusseau, T. A.; Podlog, L.; Papadopoulos, C.; Durrant, L. H.; Hall, M. S.; Kang, K.-d. Acute effects of 30 minutes resistance and aerobic exercise on cognition in a high school sample. Res. Q. Exerc. Sport 2016, 87, 214-220.

^[3] Barkley J E, Epstein L H, Roemmich J N. Reinforcing value of interval and continuous physical activity in children[J]. Physiology & Behavior, 2009, 98(1-2):31-36.

^[4] Budde H, Niemann C, Wegner M, et al. Effects of Motor versus Cardiovascular Exercise Training on Children's Working Memory[J]. Medicine and exercise in sports and exercise, 2016, 48(6):1144-1152.

^[5] Hillman C H, Pontifex M B, Castelli D M, et al. Effects of the FITKids Randomized Controlled Trial on Executive Control and Brain Function[J]. Pediatrics, 2014, 134(4):1063-71.

^[6] 李龙凯. 12 周不同频次体育游戏对学龄前儿童执行功能的影响研究[D]. 上海体育学院. 2021.

^[7] 杨晓辉. 儿童执行功能发展及促进[M]. 陕西: 陕西师范大学出版总社, 2017:184.

^[8] 陈爱国, 殷恒婵. 运动、儿童执行功能与脑的可塑性[M]. 北京: 北京体育大学出版社, 2011:120-124.

性质^[1],从这一角度而言,本文认知能力的变化结果受制于运动强度的影响。

强度的高低对认知能力的促进作用在截止至今的实证研究中各执说法,诸多学者已表明倒 U 负荷理论下利于认知能力发展的运动负荷为中等强度,主要原因是运动强度对机体中激素、神经递质、神经生长因子等化学物质含量的刺激促进关系恰是中等强度刺激效果最佳^[2]。Kamijo 等的研究经 go/no go 任务测评功率自行车干预中不同强度对中枢神经系统信息处理过程的影响,得出中等强度干预后受试者能投入更多的注意力,符合唤醒水平及倒 U 理论中对强度的解释^[3],同样地 Yanagisawa 等人的研究中提及中等强度的运动可以刺激人体左侧背外侧前额叶皮层激活水平致使认知能力发生积极变化^[4],与 Meta 分析研究中中等强度体育活动对儿童工作记忆能力的提升效果最佳的结果一致^[1]。本研究在心率区间二 ($\geq 60\%HR_{max}$) 及以上的时长占比均为中高等强度运动,其占比高达 73.03%,时长约占 45.41 分钟,所设计的中高等强度包含能够提升认知能力的中等强度,因此 7-9 岁的干预组儿童认知能力得到了提升。

与此研究成果相存的是高强度运动带来的认知效益,经中枢神经系统调节后强度处于无氧阈周围的剧烈运动可能促进认知能力的发展^[5]。高等强度运动对认知能力的提升效果在抑制控制能力上得到较好的发挥源于能够提高大脑的神经活动水平^[6],还可能源于高强度运动时降低了糖原汲取同时脑乳酸代谢增强,增多的脑乳酸进而成为干预后认知行为的能量源泉^[7]。这一解释主要为运动的代谢需求在大脑中引起的变化,换言之,能量代谢触发大脑生长因子的可用性增加,通过加强潜在的系统来增强大脑可塑性,如促使认知关联脑区的突触和血管生成^[8],实验研究中已表明 HIIT 干预可提供更好的认知促进效果^{[9][10]}。本文的中高等强度运动包含高强度运动,研究所设计的强度与认知能力得以提升的强度相符,因而 7-9 岁儿童的部分认知能力得到提升。

值得一提的是有研究明确高等强度运动对人体认知能力无影响甚至会使其损伤,如高强度运动对高级认知功能的促进作用较小且仅能发展简单的认知能力^[11]。高强度间歇运动的选择性促进致使工作记忆与认知灵活性能力均未能提高,

^[1] Audiffren M, N André. The strength model of self-control revisited: Linking acute and chronic effects of exercise on executive functions[J]. Journal of Sport and Health Science, 2015, 4 (1): 30-46.

^[2] 王京京, 张海峰. 高强度间歇训练运动处方健身效果研究进展[J]. 中国运动医学杂志, 2013, 32(3): 246.

^[3] Kamijo K, Nishihira MY, Hatta A, Takeshi K, Toshiaki W, & Tetsuo K. Differential influences of exercise intensity on information processing in the central nervous system. [J]. European Journal of Applied Physiology, 2004, 92: 305-311.

^[4] YANAGISAWA H, Dan I, TSUZUKI D, et al. Acute moderate exercise elicits increased dorsolateral prefrontal activation and improves cognitive performance with Stroop test[J]. Neuro Image, 2010, 50(4).

^[5] KASHIHARA K, MARUYAMA T, MUROTA M, et al. Positive effects of acute and moderate physical exercise on cognitive function[J]. Journal of Physio-logical Anthropology, 2009, 28(4): 155-164.

^[6] DENVER M Y, STEVEN R B. Acute effects of continuous and high-intensity interval exercise on executive function[J]. Journal of Applied Biobehavioral Research, 2018, 23(3): 1.

^[7] KEMPPAINEN J, AALTO S, FUJIMOTO T, et al. High intensity exercise decreases global brain glucose uptake in humans[J]. Journal of Physiology (Oxford), 2005, 568(1): 323.

^[8] Gomez-Pinilla, F., & Hillman, C. H. (2013). The influence of exercise on cognitive abilities. Comparative Physiology, 1, 403-428.

^[9] 唐浩轩. 急性高强度间歇训练与中等强度持续训练对情绪体验与执行功能的影响[D]. 武汉: 武汉体育学院, 2019.

^[10] Kao S C, Westfall D R, Sonesson J, et al. Comparison of the acute effects of high-intensity interval training and continuous aerobic walking on inhibitory control[J]. Psychophysiology, 2017, 54(9): 1335-1345.

^[11] 张连成, 王肖, 高淑青. 身体活动的认知效益: 量效关系研究及其启示[J]. 体育学刊, 2020, 27(1): 66.

虽改善了抑制控制的能力但确使信息加工表现受损^[1]。人体完成高强度运动时多数代谢能源用作操控动作,而无法更好的调节执行功能能力,从而限制其改善^[2]。尽管本研究中部分认知能力未达到显著促进的效果,但此依据所解释的无良性影响成因均不适用于本研究,因为高强度运动可能产生的认知危害性与测试时间有关,实验中的受试儿童进行认知测试时身体能力已得到恢复,因而能够集中注意力完成测试任务^[3]。因此高强度运动带来的弊端并非为本文部分认知能力未能提升的原因,该结果同时解释了“运动强度分歧”问题。

还有研究表明运动后立即进行认知能力测试时较低强度效果好,而认知测试在运动后延迟测量时较高强度运动更有益^[4]。本实验的测试时间安排在运动干预结束后的第二天,非即刻测试非低强度干预,认知能力得到提升同为上述中高等强度的效果所致。

显然,运动强度对认知能力多为积极影响,中、高等运动强度以不同的理论机制解释其带来的认知效益。本研究拟设强度为中高等强度,实际运动干预中的总平均心率也达到了中高等强度范围($\geq 60\%HR_{max}$),虽受实际操作的困难及设备仪器差异性的影响无法再对干预组中相对高、低的强度进行分组以对比更具体的强度取值产生的认知效益。但不可否认的是,两组儿童实验中的差异主要体现在干预组进行了中高等强度运动干预,而对照组无中高等强度的固定运动干预,可得出本研究中干预组所获得的认知效益也同为中高等强度负荷运动产生的积极效应,且可排除高等强度运动不利于儿童认知能力的发展。综合上述分析可以推测中高等运动强度是影响两组儿童认知能力变化差异的因素,该强度设置利于相关化学递质的释放及认知能力的发展。

5.2 运动干预对儿童认知能力的影响分析

5.2.1 对抑制控制能力的分析

居于关键发展期阶段内的儿童抑制控制能力提升更快,解释了两组儿童在抑制控制反应时(不一致任务、总任务)能力上的改善结果。儿童抑制控制能力的发展稍早,其关键期年龄为 5-8 岁,8 岁后虽该能力不会有显著质的变化,但在反应时与准确性上能够得到继续发展^[1]。本研究所选受试儿童年龄为 7-9 岁,多数儿童处于关键发展期阶段中,因而随着年龄的增长和关键发展期的加速发展作用,两组受试儿童抑制控制反应时能力有一定程度的改善,不一致任务与一致任务的发展差距与日减小^[5]。

中高等强度运动干预的介入是干预组反应时范围、提升幅值优于对照组的主要原因,即提升幅值显示进行中高等强度运动的儿童一致任务反应时、不一致任务反应时、总任务反应时能力的改善优于对照组,均值分别高出对照组 156.53ms、

^[1] CHEN C C J J, RINGENBACH S D R. Dose-response relationship between intensity of exercise and cognitive performance in individuals with down syndrome: a preliminary study[J]. Journal of Intellectual Disability Research, 2016, 60(6): 606.

^[2] DIETRICH A. Functional neuroanatomy of altered states of consciousness: the transient hypofrontality hypothesis[J]. Consciousness and Cognition, 2003, 12(2): 231.

^[3] TYLER J M, BURNS K C. After depletion: the replenishment of the self's regulatory resources[J]. Self and Identity, 2008, 7(3): 305.

^[4] CHANG Y K, LABBAN J D, GAPIN J I, et al. The effects of acute exercise on cognitive performance: a meta-analysis[J]. Brain Research, 2012(1453): 87.

