

身体活动的认知效益：量效关系研究及其启示

张连成，王肖，高淑青

(天津体育学院 竞技运动心理与生理调控重点实验室，天津 301617)

摘 要：身体活动已成为延缓老年人认知老化、提高青少年认知功能、改善学生学习等的重要因素，然而基于特定认知效益的锻炼处方设计仍需探索。研究分别从单次身体活动和长期身体活动角度探讨身体活动强度、身体活动时间、身体活动频率、身体活动总量、身体活动类型与认知效益之间的量效关系。在此基础上，提出未来研究应该重点考虑身体活动 4 个要素的整体设计、考虑不同身体活动项目的认知效益、考察不同人群身体活动的认知效益、考察身体活动认知效益量效关系的机制等，进而为制定促进认知效益的身体活动方案提供循证依据。

关 键 词：运动心理学；身体活动；认知效益；认知功能；锻炼强度；锻炼时间；锻炼频率；锻炼类型

中图分类号：G80-32 文献标志码：A 文章编号：1006-7116(2020)01-0066-10

Cognition benefits of physical activities: Dose-effect relationship research and its inspirations

ZHANG Lian-cheng, WANG Xiao, GAO Shu-qing

(Key Laboratory of Competitive Sport Psychological and Physiological Regulation, Tianjin University of Sport, Tianjin 301617, China)

Abstract: Physical activity has become an important factor for delaying cognition aging of the elderly, improving cognition functions of teenagers, and improving student learning, etc, however, exercise prescription design based on specific cognition benefits still needs to be explored. The authors probed into the dose-effect relationships between physical activity intensity, physical activity time, physical activity frequency, total physical activity volume, physical activity type and cognition benefit from the perspectives of one-time physical activity and long-term physical activity respectively. On such a basis, the authors put forward that future research should focus on considering the overall design of 4 physical activity elements, considering the cognition benefits of different physical activity events, examining the cognition benefits of physical activities of different groups of people, examining the mechanism of dose-effect relationships of the cognition benefits of physical activities, and then provide evidence-based criteria for making cognition benefit promoting physical activity plans.

Key words: sports psychology; physical activity; cognition benefit; cognition function; exercise intensity; exercise time; exercise frequency; exercise type

随着运动是良医理念逐渐深入人心，人们越来越意识到身体活动对身心健康的重要价值。进行身体活动时应该遵循一定的科学规律，否则不但达不到锻炼者期望的健康效应，还可能会适得其反，例如锻炼受伤、锻炼无用、锻炼退出等。遵循科学原则进行锻炼

的一项重要议题便是剂量效应的依据。

剂量效应(dose-effect relationship)本是医学名词，又称量效关系。它是指在一定范围内药物的剂量(或浓度)增加或减少时，药物的效应随之增强或减弱^[1]。剂量效应是确定临床用药剂量的基础。之后，剂量效应

收稿日期：2019-07-03

基金项目：国家社会科学基金项目(17BTY118)。

作者简介：张连成(1981-)，男，副教授，博士，研究方向：运动心理学。E-mail: zlc-hhht@163.com

被引入体育领域研究身体活动的健康效应,用以确定最佳的锻炼或活动量,回答“何种锻炼类型和运动负荷对哪些特定人群产生特定效果”问题^[2]。

任何药物都必须达到一定剂量时才能发挥效应,开始发挥效应的剂量叫“最低有效剂量”。随着剂量的增加,药物效应随之增强,达到一定程度后药物效应不再增强,称为“最大效应”。若继续增加剂量,治疗效应将转变为毒理效应^[3]。在体育领域中也有类似现象,锻炼的健康效应呈倒U型变化,开始时,随着锻炼剂量的增加,由锻炼带来的身心效益也不断增加,达到身心效益的最高点(即最佳锻炼量时)后锻炼的身心效益反而会随着锻炼剂量的增加而减小,“锻炼过度”“锻炼受伤”就好比药理学中的“毒理效应”。因此,在单次和长期锻炼研究中,普遍关注由体育锻炼的“定量”参数引起的健康效果差异。这种对定量参数的关注促使研究人员考察身体活动与健康结果之间的剂量-反应关系,从而得出运动处方指南^[4]。

