

有氧锻炼对执行控制和脑功能的影响*

蒋长好¹ 陈婷婷²

(¹北京市“运动机能评定和技术分析”重点实验室, 首都体育学院, 北京 100191)

(²北京市“学习与认知”重点实验室, 首都师范大学心理系, 北京 100048)

摘要 有氧锻炼不仅能提高身体健康, 也能改善脑的执行控制功能。有氧锻炼有助于降低执行控制功能老化, 提高老人的认知抑制和冲突控制能力; 有氧锻炼也有益于儿童的执行控制功能的发展, 有氧锻炼更多或有氧体能更好的儿童有更好的执行控制能力。进一步的研究需要考察运动和其他生活因素如饮食干预、神经生长以及社会互动等因素对执行控制的交互作用, 同时控制强度、频率和持续时间等变量对执行控制的影响, 以达到更好的锻炼效果。

关键词 有氧锻炼; 有氧体能; 执行控制; 脑功能

分类号 B849

执行控制是一种高级认知功能, 它是指大脑在完成复杂的认知任务时, 协调各种资源, 控制系统完成特定目标所需要的各种加工(Perner, & Lang, 1999)。执行控制主要包括注意和抑制、计划、任务管理和监督等过程(Smith, & Jonides, 1999)。通过上述过程, 大脑使注意保持长时间集中, 抑制不恰当行为, 终止不需要的行动, 保证新任务的执行及实现任务之间的快速转换, 同时监督行为和改正错误(Rabbitt, 1997)。

执行控制在人们日常生活和工作中扮演着重要角色, 执行控制功能障碍会导致认知、情绪和社会功能等方面的异常。执行控制与运动也有着密切的关联, 一些类型的运动会提高执行控制功能、降低执行功能老化; 而运动疲劳也会导致执行控制功能下降, 进而影响运动表现。执行控制是当前认知神经科学的研究热点, 在运动科学研究领域也日益得到重视。

纵观运动心理学文献, 与运动相关的术语主要有以下几类。一是身体活动(physical activity), 是指通过骨骼肌肉产生的、伴随着能量消耗的人类身体运动。身体活动主要包括职业劳动、交通中的身体活动, 闲暇时间的身体活动及家务劳动4个方面(World Health Organization, 2002); 二是锻炼, 是指为了维持和提高体能而有计划并重复进行的身体活动。锻炼通常又分为有氧锻炼(aerobic exercise)、阻力锻炼(resistance exercise)以及身心锻炼(mind-body exercise)等(Chodzko-Zajko et al., 2009; VanBeveren & Avers, 2012)。有氧锻炼是指使用身体的大肌肉群, 长时间持续做有节奏的一种运动模式; 阻力锻炼是一种肌肉对抗阻力的运动模式, 也是一种力量锻炼; 身心锻炼是指在进行身体活动的同时伴随着集中注意力、控制呼吸, 以此来提高身体的力量、平衡、柔韧性, 促进身体的健康, 它包括太极拳、瑜伽、气功等(Hillman, Erickson, & Kramer, 2008; Chang, Nien, Tsai, & Etnier, 2010), 一些研究者也将身心锻炼划归于有氧锻炼之列。根据参与时间, 有氧锻炼可分为长期锻炼(chronic exercise)和一次性或急性锻炼(acute exercise)。此外, 长期的有氧锻炼会提高有氧体能(aerobic fitness), 有氧体能是指心肺系统消耗和使用氧气的最大能力(Hillman et al., 2008)。不同锻炼形式, 对于执行功能的影响结果

收稿日期: 2012-11-21

* 教育部人文社科项目(11YJA190008); 北京市教育科学规划重点项目(AGA09096); 北京市科技面上项目(SQKM201210029003); 北京市科技平台项目(PXM2013_014206_000058); 认知神经科学与学习国家重点实验室开放课题基金。