^[5] Davidson M C, D Amso, Anderson L C, et al. Development of cognitive control and executive functions from 4 to 13 years: evidence from manipulations of memory, inhibition, and task switching[J]. Neuropsychologia, 2006, 44(11): 2037-2078.

179.48ms、160.95ms, 中位数值分别高出对照组 126.29ms、96.82ms、94.61ms。抑制控制能力作为执行功能的基础能力极易受运动因素的影响, 通过高效的训练以快速适应相关任务变化后可在短时间内提升抑制控制能力^{[1][2]}。从运动角度看, 运动适应早期即是学习新事物的初期, 抑制功能发挥着作用以使抑制不适宜的视觉运动计划并促进选择一个合适的计划, 随着学习进程的推进负责抑制的前额叶区域逐渐关闭^[3], 中高等强度干预方案设计中恰体现了从新事物的学习到逐渐掌握的过程, 随着运动进程的推进抑制控制能力得到发展。结合干预内容解释, 碎步反口令转体激活练习中, 干预组儿童需快速完成碎步激活动作, 此过程中教练员会发出口令, 比如“右!”需干预组儿童快速做出反应并向反方向跳转体, 随后立即还原到碎步激活动作。全过程需要受试者对口令信息进行加工, 抑制住优势侧的指令同时向反方向完成指定动作, 因而也使干预组儿童的部分抑制控制能力得到锻炼。运动方案设计思路中的动作学习、团队合作等方面体现出儿童在练习过程中全心的投入依靠抑制功能克服外界干扰。同类研究中得出有氧适能运动作为一种锻炼方式对儿童执行控制能力的改善有益, 表现为 7-12 岁的受试者进行有氧运动后 Stroop 任务能力提高^[4]。9-10 岁儿童进行测试时得知有氧体适能高与认知控制能力发展成成正比^[5]。Kao 等人比较了人体分别进行 20 min 的中等强度有氧运动 ($66\% \pm 3\% \text{HRmax}$)、20min 的无运动 ($40\% \text{HRmax}$) 和 9min 的高强度间歇运动 ($85\% \pm 5\% \text{HRmax}$) 后认知能力的变化, 中等强度和高强度组的 Flanker 任务反应速度均比休息组更快, 高强度组在完成需要高抑制控制的任務时准确性均高于其余两组^[1], 反映了运动改善执行能力的水平受强度影响的限制。Ishihara 等对 6-11 岁儿童的跟踪研究中得出该群体对网球运动的乐趣变化可增加抑制控制能力的提升效果^[6]。Taubert M 对 8-9 岁小学生进行为期 9 个月 (5 次/周, 60min/次) 的运动干预后发现儿童在抑制控制能力上得到显著提升, 控制组的前后测对比无显著差异, 两组儿童认知能力的差异取决于体力活动干预的任务背景和任务目标, 该目标指向是与前额叶皮质相关的功能, 文中对未能提升的控制组的抑制控制能力解释为不适应任务策略和任务设置^[1]。本研究与上述研究的共同之处在于运用了中高等强度负荷, 为持续运动干预且目标是抑制控制能力的发展, 因而目标导向与运动干预要素的介入可能是抑制控制反应时能力得到高效发展的原因之一。

天花板效应是影响抑制控制正确率提升的可能性因素。相似研究中孟小续对 5-6 岁学龄前儿童进行为期 12 周 (3 次/周) 的中高强度跳绳干预后将子能力未得到改善的原因归于测试任务较简单且出现了天花板效应^[7]。测评任务的难易程

[1] HAYATO T, TADASHI S, SAKI T, et al. Greater impact of a-cute high-intensity interval exercise on post-exercise executive function compared to moderate-intensity continuous exercise[J]. P hysiology and Behavior, 2016(155):224.

[2] Miller J R B P H. A developmental perspective on executive function[J]. Child Development, 2010, 81(6):1641-1660.

[3] Gentili, R. J., Shewokis, P. A., Ayaz, H., & Contreras-Vidal, J. L. (2013). Functional near-infrared spectroscopy-based correlates of prefrontal cortical dynamics during a cognitive-motor executive adaptation task. Frontiers in Human Neuroscience, 7, 277.

[4] Buck S M, Hillman C H, Castelli D M. The Relation of Aerobic Fitness to Stroop Task Performance in Preadolescent Children[J]. Medicine & Science in Sports & Exercise, 2008, 40(1):166-172.

[5] Chaddlock L, Erickson KI, Prakash RS, et al. A functional MRI investigation of the association children aerobic fitness and neurocognitive control[J]. Biol Psychol, 2012, 89(1):260-268.

[6] ISHIIHARA T, MIZUNO M. Effects of tennis play on executive function in 6-11-year-old children: a 12-month longitudinal study[J]. Eur J Sport Sci, 2018, 18(5):741-752.

[7] 孟小续. 12 周中高强度跳绳运动对学龄前儿童执行功能的影响[D]. 上海体育学院. 2021, 06.

度一定程度上影响了抑制控制能力的提升幅度,基线测试中儿童已经具备了较高的正确率能力,经运动干预能改善的幅度已经较小^{[1][1]}。本研究中的 Flanker 任务在正确率测试上缺少挑战性,仅能通过缩短反应时来优化抑制控制能力,因而受任务难易程度的影响正确率无显著改善。

5.2.2 对工作记忆能力的分析

7-9 岁儿童已具备处理工作记忆任务的能力,可以解释干预组儿童在空间工作记忆、语言工作记忆,对照组在 1-1 任务反应时能力上变化值的改善。儿童随着年龄的增长大脑对信息进行保持与处理的能力逐步加强,至 7-10 岁间工作记忆能力呈现线性增长(8 岁为其转折期之一),有研究提出 7-9 岁的儿童能够对简单工作记忆任务进行处理,9 岁开始能逐步对复杂任务进行处理^{[2][3]},本研究中受试者年龄均为 7-9 岁,具备处理简单工作记忆任务的能力,就所测任务指标分析,空间工作记忆 4-2 任务与语言工作记忆倒背任务相较于空间工作记忆 1-1 任务而言难度较大,7-9 岁儿童对简单性质的任务处理能力优于复杂任务,解释了本研究中空间工作记忆 1-1 任务反应时得以明显改善的结果。

干预设计方案对工作记忆能力的指向性是其有选择性改善的原因,解释了所有指标仅有干预组儿童在 1-1 任务反应时(改善幅值 156.00ms)上有显著改善的结果。本研究基于“间歇运动”的认知提升理念设置了以间歇方式开展的较复杂的运动循环站点练习,该内容需干预组儿童熟记每个站点的指定动作,当变换到下一站点练习时能即刻按要求完成指定数量动作,复杂运动干预的提升理念致使本研究与前人研究存在一致结果,均改善了个体的部分视觉工作记忆能力^[4]。其次,每一次干预课程进入放松环节时,需受试儿童闭眼冥想 30 秒并出声复述以帮助其回顾整堂课的动作和流程,解释了本实验中高等强度干预条件下工作记忆能力的部分提升。

对于干预组中幅值有提升但无显著改善的空间工作记忆 4-2 任务、1-1 任务正确率、语言工作记忆(均值幅改善分别为 2.75%、169.54ms、6.03%、0.50 字长)指标而言,本研究干预变量的设计或许缺乏利于工作记忆能力提升的要点,其一,缺乏技能类运动要素,为期 8 周(2 次/周,90min/次)的中等强度(67.9%HRmax)体操训练能提高 7-10 岁儿童的空间工作记忆(延迟匹配样本测试)能力,从体操项目角度分析,可改善神经资源分配同时促进儿童额顶叶网络、顶叶皮层和颞叶皮层之间的连接(即区域间的耦合越强对应的任务表现越好),其中,技能类训练包括控制、协调、平衡和空间定向,可能影响颞区(即海马、基底神经节)的体积变化从而使工作记忆能力发生变化^[1]。本研究在强度方面与该研究具有部分一致性,有所区别的是技能类主导干预,方案中恰缺少技能为主的干预要素,因而可能导致多项指标的改善不显著。其二,强度设置也许不适用于提升工作记忆能力,因为运动疲劳会引发心理疲劳,心理疲劳是记忆能力下降的主因。中等强度体育活动对儿童工作记忆能力的提高程度优于高强度,本文的

^[1] Brush C J, Olson R L, Ehmann P J, et al. Dose-Response and Time Course Effects of Acute Resistance Exercise on Executive Function[J]. J Sport Exerc Psychol, 2016:396-408.

^[2] John, R, Best, et al. Executive functions after age 5: Changes and correlates[J]. Developmental Review, 2009, 29(3):180-200.

^[3] Klingberg T, Forssberg H, Westerberg H. Training of Working Memory in Children With ADHD[J]. Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 2002, 24(6):781-791.

^[4] 朱瑜, 许罡, 万芹等. 适应体育运动干预对孤独症谱系障碍儿童视觉工作记忆的影响. 中国体育科技, 2017, 53(3):55-60.