身体活动已成为延缓老年人认知老化、提高青少年认知功能、改善学生学习等的重要因素^[5-7]。但是从剂量效应角度看,仍需进行更多研究确定最佳运动强度、持续时间和频率^[8]。换句话说,也就是具体回答“何种锻炼和量”对认知的特定效益问题。本文将对身体活动与认知效益之间的量效关系研究进行梳理,进而为运动实践提供更加明确的指导建议,为制定运动处方和评估运动处方效果提供科学依据。

1 身体活动强度与认知效益的量效关系

1.1 单次身体活动强度与认知效益的量效关系

1) 单次身体活动强度对认知影响的剂量效应。

锻炼具有即刻认知效应,单次身体活动就可以产生一定的认知效益。那么单次身体活动与认知效益的剂量效应关系如何呢?Chang等^[9]发现阻力运动强度与认知表现之间确实存在剂量-反应关系,运动强度对信息加工速度有显著线性影响,即越高强度阻力运动越有利于信息加工速度的提升,而阻力运动强度对执行功能的影响曲线是倒U型,即中等强度运动对执行功能最有益。Chang等^[10]探讨单次阻力运动强度与计划之间的剂量-反应关系。结果显示,在伦敦塔任务(Tower of London, TOL)正确率和移动分数上,运动强度表现出曲线趋势,其中中等强度表现出与其他条件相比最佳的性能。Arent等^[11]发现运动强度对信息处理速度的影响是线性的,运动强度对执行功能的影响呈倒U关系。因此,高强度运动可能有利于加工的速度,但中等强度的运动对于执行功能来说是最有益的。

但也有一些研究并未发现单次运动强度与认知功

能之间存在倒U型关系。例如,陈爱国等^[12]发现,小强度短时有氧运动能改善刷新和转换功能,而大、中强度的短时有氧运动则能提高执行功能的3个子功能。Chen等^[13]探讨唐氏综合症者运动强度与认知表现的剂量效应关系。结果发现,中等强度和高强度运动都有利于执行功能中的抑制控制。但是,在高强度运动中,信息加工表现受损(选择反应速度变慢),而在中等强度运动中信息加工速度得到提高。McMorris等^[14]通过元分析发现单次中等强度运动对工作记忆任务的速度和准确性的影响不同。单次中等强度运动会加快工作记忆任务的反应,但对准确度有显著的负向作用。Brown等^[15]发现随着运动强度的增加,Stroop任务表现出显著退化。这提示在力竭前进行等长运动直到耗竭与认知能力降低相关,并且更高强度的等长运动以线性剂量反应方式导致更大的错误数。这些研究提示关于锻炼强度与认知功能之间的关系可能会受到锻炼人群、锻炼方式、认知功能种类等的调节。

上述研究发现,中等强度运动最有利于执行功能的提升,而高强度运动似乎更有利于信息加工速度的提升。Dietrich^[16]曾提出瞬态低活化理论(transient hypofrontality theory)解释运动强度对执行功能的效果。由于人脑资源有限,进行高强度运动需要更多的代谢资源来提供给肌肉和控制身体动作,可用于处理执行功能的资源是减少的。因此,高强度会损害执行功能,中等强度会增强执行功能。Del Giorno等^[17]研究发现运动期间执行控制功能的下降可以通过瞬时低活化理论来解释。通气阈强度(ventilatory threshold, VT)运动后即刻,在持续性操作任务(Contingent Continuous Performance Task, CPT)的误报数和威斯康辛卡片分类任务(Wisconsin Card Sorting Test, WCST)的总体和持续性错误数上仍然升高,可能是因为在剧烈运动后,大脑需要额外时间来恢复动态平衡。Wang等^[18]研究发现,在高强度组中大多数WCST表现受损,而在低强度和中等强度组中均有促进的表现。这些研究结果表明,在高强度运动期间会出现短暂的低活化,但在低强度和中等强度运动期间则不会。除了瞬间活化降低理论以外,王莹莹等^[19]发现单次中等强度有氧运动能够有效地促进抑制能力,其主要机制在于完成任务过程中能够更加合理地分配认知资源(N2和P3波幅更高)。根据这些研究,可以大胆推测运动强度在对认知功能的影响上可能具有选择性和针对性,高强度的运动更有利于简单的认知操作,而中等强度的运动更有利于促进高级认知功能。