通讯作者: 陈婷婷, E-mail: ctt1226@163.com

不尽相同, 本文主要讨论有氧锻炼对执行功能的影响。

1 有氧锻炼有助于降低执行控制功能老化

老化会导致中老年人认知功能的降低, 一些特殊的认知功能如抑制、更新和时间分配等执行控制功能是与年龄相关的认知衰退的潜在标志, 而锻炼有助于降低年龄相关的执行控制功能老化。Colcombe 和 Kramer (2003) 曾对长期锻炼影响老年人认知的 18 个研究做了元分析, 发现长期锻炼对执行控制任务影响最明显, 其效果量为 0.68, 而控制任务的效果量为 0.46, 空间任务的效果量为 0.42, 速度任务的效果量为 0.27。这一研究提示, 长期锻炼对老年人的认知功能有积极的影响, 而且这一影响具有选择性, 其中对执行控制功能的影响最大。

后续的干预研究进一步证实了有氧锻炼对执行控制功能的影响。Smiley-Oyen, Lowry, Francois, Kohut 和 Ekkekakis (2008) 以 57 名 65~79 岁的老年人为被试, 将他们随机分配到有氧锻炼组和阻力及柔韧锻炼组中, 进行了 10 个月的锻炼干预研究。结果发现, 对于那些不涉及执行功能的一般认知任务, 两组的成绩没有显著差异, 但在涉及执行功能的冲突控制任务(stroop 词语—颜色冲突任务)中, 有氧锻炼组的成绩显著高于阻力与柔韧锻炼组; 另有研究发现, 6 个月高强度的有氧锻炼可以提高中度认知损伤的老年女性的执行功能(Baker et al., 2010)。

已有的研究也发现, 有氧锻炼的参与和控制认知发展的神经电活动的改变相关联。如 Themanson, Hillman 和 Curtin (2006) 采用事件相关电位(event-related Potentials, ERP)技术比较了不同有氧锻炼参与水平老人的执行控制功能, 研究根据有氧锻炼参与水平将 53 名老人分为高有氧锻炼参与组和低有氧锻炼参与组, 并以年轻人为控制组, 研究者采用任务切换范式(该范式要求被试在不同的任务之间切换), 记录两种任务随机切换条件下被试的脑电活动特征, 并分析了被试的行为指标。研究发现, 有氧锻炼更多的老人整体转换的代价相对更小, 额区 P3 波幅更大, 有氧锻炼更多的年轻人顶区 P3 波幅更大; 另有研究者按锻炼参与水平将老年人细分为高、中、低有氧

锻炼组, 比较了 3 组被试的 flanker 任务(该任务要求被试抑制无关干扰)成绩, flanker 任务向被试呈现 5 个一排箭头, 其中中央箭头为靶刺激, 两侧的箭头为分心刺激, 要求被试在一排分心刺激中识别中央箭头的朝向。在其中 50% 的试次中, 分心刺激的箭头方向和靶刺激的箭头方向一致, 这些试次属于一致的试次; 在另外 50% 的试次中, 分心刺激的箭头方向和靶刺激的箭头方向不一致, 这些试次属于不一致的试次。为了做出正确的反应, 被试需要抑制两侧分心刺激的干扰。研究发现 P3 潜伏期随有氧锻炼参与水平增加而降低(Hillman, Belopolsky, Snook, Kramer, & McAuley, 2004)。鉴于 P3 涉及刺激加工和记忆更新等认知操作, P3 波幅增强反映注意资源分配扩大。上述结果提示, 有氧锻炼参与更多有益于老人的某些执行控制过程。这些执行控制过程与刺激编码过程中注意资源分配更多和认知加工更快相关联。