干预设计中含有高强度干预,或多或少影响了工作记忆能力的发展^{[1][1]}。Budde-H^[2]的研究经不同的方法分别验证了工作记忆能力的变化,成果一为强度与基线成绩均对工作记忆能力的促进有一定影响,成果二为唾液中的类固醇浓度与运动强度间存在较高的依附性,本文与该研究可能仍有相似之处,同受强度、基线成绩、测试方法的影响。其三,有研究将无显著改善的结果解释为受试者还在空间工作记忆的发展过程中(6-11岁),此阶段儿童在工作记忆任务中可能暂时无法募集到背外侧前额叶皮层和顶叶皮层^[3]。其四,干预周期的长短及干预频次的高低可能影响工作记忆能力的提升。有研究曾提出短时间内提高工作记忆的可能性较小,需经长期干预训练至少五周以上才能获得工作记忆能力的显著提升^[4]。Ishihara 等人对 6-11 岁儿童的干预研究中高剂量组(4 次/周)的工作记忆能力比低剂量组(1 次/周)表现出更大的改善^[1]。本研究干预周期虽仅为 4 周,但干预频次高达 16 次,相较于其它慢性干预研究而言周期较短但频次较高,可能是影响工作记忆测试任务选择性提升的原因。

除此,工作记忆的任务难度决定了所需调动的心理资源程度^[5]。对于空间工作记忆与语言工作记忆改善的不一致性,Conklin 等人经对 9-17 岁群体测试后明确空间工作记忆比语言工作记忆测试好的原因为加工程度^[6]。国内涉及执行功能测试的研究多采用的测试方式为 N-back 任务,基于上一提法,受测试任务复杂程度差异性及加工程度的影响可能导致了研究中仅有少数指标有显著改善。但最终干预组的提升幅值均高于对照组,不可否认运动给儿童工作记忆能力带来的积极影响。

5.2.3 对认知灵活性能力的分析

关键期内的认知灵活性发展速度极快解释了两组儿童反应时均值皆有改善的结果(均值幅,干预组 vs 对照组,182.81ms vs 76.59ms)。7-8 岁与 9-10 岁均为认知能力的快速增长期,随着年龄的增长儿童的认知灵活性能力逐步发展,最晚至成年早期的某一时间点发展成熟,本研究部分受试儿童处于认知灵活性发展的高峰期中,因而认知灵活性反应时能力得到了发展。

认知灵活性能力具有极强的运动可塑性解释了干预组正确率与反应时上的改善优于对照组的结果(分别高出 5.79%、106.22ms)。灵活性能力通过高效的训练能够在短时间内得到提升^[2],故此进行中高等强度运动干预的儿童认知能力反应时的提升效果必然优于无固定运动干预的儿童。Niet 等开展对 8-12 岁儿童的日常活动与执行功能间联系的研究得知中高强度活动可促进儿童的认知灵活

^[1] 于爽. 运动性疲劳所致学习记忆能力改变的证候特点及基于 PKA-CREB 信号通路的机制研究[D]. 北京:北京中医药大学,2010.

^[2] Budde H, Voelcker-Rehage C, Pietrassyk-Kendziorra S, et al. Steroid hormones in the saliva of adolescents after different exercise intensities and their influence on working memory in a school setting[J]. Psychoneuroendocrinology, 2010, 35(3):382-391.

^[3] Crone E, Wendelken C, Donohue S, et al. Neurocognitive development of the ability to manipulate information in working memory[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2006, 103(24):9315-9320.

^[4] Thorell LB, Lindqvist S, Bergman S, et al. Training and transfer effects of executive functions in preschool children. Developmental Science, 2008, 11(6):969-976.

^[5] Davidson M C, D Amso, Anderson L C, et al. Development of cognitive control and executive functions from 4 to 13 years: evidence from manipulations of memory, inhibition, and task switching. [J]. Neuropsychologia, 2006, 44(11):2037-2078.

^[6] Conklin H M, Luciana M, Hooper C J, et al. Working memory performance in typically developing children and adolescents: behavioral evidence of protracted frontal lobe development[J]. Developmental Neuropsychology, 2007, 31(1):103-128.

性能力^[1]。Ishihara 等对 6-11 岁儿童进行为期 1 年的网球运动干预后得出中高等强度的活动与认知灵活性的提高呈正相关^[1]。同类研究中还将 10-12 岁的儿童分成 3 组,分别是高认知性质的体育课(团队运动)、高体力低认知性质的体育课(有氧运动)和低体力低认知性质的体育课(对照组),进行为期 6 周(2 次/周、45min/次)干预后只有在高认知性质的体育课组认知灵活性表现才有改善,其他两种干预形式未能改善,且抑制控制和工作记忆能力均未改善,结果支持了认知刺激假说,即高认知高体力消耗干预比低认知体力活动对执行功能有更积极的影响。该研究的高认知高体力活动组(达到 ACSM 的中等-剧烈强度)与本研究设计相似,是专门针对执行功能量身定制的团队活动,包含了运动控制和复杂的手眼协调能力,有目标导向和认知参与,比如热身活动对执行功能起到了重要作用,多种信号刺激下出现指定刺激时需要受试者完成指定动作^[2]。显然,上述研究与本实验中的运动强度安排及干预设计有极多共同之处,因此认知灵活性能力得到提升可能受强度和运动设计方案的影响。结合本实验的干预内容解释,如碎步反口令转体激活练习中受试者需对口令信息进行加工,灵活应变指令以完成指定动作,从而锻炼并提升了干预儿童的认知灵活性能力。

正确率无显著改善的结果与前人研究具有共鸣之处,可能取决于认知灵活性测试任务的难度选择,且 10 岁儿童正确率的改善未能完全达到较高水平^[3]。

5.2.4 对注意选择能力的分析

基于认知提升理念下的运动内容设计是干预组注意选择能力改善幅度、范围优于对照组的原因,即在交互作用中干预组注意选择反应时能力的改善优于对照组,干预组在正确率、反应时能力上的提升均明显高于对照组(幅值均值,干预组 vs 对照组,11.10% vs 6.66%、147.98ms vs -0.72ms)。干预组能力的提升在于能否把握住运动中注意选择能力提升的关键点,从本研究的干预内容分析,视觉搜索热身跑中,干预组儿童在所有标志物外延慢跑,教练员会随时发出口令,如“1 个红色标志桶”!受试者听到指令后需快速搜寻红色标志桶所在的位置,随即以最快的速度拿到红色标志桶后继续进行慢跑,最后以所获得的标志物数量多者为胜。此过程考验受试者集中精力、听指令、搜寻、辨别、反应速度等能力,可见干预组儿童注意选择能力的提升效果是在运动干预过程中培养而成的。与 Marianna 等的研究存在相似之处,对照组均不进行固定运动,7-11 岁儿童进行为期 6 周的足球锻炼(2 次/周,75min/次)后明显缩短了视觉辨别时间,研究中明确了认知能力的改善与一般体力活动及技能类专项能力有关。足球运动中情境千变万化且涉及复杂协调性练习,能够减少固定动作、锻炼认知控制和刺激视觉-空间注意能力,比如刺激在儿童时期显著发展的视觉搜索能力,为了能够从同类刺激中搜寻到目标,需要视觉选择性能力及焦点注意能力、对周边视觉敏锐度以及移动注意力焦点或面对多种刺激时的分割视觉注意力的能力,激活较多的元认知策略参与,而足球运动可以达到这种要求,能够做到策略性行为的运用以适应不可控的变化^{[4][5]}。另一研究中显示进行开放性运动的群体的选择性注意能力

^[1] Niet A G V D, Smith J, Scherder E J A, et al. Associations between daily physical activity and executive functioning in primary school-aged children[J]. Journal of Science & Medicine in Sport, 2015, 18(6): 1-5.

^[2] Mirko, Schmidt, Katja, et al. Cognitively Engaging Chronic Physical Activity, But Not Aerobic Exercise, Affects Executive Functions in Primary School Children: A Group-Randomized Controlled Trial[J]. Journal of sport & exercise psychology, 2015.

^[3] 王静梅, 张义宾, 郑晨烨等. 3-6 岁儿童执行功能子成分发展的研究[J]. 心理发展与教育, 2019, 35(1): 10.

^[4] Marianna A, Antonino B, Johnny P, et al. Motor and cognitive growth following a Football Trai

比进行闭锁性运动的群体更好,研究中提及运动类型和体力活动量均未直接影响受试者的选择性注意功能,运动类型对选择性注意功能的积极效益只有当其负荷达到高强度时才得以体现^[1],除此外,进行开放性运动过程中包含高认知参与因而因而认知效益更好^[2]。声音易吸引人的注意力^{[3][4]},干预中辅以听觉刺激能够改善其注意选择能力。Chaya 等人对 7-9 岁儿童进行为期 12 周(6 次/周,45min/次)的瑜伽运动干预后,干预组和体育锻炼组的儿童注意力均得到提高,而经瑜伽干预的儿童在 3 个月的随访中表现出更好的注意力和视觉空间能力益处,瑜伽训练的目的在于帮助人体心灵平静,因此经过瑜伽训练的儿童警觉性得到提高^[1]。本文与上述研究存在强度、方案设计的共同点,因而主要考虑强度、方案设计对注意选择能力的影响。

干预的持续性与持久性可能影响注意选择能力效果。选择 9-12 岁的儿童进行为期 9 周(10min/天)的中等-高强度课间锻炼,用 d2 量表等四项任务测试注意选择、抑制等认知能力,结果发现 9 周后儿童的认知能力无显著效果^[5]。本研究所得结果与之相反,差异在于本实验设计中单次干预时长较长,且运动方案是针对认知能力提升专门设计,因此运动方案与干预时长可能是导致注意选择能力显著提升的原因。对比 2 次 20min 中等强度运动、1 次 20min 中等强度运动和久坐儿童的注意选择能力,用“天空搜索”子测试进行五个时间点的注意选择能力测试,结果得出进行 2 次 20min 运动的 10-13 岁儿童得分显著高于其余两组,但仅能维持 2 小时左右,研究结论得出重复进行运动对儿童注意选择能力的提升更重要^[2]。进一步佐证了运动干预的持续性与长久性对注意选择能力的改善效果较好。

5.2.5 对注意广度能力的分析

注意广度能力快速发展的关键阶段是 4-10 岁,解释了注意广度能力上两组儿童均有提升的结果,本文中 7-9 岁儿童的注意能力得以发展受快速增长期的影响,而提升无统计学意义说明敏感发展期的提升有限,注意广度还可通过其他途径得以发展。

注意范围广且包含认知锻炼的干预更能提高注意广度能力,解释了虽两组均无统计学意义但干预组的提升幅度优于对照组的结果(均值幅,干预组 vs 对照组,0.90 点 vs 0.34 点)。Weiyun Chen 等人的研究中,采用注意力 d2 测试量表分别对四年级学生实施检验双侧协调性球类技能(CBBS)足球篮球干预(干预组)和常规足球篮球干预(对照组),结果得出为期 16 周(共 32 次)的干预改善了儿童注意力表现和注意广度能力,而干预组的改善显著优于对照组。这种

ning Program[J].Frontiers in Psychology,2015, 6:1627-.