2) 单次身体活动强度对认知影响的时程效应。

单次运动强度不同所产生认知效益的时程(即运动

对认知效益的延迟影响)也不相同。例如, Winter 等^[20]使用被试内设计来比较安静休息 15 min、低强度 40 min(有氧)跑步、6 min 高强度(无氧)运动对视觉配对学习记忆的影响,随后在 1、24 h 和 7 d 进行测试。结果表明,高强度条件运动组学习配对成绩更好,在 1 周后,长时记忆比其他任何一个条件下都好。Brush 等^[21]研究发现,在运动后 15 min 高强度运动可以减少干扰,完成 Stroop 任务的反应时更短,而在运动后 180 min,低强度和中等强度阻力运动分别使工作记忆和认知灵活性得到改善。

Etmier 等^[22]研究安排参与者完成 3 次相对于通气阈值的不同强度运动(VO_{2max} , $Vt-20\%$, $Vt+20\%$),每次锻炼约 30 min,运动后进行 Rey 听觉言语学习测试(RAVLT)以评估短时记忆、学习和长时记忆,24 h 后完成 RAVLT 识别试验以测量长时记忆。结果发现在 24 h 延迟后评估的长时记忆中,最大强度运动后观察到的益处最大,这提示单次运动强度对运动后即刻和延迟一段时间的认知效益不同。可见单次运动强度与认知功能之间的剂量效应关系会受到认知功能测试时间的调节,这提示研究者在进行后续研究时应注意对认知功能测试的时间,以保证各研究之间的可比性。

综上,关于单次身体活动强度与认知功能之间的量效关系已有诸多研究,揭示了单次有氧运动强度、单次阻力运动强度对认知功能影响的剂量效应所在,即一般意义上来讲,中等强度的运动比较有利于运动期间的认知功能,而中高强度的运动则更有利于运动后一段时间的认知功能,尤其是信息加工速度。不过运动期间进行认知功能测试的现实意义似乎不明显,而运动后的认知效益似乎更加明显。人们面对一项重要决策等重大认知任务之前,如何通过身体活动来促进认知是极具现实意义的课题。(例如,高三学生即将参加高考)因此,在制定身体活动处方时,如仅仅考虑运动强度一个维度时,需要考虑中等强度及以上运动强度对认知功能的独特效益。但是目前研究结果并不一致。这可能与锻炼类型、研究人群、测试时间、认知功能种类等调节变量有关,这提示在未来研究中需要进一步细化研究设计,既要对这些不同调节变量进行控制,也要对不同调节变量进行比较。如探讨单次阻力运动强度对老年人执行功能影响的剂量效应;再如在不同强度单次锻炼中加入不同锻炼方式,以更加全面地设计锻炼处方,以产生更大的认知效益。

1.2 长期身体活动强度与认知效益的量效关系

除单次身体活动外,也有一些研究探讨了长期身体活动强度与认知效益的量效关系。例如,Matthews^[23]采用横断设计,通过调查 60 名 18~75 岁健康参与者的

运动强度与认知功能之间的关系进而确定二者的剂量效应。结果发现,高强度运动可以显著预测记忆和执行功能两个领域的认知表现,低强度运动不能预测认知表现。该研究提示只有高强度运动才与认知表现呈正相关,而低强度运动与认知功能之间没有关联。Zhu 等^[24]采用加速度计测量 6 452 名老年人中等至剧烈强度身体活动、低强度身体活动以及久坐时间,并追踪其与认知功能之间的关系。结果发现中等至剧烈强度身体活动时间与认知表现之间存在显著的剂量效应关系,即中等至剧烈强度身体活动时间越长,其认知障碍风险越低,执行功能和记忆力维持越好;低强度身体活动时间或久坐时间与认知功能间相关不显著。这表明长期来看只有维持一定强度的身体活动才能有助于老年人的认知健康。