关于有氧运动对老年人的执行功能影响机制, 一些研究者还结合脑成像技术做了分析。如 Colcombe 等人采用功能磁共振(functional magnetic resonance imaging, fMRI)技术, 对有氧锻炼和阻力及柔韧锻炼引发的功能激活模式变化作了比较。研究者设计了一项以 6 个月为周期、旨在提高有氧体能的干预项目, 研究以阻力及柔韧锻炼的老人为控制组, 对两组被试随机指派干预方式, 要求被试完成 flanker 任务。6 个月后的检测发现, 对于不一致的试次(被试需要选择加工靶刺激, 忽视不一致的分心刺激), 有氧锻炼组任务成绩提高, 而阻力及柔韧锻炼组任务成绩没有提高。有氧锻炼组的上顶皮层和额中回(分别负责空间注意的集中和工作记忆中任务目标的维持)的激活增加, 阻力及柔韧锻炼组的前扣带回(帮助解决反应冲突)的激活增加。研究者认为, 有氧锻炼组被试的前额叶对其它脑区的控制更为有效(Colcombe et al., 2004); 另有研究发现, 有氧锻炼对老年人脑的功能整合起着积极的作用, 改善有氧体能的长期有氧锻炼对执行控制任务特别有益(Corbetta, 1998); 此外还有研究发现, 3 个月的有氧体能训练和被试海马齿状回的脑血流量增加相关联。研究者认为, 海马齿状回的脑血流量增加可看作人类神经生长的标志, 脑血流量增加与语言学习、记忆和心血管功能的改善相关联(Pereira et al., 2007)。

2 有氧锻炼有益于促进儿童的执行控制功能

关于儿童的研究发现,长期有氧锻炼能促进执行控制功能。如一些研究者采用随机控制实验方法考察有氧锻炼干预对于身体超重儿童认知功能的影响。研究者将94位平均9岁的身体超重儿童随机分配至高有氧锻炼组、低有氧锻炼组或控制组中,高低有氧锻炼组均参与为期15周、每周5天的有氧锻炼,其中高有氧锻炼组每天锻炼40分钟,低有氧锻炼组每天锻炼20分钟,控制组不参加锻炼干预。认知测验涉及执行控制任务和非执行控制任务。研究结果表明,与20分钟的低有氧锻炼组和控制组相比,高有氧锻炼组的锻炼干预对于执行控制任务表现有着显著的积极影响,然而对于非执行控制任务表现的影响较小。这一结果证明了有氧锻炼更加有益于儿童的执行控制功能(Davis et al., 2007)。

对高低有氧体能儿童的比较研究也发现锻炼对执行控制功能的促进作用。有研究者以74名7~12岁的儿童为被试,采用包含有氧能力、肌肉体能以及身体成分3个项目的测验成绩将参与实验的儿童分为高、低有氧体能组,以Stroop任务表现考察儿童有氧体能和执行控制功能的关系。研究结果表明,较之于低有氧体能儿童,高有氧体能的儿童在3种不同认知要求的Stroop作业任务中表现更好,提示高有氧体能与儿童在不同认知功能需求任务中如选择性注意、反应抑制、干扰抑制和反应速度等更好的表现相关联,间接支持了有氧锻炼促进儿童抑制功能的观点(Buck, Hillman, & Castelli, 2008);另有研究者将9-10岁儿童分为高低有氧体能组,采用编码再认任务考察有氧体能对儿童的工作记忆影响。研究发现,在有联系编码条件下,低有氧体能组儿童较之于高有氧体能组的再认成绩更差。这一结果提示,儿童有氧体能是影响相关记忆材料有效编码和检索执行控制加工的一个重要因素(Chaddock, Hillman, Buck, & Cohen, 2011);还有研究者根据有氧能力测试成绩,将48名平均年龄为10.1岁儿童分为高有氧体能组和低有氧体能组,采用修订的flanker任务考察被试的执行功能。结果发现,与一致条件相比,在不一致条件下,两组被试的反应时间更长,反应的变异性更大,反应的正确

率降低,但是高有氧体能儿童,反应时间有更少的变异性,反应正确率更高。这一结果提示,在认知控制要求变化的任务中,儿童的高有氧体能更高与任务表现更好相关联(Wu et al., 2011)。