^[5] Stratton,G.,Reilly,T.,Richardson,D.,&Williams,A.M.(2004).Youth soccer:From science to performance.London:Routledge.

^[2] 李莎.运动类型与强度对老年人注意选择功能的影响[D].上海体育学院,2020.

^[2] O'Brien J,Ottoboni G,Tessari A,et al.One bout of open skill exercise improves cross-modal perception and immediate memory in healthy older adults who habitually exercise[J].Plos One,2017,12(6):e0178739.

^[3] Posner M I,Petersen S E.The attention system of the human brain[J].Annu Rev Neurosci,1990,13(1):25-42.

^[4] Wang C H,Tsai C L,Tseng P,et al.The association of physical activity to neural adaptability during visuo-spatial processing in healthy elderly adults: A multiscale entropy analysis[J].Brain and Cognition, 2014,92:73-83.

^[5] Vera V D B,Saliassi E,De Groot R H M,et al.Improving Cognitive Performance of 9-12 Years Old Children:Just Dance?A Randomized Controlled Trial[J].Frontiers in Psychology,2019,10.

优势文中主要将其解释为干预组更加注重锻炼双侧大脑的能力,如在练习过程中进行优势侧训练后需再对非优势侧进行训练,这种锻炼有助于增强注意力,可见注意广度的提升得益于 CBBA 条件下的双手、手臂、脚或腿的协调运动^[1]。对五年级学生受试者共分五组:小强度足球组,中强度足球组,小强度乒乓球组,中强度乒乓球组,对照组,对受试者进行持续 12 周(3 次/周,主体 30min/次)的运动干预,干预期间小强度 HR 为 105-130 次/min,中等强度的 HR130-150 次/min,干预后对其注意广度测试得出足球锻炼对小学生的注意广度影响显著,且中等强度的锻炼效果最优;强度因素和性别因素对注意的广度的影响较小。该研究排除了注意广度的自然增长因素影响,强调了项目差异对注意广度起着决定性作用,这种差异取决于项目的特点,乒乓球较封闭且注意范围狭小,而足球项目较为开放且注意范围大^[1]。对比该研究不难发现,虽本研究也设置了相对开放的利于注意广度提高的内容,但相比足球项目,注意范围仍较小,因而项目类型是导致本研究注意广度有提升但无显著差异的主要原因。

6 结论与建议

6.1 结论

(1) 中高等强度运动干预对 7-9 岁儿童认知能力的提升效果优于仅维持日常身体活动且不进行规律运动的儿童,在范围和改善幅值上分别得以体现。中高等强度运动后儿童的抑制控制反应时(一致任务、不一致任务、总任务)、注意选择(正确率、反应时)能力均有明显改善,认知灵活性反应时、空间工作记忆 1-1 任务反应时能力均有改善;不进行规律运动的儿童仅能改善抑制控制不一致任务反应时、总任务反应时、注意选择正确率能力。

(2) 儿童进行中高等强度运动后认知能力的改善程度从大到小依次为:注意选择>抑制控制>认知灵活性>工作记忆>注意广度;儿童维持日常身体活动且不进行规律运动后的认知能力改善程度从大到小依次为:注意选择>抑制控制>认知灵活性=注意广度=工作记忆。

6.2 建议

(1) 为更高效的探究长期运动对认知能力的促进效益,其干预周期应适当延长(大于四周),且应对干预过程中其他方面的潜在影响因素(如极端环境温度、干预外的运动因素等)进行合理控制,排除其交叉影响。

(2) 干预中运动、饮食、社会互动等方面会产生交互影响,故未来干预中应根据研究目的对其它因素进行合理整合,更利于研究目的有效达成。

(3) 未来进行中高等强度运动干预时,可在此干预方案的基础上依托技能类运动,还可进一步探究运动干预的身体效益与认知效益间的关联作用,同时对造成正确率与反应时结果差异的原因进行深入分析。

7 研究不足与展望

7.1 研究不足

(1) 研究共涉及五个电脑端测试任务与一份纸质问卷的测量,虽实验准备期已考虑每个测试间安排有短暂的休息,但对于 7-9 岁的儿童而言,测试时间相对过长,部分测试任务的精确性可能略受影响。同时认知能力中其他方面如知觉等维度未进行测试,且对注意力的测量不够全面,仅对注意选择与注意广度能力进行测试,不能全面反映所有认知能力的结果变化。

(2) 干预训练时间为 7 月-8 月间, 室外训练中气温较高, 无法对气温等环境因素进行合理把控, 尚未知中高等强度训练中温度因素是否会对认知能力产生负面影响, 除此还有环境、性别、学习能力等混杂因素伴随的可能性影响。

(3) 本研究样本量较小且研究深度不够, 如未使用脑核磁共振等研究工具, 尚未知该研究结果是否适用于所有 7-9 岁的儿童, 研究缺乏积极对照的儿童, 未进行后续的跟踪研究。

7.2 研究展望

本研究从测试任务上可发现多项任务正确率与反应时的结果存在差异, 目前暂不明晰测试任务中正确率与反应时的变化差异受何种因素影响以致于造成二者的结果差异, 可从生理机制、测试任务等方面展开相关研究。运动干预周期可能是影响认知能力提升的重要因素, 可探讨长期运动干预中长周期与短周期对执行功能的影响作用差异。多数研究中提及中等与高等强度运动对认知能力的提升效果存在不一致性, 虽高等强度运动的实操性较难, 亦可尝试对比中等及高等强度运动分别对认知能力产生的影响差异。

8 参考文献

- [1]杨红.不同运动项目训练对初一学生执行功能影响的实验研究[D].南京师范大学,2017.
- [2]徐国根,舒能贵,徐本力,等.学龄前儿童全脑型体育教育的实验研究[J].哈尔滨体育学院学报,2006,29(1):231-233.
- [3]董进霞,钟秉枢,布鲁斯·维科斯科,等.大脑可塑性和儿童认知能力研究进展对我国学校体育改革的启示[J].体育与科学,2014(6):5.
- [4]杨国庆."十四五"我国竞技体育发展的时代背景与创新路径[J].武汉体育学院学报,2021,55(1):8.
- [5]邓建伟,曹莉.高强度间歇训练与儿童青少年健康促进的研究进展[J].中国体育科技,2019,55(6):21-34.
- [6]刘建秀,方雯,王帝之等.高强度间歇训练促进儿童青少年健康:现状·机制·可行性[J].体育科学,2019,39(8):61-72.
- [7]谢香道,付正君,苗风藻,徐本力.球类训练对开发儿童运动和智力潜能的实验[J].体育与科学,2002,23(03):60-62.
- [8]文萍,李红.6-11 岁儿童执行功能发展研究[J].心理学探新,2007,27(03):38-43.
- [9]孙小伟,唐征宇.体育锻炼对认知和情绪的影响综述[J].吉林体育学院学报,2009,25(05):89-91.
- [10]姒刚彦.当代锻炼心理学研究[J].体育科学,2000,(01):62-66.
- [11]陈帼眉.幼儿心理学[M].北京:北京师范大学出版社,1999:19.
- [12]邵志芳.认知心理学:理论、实验和应用[M].上海:上海教育出版社,2006.
- [13]张振馨.认知功能障碍研究进展[J].中华内科杂志,2005,44(8):25-27.
- [14]朱智贤.心理学大词典[M].北京:北京师范大学出版社,1989.981-983.
- [15]朱骏,章建成,金亚虹等.体育运动中选择性注意的国外研究现状[J].上海体育学院学报,2000,24(4):46-50.
- [16]彭聃龄,张必隐.认知心理学[M].浙江教育出版社,2004.12:105.
- [17]徐鹏,张家健,赵冰.选择性注意的神经机制和眼动注意模型的研究综述[J].重庆理工大学学报(自然科学),2015,29(11):112-119.
- [18]戴安银.太极拳干预对选择性注意力和持续性注意力的影响研究[D].北京体育

大学,2019.