上述关于长期身体活动强度的研究提示,身体活动是要求达到中等以上强度才有认知效益。不过,也有研究发现不一致的结果。Sanders 等^[25]探讨身体锻炼对痴呆者的认知功能的剂量反应关系。该研究邀请 70 名全因痴呆患者(MMSE 平均值为 20.4,女性占 63%,平均年龄为 82.3 岁)进行 24 周综合步行和下肢力量训练锻炼(分为低强度和高强度两个阶段),并探讨强度(低强度与高强度)与认知功能之间的剂量-反应关系。对照组活动是灵活性和放松练习与社交互动。结果发现在整体认知功能、工作记忆或执行功能方面,24 周身体锻炼效果并不优于对照组,运动对认知功能的影响不依赖于强度。在干预后 3 个月随访时发现,两组患者的认知功能均显著下降。该研究至少提示两点:第一,在特殊人群中(例如老年痴呆),锻炼与认知效益的量效关系与正常人不同,当然,这一推测还需要后续研究继续探讨;第二,需要设计更多的追踪研究来探讨身体活动干预对认知功能影响的剂量效应及其时间进程。

综上,关于长期身体活动强度与认知效益之间的关系还需要进一步研究,尤其是对于不同年龄人群以及不同健康状况人群等。另外,除了中高强度的长期锻炼以外,也需要一定低强度的锻炼,尤其是一些特殊人群,如身体严重超重、患有肢体障碍人群,甚至是需要被动锻炼的人群,他们可能需要先维持一定的小强度锻炼,然后再逐渐增加强度。

2 身体活动时间与认知效益的量效关系

2.1 单次身体活动时间与认知效益

提高认知能力的单次运动处方如何设计是具有重要现实意义的课题。Chang 等^[26]发现以中等强度锻炼 20 min 会显著提高认知表现,运动持续时间和认知表

现之间剂量-反应关系呈曲线型, 较短或更长时间适度运动的益处可以忽略。该研究提示促进认知功能的单次中等强度有氧运动的最佳时间在 20 min 左右, 这可以作为促进健康年轻人认知功能单次中等强度运动处方的时间参考。Chen 等^[27]研究采用平衡设计, 探讨老年人运动持续时间(使用功率自行车进行 3 次运动, 分别为 10、20 或 45 min)与任务转换之间的剂量-反应关系。结果发现 20 min 的中等强度单次有氧运动导致不一致转换任务反应时间短于对照组和 10 min 组, 可见持续 20 min 中等强度单次有氧运动是改善任务转换的最有效持续时间。较长的运动时间(45 min)与 10 或 20 min 的运动效果没有差异, 尽管较长的运动持续时间对于任务转换不是最佳的, 但它不会损害老年人的任务转换。这提示老年人单次运动时间最好达到 20 min, 如果喜欢更长时间锻炼, 则锻炼 45 min 也并无坏处。

陈爱国等^[28]研究发现, 中等强度篮球运动可以提高儿童的执行功能, 但效果与运动持续时间有关。持续 30 min 的篮球运动对儿童执行功能改善效果最好, 好于 8 和 15 min 组。

不过, Johnson 等^[29]比较 31 名老年人在 10 和 30 min 中等强度有氧或阻力训练后即刻、30 和 60 min 后使用 Stroop 测试认知能力。结果发现锻炼持续时间并未对锻炼认知效益产生影响, 参与者在锻炼后即刻 Stroop 抑制任务得到改善, 但锻炼后 30 和 60 min 后与基线没有差异。该研究设计的锻炼时间为 10 和 30 min, 与前面研究所设计的 10、20、45 min 有所差异, 这可能是导致研究结果不一致的原因。这提示未来研究需要进一步细化改善认知功能的单次锻炼的时间, 进而确定单次锻炼最佳持续时间。

此外, 还有一些研究探讨了在课堂进行运动的时间与学习效果的关系。Howie 等^[30]比较单次 5、10 和 20 min 课堂锻炼对任务行为的影响。结果发现与久坐不动的注意力控制相比, 课堂运动 10 和 20 min 均有利于学生课堂任务集中时间, 但只有 10 min 课堂运动组学生的任务集中时间(time-on-task)显著提高。Howie 等^[7]研究发现 10 和 20 min 的课间运动组与静坐组相比执行功能没有任何改进, 但是在休息后的数学分数更高^[7]。这表明与静坐 10 min 的课堂休息相比, 10 和 20 min 的课堂锻炼可以使学生的数学表现得到适度提高。这两项研究提示在课间进行 10~20 min 的运动更加有利于学生后续的课堂学习。