ERP的研究也发现类似的结果, Hillman, Buck, Themanson, Pontifex 和 Castelli (2009)采用ERP技术研究发现,儿童的高有氧体能与不同信息加工阶段的大脑执行控制功能有着正相关。研究者以38位平均年龄9.4岁的儿童为实验对象,将参与实验的儿童分为高、低有氧体能两组,采用flanker任务考察有氧体能和执行控制功能以及事件关联电位上差异的关系。研究发现,高有氧体能儿童除了有较高的正确率之外,在高、低执行控制功能需求的情境下,其ERP的P3波幅、错误正电位(error positivity, Pe)波幅更大、错误关联负波(error-related negativity, ERN)的波幅下降。提示高有氧体能的儿童在刺激编码阶段会有效募集更多的注意资源,而在反应选择阶段能降低干扰以获得更好的认知表现。其它研究也有类似的发现,如一项研究采用任务切换范式发现,身体活动越多的年轻人顶区P3波幅更大(Hillman, Kramer, Belopolsky, & Smith, 2006)。由于P3涉及刺激加工和记忆更新等认知操作,P3波幅增强反映注意资源分配扩大,这一结果提示有氧体能高的被试有更好的执行控制。

一些核磁共振研究也发现儿童的高有氧体能和执行功能的关联。如一项研究采用fMRI技术考察了高低有氧体能儿童在flanker任务前后block差异,对于一致条件,在早期block,由于任务不熟悉,所有被试均表现出额区和顶区的募集(recruitment)增加,在晚期block激活下降;前后block之间反应的精确性在组内无差异。在不一致条件下,只有高有氧体能的儿童在前后block均保持高的反应精确性,额区和顶区的募集增加,在晚期block激活下降,而低有氧体能的儿童在前后block间精确性下降,脑区激活没有变化。研究者认为,在认知控制条件下,需要满足和维持任务目标,高有氧体能儿童的脑区激活和适应性神经加工更好(Chaddock et al., 2012);已有研究还发现,儿童的高有氧体能和执行控制及基底神经节特定区域容量的差异相关。研究者将55名平均年龄为10岁的儿童分为高低有氧体能组,采用flanker任务考察两组被试抑制控制能力差异,同

时比较两组被试与有氧体能相关的基底神经节容量差异。研究结果表明, 低有氧体能的儿童腹侧纹状体的容量更小, 同时抑制控制能力更低。研究同时还发现, 有氧体能、抑制控制能力和基底神经节的输出区苍白球的容量正相关, 而有氧体能、认知任务表现和较少涉及认知控制的背侧纹状体的容量无关。研究者认为, flanker 任务表现中的有氧体能差异可能和基底神经节的特定区域容量有关, 其中腹侧纹状体是和认知控制、动作整合及反应消退相关的重要结构, 对儿童的身体活动行为特别敏感(Chaddock et al., 2010)。

Chaddock 等人进一步采用 fMRI 技术对高低有氧体能儿童的认知控制做了追踪研究, 研究者让儿童在第一次有氧体能测试后和一年后分别完成修订的 flanker 任务。研究发现, 与低有氧体能儿童相比, 高有氧体能儿童在两次 flanker 测试过程中反应精确性均更高, 同时在不同认知控制需求的任务条件下, 灵活分配策略均更好, 此外在后测中, 高有氧体能儿童的反应速度也更快。MRI 的结构像发现, 背侧纹状体的双侧核壳及苍白球的容量预测着基线和一年后的 flanker 任务表现。这一结果提示, 认知控制与基底神经节容量相关, 基线检测时儿童的高有氧体能和基底神经节容量在未来的认知表现中扮演着重要角色(Chaddock et al., 2012)。

总之, 上述研究表明, 有氧锻炼和控制功能发展的脑区结构和功能改变相关联, 锻炼更多或有氧体能更好有益于控制功能的发展。

3 小结

综合的研究表明, 有氧锻炼参与更多或有氧体能更好的人, 其认知抑制和冲突控制能力更强, 而且有氧身体活动有助于降低执行控制功能老化。尽管当前关于有氧锻炼对执行控制及其脑机制的研究取得上述众多有价值的成果, 但仍有诸多问题有待解决。未来的研究需要重点考察以下几方面的问题。

3.1 急性有氧锻炼对执行控制的影响

当前急性有氧锻炼对执行控制影响的研究结果存在较大的分歧。一些研究发现, 急性锻炼同样能够促进执行控制(Hillman, Pontifex, et al., 2009; 陈爱国, 殷恒婵, 王君, 鑫楠, 宋争, 2011; Scudder, Drollette, Pontifex, & Hillman, 2012)。例