- [19]杜玫,詹丽峰.心理学[M]湖北科学技术出版社,2013.08.58-62.
- [20]白炳良.注意稳定测量仪[J].漳州师范学院学报:自然科学版,1999,12(04):39-41.
- [21]王晓芬,姚家新."WT-注意力测试软件"的研究与应用[J].体育科学,2001,021(001):69-72.
- [22]刘成刚,兰公瑞,刘希平等.儿童注意力检测单片机的研制及动态分析指标的试用[J].心理科学,2007(04):929-933.
- [23]陈惠芳,程华山.4—14 岁儿童注意广度发展的实验研究[J].心理科学,1989(1):3.
- [24]李永瑞.注意能力测评方法的初步研究[J].应用心理学,2001(03):24-28.
- [25]王称丽.中小学生学习注意力发展及培养研究[D].上海师范大学.2011,13.
- [26]陈国鹏,刘申.<<中小学生学习注意力测验>>全国常模制定报告[J].心理科学,1998,021(005):401-403.
- [27]凌光明.小学低年级学业不良儿童的有意注意稳定性研究[D].苏州大学,2001.
- [28]殷恒婵.青少年注意力测验与评价指标的研究[J].中国体育科技,2003,39(3):51-53.
- [29]殷恒婵,张锋周,宋湘勤,等.优秀运动员注意力测量与评价研究[J].体育科学,2006(03):60-65+71.
- [30]周晓林.执行控制:一个具有广阔理论前途和应用前景的研究领域[J].心理科学进展,2004,12(5):641-642.
- [31]张文静,徐芬.3-5 岁幼儿执行功能的发展[J].《应用心理学》,2005.
- [32]陈天勇,李德明.执行功能可分离性及与年龄关系的潜变量分析[J].心理学报,2005(02):210-217.
- [33]吴慧中,王明怡.抑制控制内部结构间的关联-基于认知神经学的视角[J].中国临床心理学杂志,2015,23(06):991-5.
- [34]罗炯,欧阳一毅.健身运动对工作记忆的影响研究评述[J].山东体育学院学报,2018,34(6):8.
- [35]解超.不同运动强度对儿童青少年工作记忆影响的 Meta 分析[J].中国学校卫生,2020,41(03):42-46+50.
- [36]林华,贺业恒,徐瑞.心率变异性在大众健身领域的研究进展与展望[J].体育科学,2016,36(6):55-60.
- [37]主译王正珍.ACSM 运动测试与运动处方指南(第十版)[M].北京体育大学出版社,2019,6.美国运动医学学会:140.
- [38]中国儿童青少年身体活动指南制作工作组.中国儿童青少年身体活动指南[J].中国循证儿科杂志,2017,12(6):401.
- [39]武海潭,黄沙海,谢晨.对青少年儿童不同运动负荷组合方式的指导建议——基于"体力活动—健康效益"的关系审视[J].山东体育学院学报,2018,34(3):7.
- [40]苏坚贞,季浏.基于中国健康体育课程模式的"运动密度"概念探析[J].首都体育学院学报,2019,31(5):11.
- [41]张庭然,罗炯.健身运动对儿童认知功能的影响及其作用机制研究进展[J].中国全科医学,2018,21(12):6.
- [42]王晓芬,姚家新."WT-注意力测试软件"的研究与应用[J].体育科学,2001,021(001):69-72.
- [43]侯东风.长春市中小学生学习品质特点的研究[D].东北师范大学.2006.05:14.
- [44]姚本先.心理学[M].北京:高等教育出版社,2005:47.

- [45]王晶,陈英和,仲宁宁.小学儿童执行功能各成分的发展特点[J].中国临床心理学杂志,2009,17(4):403-404.
- [46]陈爱国,朱丽娜,王鑫,等.短时中等强度有氧运动对儿童脑的可塑性影响:来自脑功能局部一致性的证据[J].体育科学,2015,35(8):24.
- [47]刘琳琳,王惠玲,王熹生,等.伦敦塔任务下精神分裂症执行功能与精神症状的关系[J].武汉大学学报(医学版),2012(01):71-74.
- [48]张育恺,周成林,陈爱国等.慢性锻炼与认知功能关系的回顾与展望——国际历史发展的视角[J].体育科学,2017,37(5):12.
- [49]刘阳,杨宁.定向运动练习对 ADHD 儿童认知能力影响的实验研究[J].中国特殊教育,2018(11):39-44.
- [50]陈玉民.太极拳锻炼对注意力缺少多动障碍倾向儿童的影响[J].成都体育学院学报,2016,42(5):29-32.
- [51]吴广宏.足球与乒乓球锻炼对小学生的注意广度影响的实验研究[J].北京体育大学学报,2005,12.
- [52]吴广宏,徐培,梁斌.足球与乒乓球锻炼对小学生注意特征的影响[J].中国体育科技,2007,43(002):106-109.
- [53]孔久春.不同锻炼方式对儿童注意力稳定性影响的实验研究[D].北京体育大学,2008.06.
- [54]吴广宏.足球与乒乓球锻炼对少儿注意持续性的影响[J].中国心理卫生杂志,2006,(20)11:741.
- [55]赵梅玲.两种训练干预方案对学龄前儿童体质与不同认知任务的影响[J].北京体育大学学报,2020,43(5):9.
- [56]殷恒婵,李鑫楠,陈爱国,宋湘勤,杜吟,潘家礼,王畅.5 种运动干预方案对小学生脑执行功能影响的试验研究[J].天津体育学院学报,2015,30(01):7-10.
- [57]颜军,王源,陈爱国,马冬静.短时中等强度不同类型运动对小学生执行功能的影响[J].体育与科学,2014,35(06):94-100.
- [58]陈爱国,赵莉,李焕玉,颜军,殷恒婵.不同强度短时篮球运球训练对小学生执行功能的影响[J].天津体育学院学报,2014,29(04):352-355.
- [59]殷恒婵等.两种运动干预方案对小学生执行功能影响的追踪研究[J].体育科学,2014,34(3):24-28.
- [60]刘丽丽.8 周花样跳绳运动对小学生执行功能影响的实践研究[D].扬州大学,2016.
- [61]许洁,盖笑松.体感游戏促进儿童执行功能:运动强度和认知参与的作用[C]//第二十二届全国心理学学术会议摘要集.2019.
- [62]江大雷,曾从周.8 周中等强度足球运动游戏对学龄前儿童执行功能发展的影响[J].中国体育科技,2015(2):43-50.
- [63]戴朝.足球锻炼及停练对 10-11 岁儿童执行功能的影响[J].成都体育学院学报,2020,46(05):109-113.
- [64]王泽军,季浏,褚昕宇.运动对认知能力的影响及其神经生物学机制[J].中国运动医学杂志,2011,30(11):1039-40.
- [65]傅建,范亚荣.不同时间中等强度体育锻炼对初中生执行功能和学业成绩影响的实验研究[J].体育与科学,2016(6):110-116.
- [66]蔡春先,张运亮,朱艳彤,等.间歇运动干预对儿童执行功能的影响及其延迟效益研究[J].首都体育学院学报,2021,33(5):8.

- [67]路毅,邓文冲.不同运动方式对大脑结构及认知功能的调节作用及差异[J].中国组织工程研究,2021,v.25;No.949(20):142-148.
- [68]沈德立,阴国恩.中国青少年注意发展与教育[M],中国卓越出版社 1990 年版.
- [69]解超,金成吉,张白云,等.中等强度有氧运动对我国学龄儿童执行功能影响的 Meta 分析[J].中国学校卫生,2017,38(1):65-68.
- [70]房国梁,张漓,韩天雨,等.高强度间歇训练对老年人认知功能的影响[J].中国体育科技,2020,56(11):6.
- [71]张圳.恰恰舞教学对 8-10 岁儿童执行功能的影响研究.广州体育学院[D].2021,06.
- [72]李龙凯.12 周不同频次体育游戏对学龄前儿童执行功能的影响研究[D].上海体育学院.2021.
- [73]杨晓辉.儿童执行功能发展及促进[M].陕西:陕西师范大学出版总社,2017:184.
- [74]陈爱国,殷恒婵.运动、儿童执行功能与脑的可塑性[M].北京:北京体育大学出版社,2011:120-124.
- [75]王京京,张海峰.高强度间歇训练运动处方健身效果研究进展[J].中国运动医学杂志,2013,32(3):246.
- [76]唐浩轩.急性高强度间歇训练与中等强度持续训练对情绪体验与执行功能的影响[D].武汉体育学院,2019.
- [77]张连成,王肖,高淑青.身体活动的认知效益:量效关系研究及其启示[J].体育学刊,2020,27(1):66.
- [78]陈爱国,陈丽萍,颜军.8 周足球运动改善留守儿童执行功能的实验研究[J].山东体育学院学报,2017,33(1):85-89.
- [79]孟小续.12 周中高强度跳绳运动对学龄前儿童执行功能的影响[D].上海体育学院.2021.06.
- [80]朱瑜,许罡,万芹等.适应体育运动干预对孤独症谱系障碍儿童视觉工作记忆的影响.中国体育科技,2017,53(3):55-60.
- [81]于爽.运动性疲劳所致学习记忆能力改变的证候特点及基于 PKA-CREB 信号通路的机制研究[D].北京:北京中医药大学,2010.
- [82]王静梅,张义宾,郑晨烨等.3-6 岁儿童执行功能子成分发展的研究[J].心理发展与教育,2019,35(1):10.
- [83]李莎.运动类型与强度对老年人注意选择功能的影响[D].上海体育学院,2020,05.
- [84]Diamond A.Executive Functions[J].annual review of psychology,2013, 64(64): 135-168.
- [85]Organization W H .Global recommendations on physical activity for health [M].Geneva:WHO,2010:7-10.
- [86]Khan N A,Hillman C H .The relation of childhood physical activity and aerobic fitness to brain function and cognition:a review[J].Pediatric Exercise Science,2014,26(2):138-146.
- [87]Green M F,Horan W P,Lee J.Nonsocial and social cognition in schizophrenia:current evidence and future directions[J].World Psychiatry, 2019,18,146-161.
- [88]Fiocco A J,Yaffe K.Defining successful aging:the importance of including cognitive function over time.[J].Arch Neurol,2010, 67(7):876-880.
- [89]Colcombe S,Kramer A F.Fitness effects on the cognitive function of older a