张晏山等^[6]对有关单次健身运动时间与执行功能相关之剂量反应研究进行文献回顾后发现, 相较于过短或过长时间, 20 min 有氧健身运动对抑制执行功能的效益更佳。这可能也是未来运动实践领域, 围绕单

次运动提升认知功能进行锻炼设计在时间上的重要参考。然而, 是否该时间也适用于其他认知功能? 是不是所有锻炼的最佳持续时间都是 20 min? 如果是, 那么其中的机制是什么? 如果不是, 那么会受到哪些因素的调节呢? 这些问题是未来该领域的研究重点。

2.2 长期身体活动时间与认知效益

长期身体活动时间, 主要是指在一定周期内锻炼的累计时间。关于长期身体活动时间与认知效益的量效关系, 可以回答坚持多久的身体活动才能产生相应的认知效益问题。Vidoni 等^[31]探讨有氧运动累积时间与认知功能之间的可能剂量效应关系。该研究将没有认知障碍的不活跃或久坐的参与者随机分为 4 组(对照组、每周 75、150 和 225 min, 在社区环境中进行为期 26 周的中等强度有氧运动。结果发现与对照组相比, 3 个不同时间运动组的简单注意均有所改善, 但没有体现锻炼时间的剂量效应; 在视觉空间加工上存在剂量-反应关系, 锻炼时间越长其视觉空间加工越好; 在运动与心肺健康之间存在明显的剂量-反应关系, 心肺健康在有氧运动时间对视觉空间加工的影响中起到完全中介作用。这表明个人心肺适应性反应是比运动剂量(即持续时间)更好的认知增益预测因子, 为实现心肺健康最大化而开具个体化运动处方, 可能对实现与运动相关的认知益处很重要。

Dascal 等^[32]通过回顾性观察研究发现任何持续时间的身体活动对整体认知功能、执行功能、情景记忆和处理速度均没有影响, 提示对于认知功能的研究需要细化锻炼时间, 基于年的划分过于宏观, 难以揭示其剂量反应关系。Falck 等^[33]系统综述包含 8 项久坐行为与认知功能关系的研究, 其中 6 项研究报告久坐行为与认知功能之间的显著负相关, 说明久坐行为与认知之间存在线性负相关关系。

Booth 等^[34]研究发现在控制身体活动的总量后, 中等至剧烈强度的运动(MVPA)时间可以有效预测男生和女生的英语成绩增加量; MVPA 的时间可以预测男生和女生 16 岁时数学成绩表现的增加; 对于女生而言, 11 岁时在 MVPA 中花费的时间可以预测在 11 和 16 岁时科学得分的增加。该研究结果表明中等至剧烈强度的运动对青春期学业成就有长期积极影响。Zhu 等^[35]发现中等至高强度运动所占时间比率越高, 认知障碍的可能性越小, 老年人记忆和执行功能的表现更好, 中等至高强度运动所占时间比率与老年人认知功能之间存在剂量-反应关系, 轻度运动时间和久坐时间都与任何认知功能测量无关。可见如果是进行中高强度的运动, 则其坚持时间越长越好, 而低强度的运动似乎对预防老年人认知障碍的发生没有显著效益。

根据国际体力活动指南,长期坚持身体锻炼是非常具有认知效益的,然而具体到长期身体锻炼时间与认知之间的剂量效应研究起来比较困难,受到各种条件的限制,导致研究无法控制如研究时间长短、锻炼类型、锻炼强度等重要参数的影响,导致研究结果过于发散,在实践指导上也不尽如人意。不过上述研究至少提示两点:第一,长期坚持锻炼并没有对认知功能产生负面效应,因此需要长期坚持;第二,关于长期身体活动时间与认知效益的量效关系需要进一步明确,长期锻炼坚持时间对各种认知效益的不同影响也需要进一步探讨。