如 Hillman 等人(Hillman, Pontifex, et al., 2009)以 20 名平均年龄为 9.5 岁的儿童为被试, 要求所有儿童在不同的时间内分别完成 20 分钟的中等强度有氧锻炼任务或静坐, 研究者以 flanker 任务考察急性锻炼和认知控制功能以及 ERP 差异的关系。研究发现, 与静坐条件相比, 急性有氧锻炼后, 儿童的反应精确性更好、ERP 的 P3 波幅更大, 并且在不一致条件下的效应更大。这一结果提示, 锻炼后儿童可能在需要更多认知控制的情境下募集更多的注意资源(表现为更大的 P3 波幅), 认知控制的提高导致任务表现更好; 陈爱国、殷恒婵、颜军和杨钰(2011)选取 30 名大学生, 使用功率自行车实施 30 分钟的不同强度有氧运动, 并采用 flanker 任务、2-back 任务和数字 More-oddshifting 任务, 分别测查被试基线、小强度短时有氧运动、中强度短时有氧运动和大强度短时有氧运动后执行功能的抑制、刷新和转换 3 个子功能的变化。结果发现, 不同强度的短时有氧锻炼对执行功能产生选择性的积极影响。

但是也有研究发现急性有氧锻炼不能促进执行控制。有研究者让 3 名 13~14 岁的儿童做 20 分钟的有氧功率车锻炼或静坐休息, 研究者以 flanker 和 Go/No-go 任务的表现考察急性锻炼和执行控制功能以及 ERP 差异的关系, 研究发现, P3 波幅不受被试有氧体能和急性有氧锻炼的影响, 提示没有发现锻炼效应(Stroth et al., 2009)。上述的研究未能达成一致, 与研究的方法学因素诸如选取的被试年龄组、任务加工的特征和有氧锻炼的强度、持续时间等的不同有关。以强度为例, Córdova, Silva, Moraes, Simões 和 Nóbrega (2009)比较了不同强度的急性有氧运动对老年人执行功能的影响。研究者以 48 名平均年龄 63.8 岁的老年人作为被试, 将他们随机分派至控制组或 60%、90%及 110%无氧阈值(anaerobic threshold, AT)的锻炼组别。研究采用 3 种不同的执行功能测验, 分别为测量认知弹性(考察个体调节自身行为的能力)的路径描绘测验、测量前额叶功能性障碍的语言流畅性测验, 以及测量计划与组织策略的河内塔测验。执行功能的施测时间分别为有氧健身运动干预之前与干预后即刻。结果发现, 90%AT 组在所有执行功能测验上都显著优于控制组, 然而 60%AT 组与控制组在所有测验上并无显著差异。此外, 110%AT 组也仅在口语流畅测验上有显著优

于控制组的发现。由于90%AT大约等于50%最大摄氧量,相当于中等强度,该研究提示,中等强度的有氧锻炼更有助于促进老人的执行功能。

因此,未来关于急性有氧锻炼对执行控制影响的研究应进一步控制相关变量如有氧锻炼的强度、持续时间、测量时间点等,并综合考虑被试的年龄特征、执行控制的任务特征等因素,以利于得出更为确切的研究结论。