- dults:a meta-analytic study[J].Psychological Science,2003,14(2):125-130.
- [90]James B W.The principles of psychology[J].American Journal of Psychology, 1950,2 vols(4):761.
- [91]Fan J,Mc Candliss B D,Sommer T,et al.Testing the efficiency and independence of attentional networks[J].J Cogn Neurosci,2002,14(3):340-347.
- [92]Brickenkamp R,Zillmer E.The d2 Test of Attention.Seattle (WA): Hog-refe and Huber;1998.
- [93]Treisman A M ,Gelade G.A feature-integration theory of attention.[J]. Cognitive Psychology,1980,12(1):97-136.
- [94]ALTENBURG T M,CHINAPAW M J,SINGH A S.Effects of one versus two bouts of moderate intensity physical activity on selective attention during a school morning in Dutch primary schoolchildren: A randomized controlled trial [J].J Sci Med Sport,2016,19(10):820-824.
- [95]Funahashi S.Neuronal mechanisms of executive control by the prefrontal cortex[J].Neurosci Res,2001,39(2):147-165.
- [96]Hillman C H,Snook E M,Jerome G J.Acute cardiovascular exercise and executive control function[J].International Journal of Psychophysiology,2003,48(3):0-314.
- [97]Smith,E.E.Storage and Executive Processes in the Frontal Lobes[J].Science,1999,283(5408):1657-1661.
- [98]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.
- [99]ANNE C,ETIENNE K.Reasoning,learning,and creativity:frontal lobe function and human decision-making[J].Plos Biology,2012,10(3):1.
- [100]Baddeley A D.Working memory.Oxford:Oxford University Press,1986.
- [101]Zimmer H D,Speiser H R,Seidler B.Spatio-temporal working-memory and short-term object-location tasks use different memory mechanisms. Acta Psychologica,2003,114:41-65.
- [102]VERBRUGGEN F,NOTEBAERT W,LIEFOOGHE B,et al.Stimulus and response- conflict-induced cognitive control in the flanker task[J].Psychon Bull Rev,2006,13(2):328-333.
- [103]Eriksen B A,Eriksen C W.Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task[J].Percept Psychophys.1974,1(1):143-149.
- [104]ADLEMAN N E,MENON V,BLASEY C M,et al.A developmental fMRI study of the Stroop color-word task[J].Neuro-image,2002,16(1):61-75.
- [105]BOKURA H,YAMAGUCHI S,KOBAYASHI S.Electrophysiological correlates for response inhibition in a Go/No Go task[J].Clin Neurophysiol,2001,112(12):2224-2232.
- [106]Carlson S.M,Moses L.J,Breton C.How specific is the relation between executive function and theory of mind?Contributions of inhibitory control and working memory[J].Infant and Child Development,2002,11(2):73-92.
- [107]Watter S,Geffen G M,Geffen L B.The n-back as a dual-task: P300 morphology under divided attention.[J].Psychophysiology,2001,38(6).

- [108]Owen,A.M.,Mc Millan,K.M.,Laird,A.R.,&Bullmore,E.N-back working memory paradigm: A meta-analysis of normative functional neuroimaging studies[J].Human Brain Mapping,2005(25):46-59.
- [109]Redick T S,Lindsey D .Complex span and n-back measures of working memory:A meta-analysis[J].Psychonomic Bulletin & Review,2013,20(6):1102-1113.
- [110]Corsi P M.Human memory and the medial temporal region of the brain. Doctoral Dissertation Mc Gill University,1972.
- [111]Sun Changhua,Wu Zhenyun,Wu Zhiping,et al.Age differences in the level of categorical generalization of adults and their relations with memory[J](in Chinese).Psychological Science,1996,19(3):129-133.
- [112]Janssen P.Lactate threshold training[J].Human Kinetics,2001.
- [113]Gelbart M,Ziv-Baran T,Williams C A,et al.Prediction of Maximal Heart Rate in Children and Adolescents[J].Clinical Journal of Sport Medicine Official Journal of the Canadian Academy of Sport Medicine,2016, 27(2):139.
- [114]Myer G D,Faigenbaum A D,Edwards N M,et al.Sixty minutes of what? A developing brain perspective for activating children with an integrative exercise approach[J].British Journal of Sports Medicine,2015,49(23):1510-1516.
- [115]Gathercole S E,Brown L , Pickering S J.Working memory assessments at school entry as longitudinal predictors of National Curriculum attainment levels [J].Educational and Child Psychology,2003,20(3):109-122.
- [116]Klenberg L,Korkman M,Lahti-Nuuttila P.Differential development of attention and executive functions in 3-to 12-year-old Finnish children[J].Developmental Neuropsychology,2001,20(1):407-428.
- [117]Brocki K C,Bohlin G.Executive functions in children age 6-13:A dimensional and developmental study[J].Developmental Neuropsychology,2004,26(2):571-593.
- [118]Kray J,Eber J,Lindenberger U.Age differences in executive functioning across the lifespan:The role of verbalization in task preparation[J].Acta Psychologica,2004,115(2-3):143-165.
- [119]Best J R.Effects of Physical Activity on Children's Executive Function: Contributions of Experimental Research on Aerobic Exercise.[J]. Developmental Review,2010,30(4):331-351.
- [120]Schoemaker K,Bunte T,Wiebe S A,et al.Executive function deficits in preschool children with ADHD and DBD[J].Journal of Child Psychology and Psychiatry,2012,53(2):111-119.
- [121]Donnelly J E,Greenlee J L,Gibson C A,et al.Physical Activity Across the Curriculum(PAAC):A randomized controlled trial to promote physical activity and diminish overweight and obesity in elementary school children[J].Preventive Medicine,2009,49(4):336-341.
- [122]Takehara K,Ganchimeg T,Kikuchi A,et al.The effectiveness of exercise intervention for academic achievement,cognitive function,and physical health among children in Mongolia:a cluster RCT study protocol[J].BMC Public Health,1944,19.
- [123]Reigal R E,Moral-Campillo L,Rocío Juárez-Ruiz de Mier,et al.Physical Fitness Level Is Related to Attention and Concentration in Adolescents[J].Frontiers

- in Psychology,2020,11.
- [124]Graf C,Koch B,Klippel S,et al.Correlation between physical activities and concentration in children-Results of the CHILT project[J].Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin,2003,54(9):242-246.
- [125]Tine M T,Butler A G.Acute aerobic exercise impacts selective attention:an exceptional boost in lower-income children[J].Educational Psychology,2012,32(7):821-834.
- [126]Tine,Michele.Acute aerobic exercise:an intervention for the selective visual attention and reading comprehension of low-income adolescents[J].Frontiers in Psychology,2014,5:575-.
- [127]Kulinna P H,Stylianou M,Dyson B,et al.The Effect of an Authentic Acute Physical Education Session of Dance on Elementary Students' Selective Attention[J].BioMed Research International,2018,(2018-2-5),2018,2018:1-8.
- [128]Janssen M,Chinapaw MJM,Rauh SP,et al.A short physical activity break from cognitive tasks increases selective attention in primary school children aged 10-11[J].Ment Health Phys Act,2014,7(3):129-134.
- [129]Gallotta M C,Emerenziani G P,Franciosi E,et al.Acute physical activity and delayed attention in primary school students[J].Scand J Med Sci Sports,2015,25(3):e331-e338.
- [130]Claudia,Niemann,Mirko,et al.Influence of acute and chronic physical activity on cognitive performance and saliva testosterone in preadolescent school children[J].Mental Health and Physical Activity, 2013,6(3):197-204.
- [131]Samuel R D,Zavdy O,Levav M,et al.The Effects of Maximal Intensity Exercise on Cognitive Performance in Children[J].Journal of Human Kinetics,2017,57(1):85-96.
- [132]Laura C H,Erickson K I,Voss M W,et al.The effects of physical activity on functional MRI activation associated with cognitive control in children:a randomized controlled intervention[J].Frontiers in Human Neuroscience,2013,7:72-72.
- [133]Alesi M,Bianco A,Luppina G,et al.Improving Children's Coordinative Skills and Executive Functions: The Effects of a Football Exercise Program[J].Perceptual & Motor Skills,2016,122(1):27.
- [134]Telles S,Singh N,Bhardwaj A K,et al.Effect of yoga or physical exercise on physical,cognitive and emotional measures in children:a randomized controlled trial[J].Chinese Medicine,7,1(2013-11-07),2013,7(1):37-37.
- [135]Chaya M S,Nagendra H,Selvam S,et al.Effect of Yoga on Cognitive Abilities In Schoolchildren from a Socioeconomically Disadvantaged Background:A Randomized Controlled Study[J].Journal of Alternative & Complementary Medicine,2012,18(12):1161-7.
- [136]Adsiz E,Dorak F,Ozsaker M,et al.The influence of physical activity on attention in Turkish children[J].Healthmed,2012,6(4):1384-1389.
- [137]Chen W,Harris H.Impact Of Coordinated-bilateral Physical Activities On Attention And Concentration In School-aged Children:2833 Board #116 June 12[J].Medicine & Science in Sports & Exercise,2018,50(5S):696.
- [138]Chen J.The Impacts of Coordinated-Bilateral Ball Skills Intervention on At