3 身体活动频率与认知效益的量效关系

身体活动频率是制定运动处方考虑要素之一,也是影响认知效益的重要锻炼剂量之一。已有研究发现身体活动频率与认知效益之间存在明显的线性剂量反应趋势,即锻炼频率越高,其认知效益越好。Laeson 等^[36]通过队列研究对 1 740 名 65 岁级以上认知健康老年人进行 6.2 年随访,结果发现每周锻炼 3 次或以上的人群中痴呆症发生率为 13.0%,每周不到 3 次人群中痴呆的发病率为 19.7%。De Souto Barreto 等^[37]发现与不进行身体活动相比,每月 1~3 次、每周 1 次或每周进行 1 次以上的身体活动与认知综合评分呈正相关;与非活动组相比,低活跃、中度活跃和高度活跃与认知综合评分呈正相关。可见身体活动频率与认知功能之间存在剂量-反应关联,甚至低身体活动频率(每月几次)与衰老期间的认知功能正相关。

这些研究提示,长期来看锻炼频率似乎越多越好。不过,身体活动频率往往需要与特定身体活动类型、特定身体活动强度等联系在一起,这样才更具现实意义。因此,未来研究需要将锻炼类型、锻炼持续时间、锻炼强度等结合在一起综合考虑,进而确定身体活动对认知功能的影响。

4 身体活动总量与认知效益的量效关系

除身体锻炼强度、身体活动持续时间、身体活动频率以外,身体活动还可以根据参与时间、活动强度、参与频率来计算身体活动的总量,进而分析长期身体锻炼的剂量效应。Xu 等^[38]通过横向分析中国受试者身体活动量与认知功能之间的剂量-反应关系,结果发现身体活动总量(代谢当量值 METs)的五分位数与延迟文字回忆任务(delayed 10-word recall test, DWRT)评分之间存在显著的剂量-反应关系($P < 0.01$),运动量越大,认知功能越好,并且在自评健康较差的参与者中,这种关联更为明显;与 MET 的第 1 个五分位数相比,第

5 个五分位数(最高 MET)患者轻度认知障碍的风险显著降低 28%。

Xu 等^[39]元分析发现,身体活动与全因痴呆(ACD)、阿尔茨海默病(AD)之间存在剂量反应趋势,身体活动与血管性痴呆(VD)之间没有剂量效应。在剂量-反应分析中,ACD 或 AD 与休闲时间的身体活动(LTPA)呈线性关系。具体而言,每周每增加 500 千卡(或 10 MET-h)的活动量,ACD 和 AD 的风险平均分别下降 10%和 13%。该研究提示身体活动与痴呆之间存在一定的剂量-反应关系,从预防痴呆的角度进一步支持国际身体活动指南。

Loprinzi 等^[40]对 2 157 名 60~85 岁的老年人进行调查,并使用数字符号替换测试评估认知功能。根据自评上一个月中度至剧烈身体活动(MVPA)情况计算代谢当量(MET-min-month=天数×持续时间×MET 水平),并划分为 5 个 MVPA 水平:<2 000、2 000~3 999、4 000~5 999、6 000~7 999 和 ≥8 000 MVPA。经过加权多变量线性回归发现身体活动与认知功能呈倒 U 型关系,参与 6 000~7 999 MVPA 的人具有最高的认知功能评分。该研究提示进行最佳的身体活动量可以防止与衰老相关的认知功能下降。

通过上述研究发现长期而言锻炼量越大越有利于认知功能。但是,如果限定在一定的时限内,似乎需要考虑过犹不及现象,这可能跟过度锻炼导致休息不足、出现负面现象有关。因此,未来需要更多的纵向追踪研究来界定身体锻炼量与认知功能之间的精确剂量效应。

5 身体活动类型与认知效益的量效关系

关于身体活动类型,可以根据参与项目的不同分为不同锻炼类型,例如跑步,骑车等;可以根据耗氧方式不同,分为有氧锻炼、无氧锻炼等;根据锻炼时人数不同,分为个人锻炼与集体锻炼;根据锻炼环境不同,分为户内锻炼和户外锻炼,户内锻炼又可细分为健身房锻炼、在家锻炼等。