3.2 长期有氧锻炼对执行控制影响的效应评估

尽管长期有氧锻炼促进执行控制的研究结果相当充分,但不同的研究中,长期有氧锻炼对执行控制影响的效应也不一致。例如,Colcombe和Kramer(2003)对出版于1966~2001年的18个随机控制任务的研究做了元分析,这些研究的被试为55~81岁老人;Angevaren, Aufdemkampe, Verhaar, Aleman和Vanhees(2008)将2005年收集的11个随机控制任务的研究做了元分析,这些研究的被试为55岁以上的正常老人。对两个元分析比较发现,Colcombe等人研究发现中等效应,效果量为0.68,Angevaren等人的研究发现为弱的正效应,效果量为0.23,两者差异可能有一下几个原因:一是被试的不同。Colcombe等人的研究中包含认知障碍老人,而Angevaren等人的研究中仅包含健康老人;二是两个元分析选取标准不同。标准不同导致仅有5个研究均出现在两项研究中,两者样本不同导致效果量差异;三是界定执行控制的方法存在差异。Angevaren等人的研究基于现存的神经心理学方法中关于执行控制测量;Colcombe等人的测量则包含可退化量表、序列学习和远距离记忆。鉴于执行控制结构的复杂性,仅有少量文献采用多种执行控制功能测量,没有研究作广泛评估,建议今后的研究中采用多种测量评估广泛的执行控制功能,分析有氧锻炼对不同执行功能的子成分如计划、任务管理、行为发动和停止以及语义信息加工等之间的影响,通过对特定的认知成分作具体推断,降低任务效应的混杂性。总之,进一步的研究不仅要考察有氧锻炼对认知功能的影响,更重要的是确立有氧锻炼与多种不同的执行功能的对应关系,拓展对具体任务效应的理解。

3.3 有氧锻炼和其他影响因素的整合及干预措施的优化

已有研究表明,有氧锻炼和其他影响因素如

社会互动、饮食干预及神经生长等对执行控制及脑健康会产生交互影响(Pesce, Crova, Cereatti, Casella, & Bellucci, 2009; Brown et al., 2003)。如Pesce等人(2009)以52名11~12岁的儿童为被试,锻炼条件为40分钟的有氧锻炼或团体游戏,在两种锻炼任务中,锻炼时间和强度保持一致,控制条件不做锻炼。要求被试分别完成自由回忆任务,这一任务要求记20个词并分别在记忆后100秒和720秒之后尽可能多地写下来,100秒后的回忆任务称为立即回忆任务、720秒后的回忆任务称为延迟回忆任务。研究发现,与控制条件相比,有氧锻炼或团体游戏后被试的延迟回忆任务表现更好,团体游戏立即回忆任务表现更好,这一结果提示,一次性锻炼有助于儿童的记忆加工,而且可能在有认知加工和社会互动条件下效果更好。另有研究者通过对学习和脑的神经营养因素调查,考察了有氧锻炼和饮食干预的交互影响,发现有氧锻炼可以逆转高脂肪饮食对脑的神经营养和学习的不良影响(Molteni et al., 2004)。尽管上述研究结果令人振奋,然而总体而言,这方面的研究还刚刚开始,同时缺乏整合的研究。其次,如何设计优化执行控制和脑健康的锻炼干预措施。比如什么时候开始锻炼最好?如何设计锻炼的变量如强度、频率和持续时间等,使之达到最优化的效果?开始一个锻炼计划的最佳时机是什么?这些问题未来都需要进一步的关注。

参考文献

- 陈爱国, 殷恒婵, 王君, 鑫楠, 宋争. (2011). 短时中等强度有氧运动改善儿童执行功能的磁共振成像研究. *体育科学*, 31(10), 35-40.
- 陈爱国, 殷恒婵, 颜军, 杨钰. (2011). 不同强度短时有氧运动对执行功能的影响. *心理学报*, 43(9), 1055-1062.
- Angevaren, M., Aufdemkampe, G., Verhaar, H. J. J., Aleman, A., & Vanhees, L. (2008). Physical activity and enhanced fitness to improve cognitive function in older people without known cognitive impairment. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (2), CD005381.
- Baker, L. D., Frank, L. L., Foster-Schubert, K., Green, P. S., Wilkinson, C. W., McTiernan, A., & Craft, S. (2010). Effects of aerobic exercise on mild cognitive impairment: A controlled trial. *Archives of Neurology*, 67(1), 71-79.
- Brown, J., Cooper-Kuhn, C. M., Kempermann, G., van Praag, H., Winkler, J., Gage, F. H., & Kuhn, G. (2003). Enriched environment and physical activity stimulate hippocampal but not olfactory bulb neurogenesis. *European Journal of*