- tention and Concentration, and Cardiorespiratory Fitness among Fourth-Grade Students[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2021, 18.
- [139] Ma J K, Le Mare L, Gurd B J. Four minutes of in-class high-intensity interval activity improves selective attention in 9-to 11-year olds[J]. *Applied Physiology Nutrition & Metabolism*, 2015, 40(3): 238-244.
- [140] Schmidt M, Benzing V, Wallman-Jones A, et al. Embodied learning in the classroom: Effects on primary school children's attention and foreign language vocabulary learning[J]. *Psychology of Sport and Exercise*, 2019, 43: 45-54.
- [141] Andrew, N, Wilson, et al. The impact of 10-minute activity breaks outside the classroom on male students' on-task behaviour and sustained attention: a randomised crossover design[J]. *Acta Paediatrica*, 2016, 105(4): e181-e188.
- [142] Tottori N, Morita N, Ueta K, Fujita S. Effects of High Intensity Interval Training on Executive Function in Children Aged 8-12 Years. *Int J Environ Res Public Health*. 2019; 16(21): 4127. Published 2019 Oct 26.
- [143] Martínez-Vizcaíno V, Álvarez-Bueno C, Cervero-Redondo I, et al. MOVI-daFIT! Intervention: Rationale and design of a cluster randomized controlled trial testing the effects on improving adiposity, cognition, and subclinical atherosclerosis by increasing cardiorespiratory fitness in children. *Medicine (Baltimore)*. 2019; 98(9): e14737.
- [144] Lambrick D, Stoner L, Grigg R, Faulkner J. Effects of continuous and intermittent exercise on executive function in children aged 8-10 years. *Psychophysiology*. 2016; 53(9): 1335-1342.
- [145] Taubert M, Pleger B. The effect of physical activity on functional MRI activation associated with cognitive control in children: a randomized controlled intervention[J]. 2013, 12(7): 12-18.
- [146] KAMIJO K, PONTIFEX M B, OLEARY K C, et al. The effects of an after-school physical activity program on working memory in preadolescent children [J]. *Developmental Science*, 2011, 14(5): 1046-58.
- [147] Catherine L. Davis, Tomporowski. Exercise Improves Executive Function and Achievement and Alters Brain Activation in Overweight Children: A Randomized, Controlled Trial[J]. *Health Psychology*, 2011, 30: 191-98.
- [148] Hsieh S S, Lin C C, Chang Y K, et al. Effects of Childhood Gymnastics Program on Spatial Working Memory[J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2017, 49(12): 2537-2547.
- [149] Pang T Y C, Hannan A J. Enhancement of cognitive function in models of brain disease through environmental enrichment and physical activity[J]. *Neuropharmacology*, 2013, 64(Complete): 515-528.
- [150] CHANG Y K, TSAI Y J, CHEN T T, et al. The impacts of coordinative exercise on executive function in kindergarten children: an ERP study[J]. *Exp Brain Res*, 2013, 225(2): 187-196.
- [151] Davis C L, Tomporowski P D, Boyle C A, et al. Effects of Aerobic Exercise on Overweight Children's Cognitive Functioning: A Randomized Controlled Trial [J]. *Research Quarterly For Exercise & Sport*, 2007, 78(5): 510-519.

- [152]Nobuaki Tottori,Noriteru Morita,et al.Efffects of High Intensity Interval Training on Executive Function in Children Aged 8-12 Years[J]. Cns Drugs,24(9):755-768.
- [153]Tuckman BW,Hinkle JS.An experimental study of the physical and psychological effects of aerobic exercise on schoolchildren[J].Health Psychology.1986,5:197.
- [154]Moreau D,Kirk I J,Waldie K E.High-intensity training enhances executive function in children in a randomized,placebo-controlled trial[J].eLife Sciences,2017,6:e25062.
- [155]Konijnenberg C,Fredriksen PM.The effects of a school-based physical activity intervention programme on children's executive control: The Health Oriented Pedagogical Project (HOPP).Scand J Public Health. 2018;46(21_suppl):82-91.
- [156]de Greeff JW,Bosker RJ,Oosterlaan J,Visscher C,Hartman E.Effects of physical activity on executive functions,attention and academic performance in preadolescent children:a meta-analysis.J Sci Med Sport. 2018;21(5):501-507.
- [157]EGAN C D,VERHEUL M H G,SAVELSBERGH G J P.Effects of experience on the coordination of internally and externally timed soccer kicks[J].J Motor Behavior,2007,39(5):423-432.
- [158]FURLEY P,MEMMERT D.The role of working memory in sports[J].Int Rev Sport Exerc Psychol,2010,3(2):171-194.
- [159]Tomprowski P D,Mccullick B,Pendleton D M,et al.Exercise and children's cognition:The role of exercise characteristics and a place For meta cognition [J].Journal of Sport & Health Science,2015,4(1):47-55.
- [160]MOREAU D,CONWAY A R A. Cognitive enhancement:a comparative review of computerized and athletic training programs[J].International Review of Sport and Exercise Psychology,2013,6(1):155-183.
- [161]Center on the Developing Child at Harvard University. Building theBrain's“Air Traffic Control”System:How Early Experiences Shape the Development of Executive Function:Working Paper No.11[R].2011.
- [162]Pesce C.Shifting the focus from quantitative to qualitative exercise characteristics in exercise and cognition research [J].J Sport Exerc Psychol,2012,34(6):766.
- [163]Manion V,Alexander JM.The benefits of peer collaboration on strategy use, metacognitive causal attribution, and recall[J].J Exp Child Psycho, 1997,67(2):268-289.
- [164]Buckley S,Macdonald J,Laws G.The effects of a short training in the use of a rehearsal strategy on memory for words and pictures in children with Down syndrome[J].1996,4(2):70-78.
- [165]Schmidt M,Jäger K,Egger F,et al.Cognitively Engaging Chronic Physical Activity, But Not Aerobic Exercise, Affects Executive Functions in Primary School Children:A Group-Randomized Controlled Trial[J]. Journal of Sport & Exercise Psychology,2015,37(6):575.
- [166]Lambrick D,Stoner L,Grigg R,et al.Effects of continuous and intermittent exercise on executive function in children aged 8-10 years[J].Psychophysiology,2

016,53(9):13-35.

[167]Costigan S A,Eather N,Plotnikoff R C,et al.High-intensity interval training for improving health-related fitness in adolescents:a systematic review and meta-analysis[J].Br J Sports Med,2015;1253-1261.

[168]CAREY J R,BHATT E,NAGPAL A.Neuroplasticity promoted by task complexity[J].Exerc Sport Sci Rev,2005,33(1):24-31.

[169]Verburgh,Knigs,Scherder,et al.Physical exercise and executive functions in preadolescent children,adolescents and young adults:A meta-analysis[J].British journal of sports medicine,2014,48(12):973-979.

[170]Douris,P.,Douris,C.,Balder,N.,LaCasse,M.,Rand,A.,Tarapore,F.,Zhuchkan,A.,Hadrakis,J.Martial art training and cognitive performance in middle-aged adults.J. Hum.Kinet.2015,47,277.

[171]WINTER B,BREITENSTEIN C,MOOREN F C,et al.High impact running improves learning[J].Neurobiology of learning and memory,2007,87(4): 597-609.

[172]Harveson,A.T.;Hannon,J.C.;Brusseau,T.A.;Podlog,L.;Papadopoulos, C.;Durrant, L.H.;Hall,M.S.;Kang,K.-d.Acute effects of 30 minutes resistance and aerobic exercise on cognition in a high school sample.Res. Q.Exerc.Sport 2016,87,214-220.

[173]DIAMOND A.Close interrelation of motor development and cognitive development and of the cerebellum and prefrontal cortex[J].Child Development,2000,71(1):44-56.

[174]Barkley J E, Epstein L H,Roemmich J N.Reinforcing value of interval and continuous physical activity in children[J].Physiology & Behavior,2009,98(1-2): 31-36.

[175]Budde H,Niemann C,Wegner M,et al.Effects of Motor versus Cardiovascular Exercise Training on Children's Working Memory[J]. Medicine and exercise in sports and exercise,2016,48(6):1144-1152.

[176]Hillman C H,Pontifex M B,Castelli D M,et al.Effects of the FITKids Randomized Controlled Trial on Executive Control and Brain Function[J]. Pediatrics,2014,134(4):1063-71.

[177]Audiffren M,N André.The strength model of self-control revisited: Linking acute and chronic effects of exercise on executive functions[J]. Journal of Sport and Health Science,2015,4(1):30-46.

[178]Kamijo K,Nishihira MY,Hatta A,Takeshi K,Toshiaki W,&Tetsuo K.Differential influences of exercise intensity on information processing in the central nervous system.[J].European Journal of Applied Physiology,2004,92:305-311.

[179]YANAGISAWA H,Dan I,TSUZUKI D,et al.Acute moderate exercise elicits increased dorsolateral prefrontal activation and improves cognitive performance with Stroop test[J].Neuro Image,2010,50(4).

[180]KASHIHARA K,MARUYAMA T,MUROTA M,et al.Positive effects of acute and moderate physical exercise on cognitive function[J].Journal of Physiological Anthropology,2009,28(4):155-164.

[181]DENVER M Y,STEVEN R B.Acute effects of continuous and high-intensity interval exercise on executive function[J].Journal of Applied Biobehavioral Research,2018,23(3):1.