不同锻炼类型对认知功能的影响也不尽相同。翟芳等^[41]发现篮球和跆拳道比跑步更具认知效益。赵中艳^[42]发现在中等强度跳绳对小学生执行功能的影响上,集体跳绳优于个人组且优于对照组。Curlik 等^[43]指出身心锻炼的效益可能更好。心理和身体锻炼都可以通过增加成熟大脑中功能性神经元细胞的数量来改变这一过程,然而,这些增加发生的机制不一定相同。身体活动,尤其是有氧运动大大增加了海马结构中产生新神经元的数量。相比之下,通过技能学习进行的心理训练,特别是在训练目标具有挑战性时,可以增加新神

神经元存活的数量。基于此, 建议将心理训练和体育训练相结合, 称为 MAP(mental and physical)训练, 对于神经元的招募和整体心理健康比单独使用任何一种活动更有益。

有个别研究比较有氧身体活动与无氧身体活动(阻力训练)之间的认知效益差异, 不过二者没有差异。Johnson 等^[29]比较 31 名老年人在 10 和 30 min 中等强度有氧或阻力训练后即刻、30 和 60 min 后使用 Stroop 测试认知能力。结果发现认知能力不受锻炼方式的影响, 参与者在身体活动后即刻与身体活动后 30 和 60 min 后其基线没有差异, 并在 Stroop 抑制任务的表现上均得到改善。Alves 等^[44]也发现, 单次有氧锻炼与阻力锻炼对执行功能的影响没有差异。这提示需要结合心理效益角度对运动项目进行重新分类, 这样才能为促进特定心理效益而制定更有价值的运动处方。

上述研究提示在围绕认知效益制定运动处方时, 可能需要考虑运动项目的特性。例如需要认知参与程度高的运动项目可能会对认知功能产生更强的效应。在药物剂量效应领域, 研究者关注的问题是效价强度, 即用于作用性质相同的药物之间等效剂量的比较。如果达到等效时所需药量较小, 那么其效价强度较大, 而所用药量大者, 其效价强度小。关于身体活动的剂量效应, 是否也存在不同身体活动项目的效价强度不同? 如果存在, 如何量化与界定不同身体活动组合的效价, 是未来研究需要重点考虑的问题之一。

6 未来研究展望

上述从身体活动强度、身体活动时间、身体活动频率、身体活动量以及身体活动类型等梳理身体活动与认知效益之间的量效关系研究进展。通过分析可知, 在身体活动强度和身体活动时间方面已有研究取得系列进展, 为改善认知功能的运动处方制定提供证据; 同时关于身体活动频率以及身体活动类型的研究也有诸多启示。不过, 就提高与维持认知功能而言, 身体活动剂量研究仍有很长一段路要走, 未来研究至少需要关注 4 个领域。

6.1 考虑身体活动 4 个要素的整体设计

身体活动通常用频率、强度、时间和类型 4 个方面来进行表征^[45]。身体活动的量是由频率、强度、时间和类型等要素决定, 各个要素之间存在制约关系, 如强度大, 频率、时间等就会小; 强度小, 持续时间就可以更长一些。身体活动总是在一定时空条件下进行的, 因此必须完整考虑身体活动中各个要素的作用, 单独考虑其中一个因素在实践应用中指导意义就会大打折扣。仅考虑强度而忽视频率、持续时间等在现实

生活中就失去了很多指导意义。因此, 理想的剂量反应研究应该综合考虑身体活动的 4 个方面。

据此, 建议未来研究除了在研究设计上通过固定其他因素来考虑单一因素的剂量反应外, 还应该强调锻炼要素的完整性。刘俊一^[46]探讨有氧锻炼与大学生执行功能关系剂量反应, 结果发现性别在最佳运动剂量的选择上有差异, 相对于男大学生来讲, 中等强度、每周锻炼 3 次、持续锻炼 12 周对执行功能的改善最为有效; 相对女大学生来讲, 小强度、每周锻炼 5 次、持续锻炼 12 周则最为有效; 16 周仍具有积极效果, 但是相比 12 周不再增加。类似这样的研究是未来该领域需要进一步加强的, 这样才能充分考虑完整运动处方的认知效益所在, 才能揭示身体活动与认知之间的真正剂量效应关系。