- Neuroscience*, 17(10), 2042–2046.
- Buck, S. M., Hillman, C. H., & Castelli, D. M. (2008). The relation of aerobic fitness to stroop task performance in preadolescent children. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40(1), 166–172.
- Chaddock, L., Erickson, K. I., Prakash, R. S., VanPatter, M., Voss, M. W., Pontifex, M. B., & Kramer, A. F. (2010). Basal ganglia volume is associated with aerobic fitness in preadolescent children. *Developmental Neuroscience*, 32(3), 249–256.
- Chaddock, L., Erickson, K. I., Prakash, R. S., Voss, M. W., VanPatter, M., Pontifex, M. B., & Kramer, A. F. (2012). A functional MRI investigation of the association between childhood aerobic fitness and neurocognitive control. *Biological Psychology*, 89(1), 260–268.
- Chaddock, L., Hillman, C. H., Buck, S. M., & Cohen, N. J. (2011). Aerobic fitness and executive control of relational memory in preadolescent children. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(2), 344–349.
- Chaddock, L., Hillman, C. H., Pontifex, M. B., Johnson, C. R., Raine, L. B., & Kramer, A. F. (2012). Childhood aerobic fitness predicts cognitive performance one year later. *Journal of Sports Sciences*, 30(5), 421–430.
- Chang, Y. K., Nien, Y. H., Tsai, C. L., & Etnier, J. L. (2010). Physical activity and cognition in older adults: The potential of Tai Chi Chuan. *Journal of Aging and Physical Activity*, 18(4), 451–472.
- Chodzko-Zajko, W. J., Proctor, D. N., Fiatarone, S. M. A., Minson, C. T., Nigg, C. R., Salem, G. J., & Skinner, J. S. (2009). Exercise and physical activity for older adults. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(7), 1510–1530.
- Colcombe, S., & Kramer, A. F. (2003). Fitness effects on the cognitive function of older adults: A meta-analytic study. *Psychological Science*, 14(2), 125–130.
- Colcombe, S. J., Kramer, A. F., Erickson, K. I., Scalf, P., McAuley, E., Cohen, N. J., & Elavsky, S. (2004). Cardiovascular fitness, cortical plasticity, and aging. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(9), 3316–3321.
- Corbetta, M. (1998). Frontoparietal cortical networks for directing attention and the eye to visual locations: Identical, independent, or overlapping neural systems? *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 95(3), 831–838.
- Córdova, C., Silva, V. C., Moraes, C. F., Simões, H. G., & Nóbrega, O. T. (2009). Acute exercise performed close to the anaerobic threshold improves cognitive performance in elderly females. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 42(5), 458–464.
- Davis, C. L., Tomporowski, P. D., Boyle, C. A., Waller, J. L., Miller, P. H., Naglieri, J. A., & Gregoski, M. (2007). Effects of aerobic exercise on overweight children's cognitive functioning: A randomized controlled trial. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 78(5), 510–519.
- Hillman, C. H., Belopolsky, A. V., Snook, E. M., Kramer, A. F., & McAuley, E. (2004). Physical activity and executive control: Implications for increased cognitive health during older adulthood. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 75(2), 176–185.
- Hillman, C. H., Buck, S. M., Themanson, J. R., Pontifex, M. B., & Castelli, D. M. (2009). Aerobic fitness and cognitive development: Event-related brain potential and task performance indices of executive control in preadolescent children. *Developmental Psychology*, 45(1), 114–129.
- Hillman, C. H., Erickson, K. I., & Kramer, A. F. (2008). Be smart, exercise your heart: Exercise effects on brain and cognition. *Nature reviews Neuroscience*, 9(1), 58–65.
- Hillman, C. H., Kramer, A. F., Belopolsky, A. V., & Smith, D. P. (2006). A cross-sectional examination of age and physical activity on performance and event-related brain potentials in a task switching paradigm. *International Journal of Psychophysiology*, 59(1), 30–39.
- Hillman, C. H., Pontifex, M. B., Raine, L. B., Castelli, D. M., Hall, E. E., & Kramer, A. F. (2009). The effect of acute treadmill walking on cognitive control and academic achievement in preadolescent children. *Neuroscience*, 159(3), 1044–1054.
- Molteni, R., Wu, A., Vaynman, S., Ying, Z., Barnard, R. J., & Gómez-Pinilla, F. (2004). Exercise reverses the harmful effects of consumption of a high-fat diet on synaptic and behavioral plasticity associated to the action of brain-derived neurotrophic factor. *Neuroscience*, 123(2), 429–440.
- Pereira, A. C., Huddleston, D. E., Brickman, A. M., Sosunov, A. A., Hen, R., McKhann, G. M., & Small, S. A. (2007). An *in vivo* correlate of exercise-induced neurogenesis in the adult dentate gyrus. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(13), 5638–5643.
- Perner, J., & Lang, B. (1999). Development of theory of mind and executive control. *Trends in Cognitive Sciences*, 3(9), 337–344.
- Pesce, C., Crova, C., Cereatti, L., Casella, R., & Bellucci, M. (2009). Physical activity and mental performance in preadolescents: Effects of acute exercise on free-recall memory. *Mental Health and Physical Activity*, 2(1), 16–22.
- Rabbitt, P. (1997). Introduction: Methodologies and models