- [182]KEMPPAINEN J,AALTO S,FUJIMOTO T,et al.High intensity exercise decreases global brain glucose uptake in humans[J]. *Journal of Physiology* (Oxford),2005,568(1):323.
- [183]Gomez-Pinilla, F.,& Hillman, C. H.(2013).The influence of exercise on cognitive abilities.*Comparative Physiology*,1,403–428.
- [184]Kao S C,Westfall D R,Soneson J,et al.Comparison of the acute effects of high-intensity interval training and continuous aerobic walking on inhibitory control[J]. *Psychophysiology*,2017,54(9):1335-1345.
- [185]CHEN C C J J,RINGENBACH S D R.Dose-response relationship between intensity of exercise and cognitive performance in individuals with down syndrome:a preliminary study[J].*Journal of Intellectual Disability Research*,2016,60(6):606.
- [186]DIETRICH A.Functional neuroanatomy of altered states of consciousness:the transient hypofrontality hypothesis[J].*Consciousness and Cognition*,2003,12(2):231.
- [187]TYLER J M,BURNS K C.After depletion:the replenishment of the self's regulatory resources[J].*Self and Identity*,2008,7(3):305.
- [188]CHANG Y K,LABBAN J D,GAPIN J I,et al.The effects of acute exercise on cognitive performance:a meta-analysis[J].*Brain Research*,2012(1453):87.
- [189]Davidson M C ,D Amso, Anderson L C,et al.Development of cognitive control and executive functions from 4 to 13 years:evidence from manipulations of memory,inhibition,and task switching[J].*Neuropsychologia*,2006,44(11):2037-2078.
- [190]HAYATO T,TADASHI S,SAKI T,et al.Greater impact of acute high-intensity interval exercise on post-exercise executive function compared to moderate-intensity continuous exercise[J].*Physiology and Behavior*,2016(155):224.
- [191]Miller J R B P H.A developmental perspective on executive function[J].*Child Development*,2010,81(6):1641-1660.
- [192]Gentili,R.J.,Shewokis,P.A.,Ayaz,H.,&Contreras-Vidal,J.L.(2013). Functional near-infrared spectroscopy-based correlates of prefrontal cortical dynamics during a cognitive-motor executive adaptation task. *Frontiers in Human Neuroscience*,7, 277.
- [193]Buck S M,Hillman C H,Castelli D M.The Relation of Aerobic Fitness to Stroop Task Performance in Preadolescent Children[J].*Medicine & Science in Sports & Exercise*,2008,40(1):166-172.
- [194]Chaddock L,Erickson KI,Prakash RS,et al.A functional MRI investigation of the association between aerobic fitness and neurocognitive control[J].*Biol Psychol*,2012,89(1):260-268.
- [195]ISHIHARA T,MIZUNO M.Effects of tennis play on executive function in 6-11-year-old children:a 12-month longitudinal study[J].*Eur J Sport Sci*,2018,18(5):741-752.
- [196]Brush C J,Olson R L,Ehmann P J,et al.Dose-Response and Time Course Effects of Acute Resistance Exercise on Executive Function[J].*J Sport Exerc Psychol*,2016:396-408.
- [197]John,R,Best,et al.Executive functions after age 5:Changes and correlates[J].

- Developmental Review,2009,29(3):180-200.
- [198]Klingberg T,Forssberg H ,Westerberg H.Training of Working Memory in Children With ADHD[J].Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology,2002,24(6):781-791.
- [199]Crone E,Wendelken C,Donohue S,et al.Neurocognitive development of the ability to manipulate information in working memory[J].Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,2006,103(24):9315-9320.
- [200]Davidson M C,D Amso,Anderson L C,et al.Development of cognitive control and executive functions from 4 to 13 years: evidence from manipulations of memory,inhibition,and task switching.[J]. Neuropsychologia,2006,44(11):2037-2078.
- [201]Conklin H M ,Luciana M ,Hooper C J,et al.Working memory performance in typically developing children and adolescents: behavioral evidence of protracted frontal lobe development[J].Developmental Neuropsychology, 2007,31(1):103-128.
- [202]Budde H,Voelcker-Rehage C,Pietrassky-Kendziorra S,et al.Steroid hormones in the saliva of adolescents after different exercise intensities and their influence on working memory in a school setting[J].Psychoneuroendocrinology,2010,35(3):382-391.
- [203]Thorell LB,Lindqvist S,Bergman S,et al.Training and transfer effects of executive functions in preschool children.Developmental Science,2008, 11(6):969-976.
- [204]Niet A G V D ,Smith J,Scherder E J A,et al.Associations between daily physical activity and executive functioning in primary school-aged children[J].Journal of Science & Medicine in Sport,2015,18(6):1-5.
- [205]Mirko,Schmidt,Katja,et al.Cognitively Engaging Chronic Physical Activity, But Not Aerobic Exercise, Affects Executive Functions in Primary School Children:A Group-Randomized Controlled Trial[J].Journal of sport & exercise psychology,2015.
- [206]Marianna A,Antonino B,Johnny P,et al.Motor and cognitive growth following a Football Training Program[J].Frontiers in Psychology,2015, 6:1627-.
- [207]Stratton,G.,Reilly,T.,Richardson,D.,&Williams,A.M.(2004).Youth soccer:From science to performance.London:Routledge.
- [208]Vera V D B,Saliasi E,De Groot R H M,et al.Improving Cognitive Performance of 9-12 Years Old Children:Just Dance?A Randomized Controlled Trial[J].Frontiers in Psychology,2019,10.
- [209]O'Brien J,Ottoboni G,Tessari A,et al.One bout of open skill exercise improves cross-modal perception and immediate memory in healthy older adults who habitually exercise[J].Plos One,2017,12(6):e0178739.
- [210]Posner M I,Petersen S E.The attention system of the human brain[J].Annu Rev Neurosci,1990,13(1):25-42.
- [211]Wang C H,Tsai C L,Tseng P,et al.The association of physical activity to neural adaptability during visuo-spatial processing in healthy elderly adults:A multiscale entropy analysis[J].Brain and Cognition,2014,92:73-83.

致谢

2016 年从云南走到上海至今，于上体完成本科至硕士近六载的求学问道，回首过往学生生涯已过数春将于 2022 年终。学习、训练、社会历练循环往复，多姿多彩中透着五味杂陈，都值得我细细回味……至此刻终将挥手告别，只想说：一路走来若不是身边人相助，恐已不能成就如今的自己，故特向其表此谢意！

感谢母校的本科录取通知书将我带到这一线大都市给予我塑造自己的可能。良好的外在环境促使我不到六点就在老图门口排队为了有“专属”位置学习，晨起练习专项自如在球场挥洒汗水以提升运动技能，母校领域内的专家及老师引领我学习理论知识与科学研究方法，初入校园迷惘时霍老师说“坚持做对的事”，这句话始终指引我的行事方向，鞠老师说“学习教学方法转变自己的能力”，点点滴滴，无以言表，感谢母校和老师们给予我的一切，使我习得学识更获得处世之道！

相逢即是缘分，向我硕士研究生阶段的导师陈超老师致以最诚挚的感谢。还未入学时您就指点学生科研，那时与您的每一次交流都是战战兢兢，不知做其为何意，直至研学过半时才理解老师的良苦用心，为培养学生科研能力之不易。您钻研入微，以此指导学生测试、运动干预、论文撰写；您舍小家顾大家，不辞辛苦于凌晨给学生的文章反馈修稿；您的慧眼始终为学生答疑解惑，哪怕小小文字空格均耐心教导，是您教会了我做一个细致严谨的人。您教导学生塑造于心且要塑造其形，一次次早操都能使我容光焕发。当老师告知将去国家队备战时，千思万绪涌上心头，眼眶不舍泪水在打转，只觉日后少有机会再见老师，殊不知师生之情已如此深厚，何其有幸能成为您的学生，再次感谢毕生的恩师！

身旁皆是贵人，由衷感谢王德新教授愿纳我入研究生大家庭，牵线搭桥遇上恩师，您教会学生不仅知书更要达理，永远记得您说的“会议必须早到 7 分 25 秒”！感谢同门兄弟姐妹对我科研的指导及生活的关照，积累的是经验受益的是终身。感谢上体心理学院的老师及同学对论文测试上给予的帮助。感谢我一身正气的闺中密友普婷，虽相隔千里但你一直是那个最舒我心的人，感谢相识相遇相知的朋友让我有机会见贤思齐。

一次次家校间的往返我实感求学不易，记得父亲曾说“还年轻就要多走多看”，若不是父母的支持我怎能跨越大半个中国来看这万千世界，您尽己能为我提供优质条件解决我学业的后顾之忧，再次感谢咽苦吐甘之恩女儿无以回报。

亘今一切难忘的经历都深深印在心底，我感到使人成长的既是岁月，更是经历。信念、信心、舍得、努力、坚强、成长……这几个似乎连不成串的词儿，逐渐使我看清了来时的路，也懂得了未来要到哪去。

生命如此精彩，怎可辜负这大好时光，奋斗就是幸福，一切皆在路上。

附录

附录 1：部分测试、训练图片



附录 2: 测试任务指导语

(1) 注意选择

实验马上开始, 请将左手食指放在键盘“f”键上, 右手食指放在键盘“j”键上, 随后屏幕上将出现的一张图片, 蓝色蝴蝶出现在左边, 请按“f”键, 蓝色蝴蝶出现在右边, 请按“j”键, 准备好后, 请按“s”键开始实验。

(2) 注意广度

实验马上开始, 请将右手放置在键盘上, 实验开始, 会出现 4-12 数目不等的圆点, 请你根据看到的圆点数目按键, 4 个圆点就按数字 F4, 5 个圆点就按数字 F5, 以此类推, 准备好后, 请按 s 键开始。

(3) 抑制控制

实验马上开始, 请将左手食指放在键盘“f”键上, 右手食指放在键盘“j”键上, 随后屏幕上将出现的两张图片, 中间鱼头朝左, 请按“f”键, 中间鱼头朝右, 请按“j”键, 准备好后, 请按“s”键开始实验。

(4) 空间工作记忆

欢迎来到我的实验, 请将左手食指放于 f 键, 右手食指放于 j 键, 如果后两个白格属于前四个白格, 请按 f, 不包括请按 j。或者, 后一个白格与前一个白格相同, 请按 f, 不同请按 j, 明白后, 请按 s 键开始。

(5) 语言工作记忆

下面我将读出一些数字, 请您仔细听, 并在我读完后立即按逆序复述。例如, 当我说“7,3”时, 请您重复“3,7”。那么, 如果我说“7,4”, 您应该回答.....? (示意被试回答) 在测验中数字串会变得越来越大, 没有问题的话我们开始。

(6) 认知灵活性

按提示特征, 相同→左手食指按 f 键, 不同→右手食指按 j 键, 按 s 键开始。