- in the study of executive function. In P. Rabbitt (Ed.), *Methodology of frontal and executive function* (pp. 1–38). UK: Psychology Press.
- Scudder, M. R., Drollette, E. S., Pontifex, M. B., & Hillman, C. H. (2012). Neuroelectric indices of goal maintenance following a single bout of physical activity. *Biological Psychology*, 89(2), 528–531.
- Smiley-Oyen, A. L., Lowry, K. A., Francois, S. J., Kohut, M. L., & Ekkekakis, P. (2008). Exercise, fitness, and neurocognitive function in older adults: The "selective improvement" and "cardiovascular fitness" hypotheses. *Annals of Behavioral Medicine*, 36(3), 280–291.
- Smith, E. E., & Jonides, J. (1999). Storage and executive processes in the frontal lobes. *Science*, 283(5408), 1657–1661.
- Stroth, S., Kubesch, S., Dieterle, K., Ruchow, M., Heim, R., & Kiefer, M. (2009). Physical fitness, but not acute exercise modulates event-related potential indices for executive control in healthy adolescents. *Brain Research*, 1269, 114–124.
- Themanson, J. R., Hillman, C. H., & Curtin, J. J. (2006). Age and physical activity influences on action monitoring during task switching. *Neurobiology of Aging*, 27(9), 1335–1345.
- VanBeveren, P. J., & Avers, D. (2012). Exercise and physical activity for older adults. In A. A. Guccione, R. A. Wong, & D. Avers (Eds.), *Geriatric Physical Therapy* (3rd ed., pp. 64–85). Saint Louis: Mosby.
- World Health Organization. (2002). *The World Health Report 2002*. Geneva: World Health Organization.
- Wu, C. T., Pontifex, M. B., Raine, L. B., Chaddock, L., Voss, M. W., Kramer, A. F., & Hillman, C. H. (2011). Aerobic fitness and response variability in preadolescent children performing a cognitive control task. *Neuropsychology*, 25(3), 333–341.

Effects of Aerobic Exercise on Executive Control and Brain Function

JIANG Changhao¹; CHEN Tingting²

(¹ Beijing Key Lab of Physical Fitness Evaluation and Tech Analysis, Capital University of Physical Education and Sports, Beijing 100191, China)

(² Beijing Key Lab of Learning and Cognition, Department of Psychology, Capital Normal University, Beijing 100048, China)

Abstract: Aerobic exercise might not only improve physical health, but might also improve executive control and brain function. A growing body of research has detailed the beneficial relation of aerobic exercise and neurocognition. Here, we review the relevant findings on the influence of aerobic exercise on executive function. Overall, the extant literature suggests that aerobic exercise might influence the aging of brain function, serving to delay typical age-related declines in executive control. Similar to adults, aerobic exercise might facilitates children's executive function, leading to enhanced scholastic performance and greater overall effective functioning. Aerobic fitness level even might predict executive function over time. Given the problems occurred in this field, we critically concluded with a discussion of the gap in the literature and suggestions for future research.

Key words: aerobic exercise; aerobic fitness; executive control; brain function