6.2 考虑不同身体活动项目的认知效益

如前所述, 以往研究大都表明中等强度身体活动可以产生最佳心理效益, 而忽略了具体的身体活动形式。最近, 美国运动医学院强调在促进健康的运动项目设计中, 应该考虑数量和质量的必要性, 而以往研究主要考察了定量特征, 忽略了定性的运动特征, 如运动类型或模式^[47]。这样在实践中, 就会导致大家片面追求中等强度运动, 而不加区分具体的运动形式, 这可能会导致身体活动的实际心理效益受到影响。

Brümmer 等^[48]发现运动模式和强度不同, 大脑皮层激活模式不同。Nokia 等^[49]发现, 在跑轮上耐力跑的大鼠增加了神经生成, 但是跑轮上进行高强度间歇训练或少动组大鼠则没有增加神经生成。这个研究提示并不是所有运动项目对大脑的影响都是一样的。Lambourne 等^[50]也发现, 运动模式对认知表现产生的影响不同, 骑自行车组在运动期间和运动后认知表现均提高, 而跑步机组在运动时表现受损, 运动后表现略有改善。这些研究提示不同身体活动类型可能对认知表现的影响不同。

不过, 就耗氧方式不同来划分似乎不能区分身体活动类型的认知效益差异^[29, 44]。这提示需要结合心理效益的角度对运动项目进行重新分类, 这样才能为提高认知功能而制定更有价值的运动处方。例如, 在单次运动研究中, 一些研究认为运动任务的协调和认知复杂性有益认知功能^[51-52]。因此, 有学者建议在身体活动与认知效益研究领域, 考虑年龄和个人技能水平不同, 可以通过控制任务协调和认知需求的“剂量”来协调体育锻炼任务也可以调节身体活动对认知的影响^[4]。这也提示, 除了要根据身体活动的物理特征, 如频率、强度、时间等; 也要考虑身体活动的心理属性, 如需要认知协调的运动(如球类), 需要静心的项目(如

瑜伽、太极), 以及社会属性, 如个体还是集体、有无音乐, 等等。

6.3 考察不同人群身体活动的认知效益

已有的很多研究由于研究设计和研究实施的限制, 只能选择典型人群进行干预。而不同人群身体活动的心理效益所需要的最佳刺激是否相同, 这需要未来研究进行检验。已有研究指出, 年龄、性别和身体健康状况是调节单次运动-认知关系的相关个体变量^[53]。例如, 急性身体活动对高体适能者的认知影响是积极的, 对中等体适能者的影响可以忽略, 而对低体适能者可能是有害的^[53]。可见, 急性身体锻炼并不会给所有人带来积极效益。身体活动对一些特殊人群(如老年痴呆、唐氏综合症等)认知效益影响的剂量不尽相同, 其身体活动与认知效益的剂量关系曲线类型不同。这提示需要考虑不同人群的特征, 选择合适的干预项目或模式。

6.4 身体活动认知效益量效关系的解释

从发现现象到解释机制, 是科学研究不断深入的重要标志。关于身体活动认知效益的剂量关系研究逐渐有了一些结论, 但是其内在机制问题仍然不明确。目前, 已有一些研究尝试探讨不同剂量身体活动与认知效益之间关系的机制所在。

锻炼认知效益剂量关系的生理学解释。一些生理学变量, 如血乳酸、儿茶酚胺水平可能有助于解释不同剂量运动对认知效益影响的生理生化机制。McMorris 等^[54]认为高强度运动是有压力的, 导致前额皮质内多巴胺和去甲肾上腺素浓度过高, 导致神经元放电减少, 从而损害高阶认知加工。相比之下, 由于低强度或中等强度运动引起的压力适度增加有助于神经元活动, 从而增强执行功能。McMorris 等^[55]一项研究发现增加运动剂量诱导的血浆儿茶酚胺浓度会对认知产生直接影响(即儿茶酚胺假说), 这可以解释运动强度与认知表现之间的倒 U 型关系假设。另外, McMorris^[56]还提出一种更复杂的神经内分泌学模型作为一个更合适的框架, 以协调运动强度剂量与认知反应关系研究结果的不一致。Piepmeier 等^[57]指出, 在单次运动后可以观察到认知能力的改善。然而, 支持这种效应的生物学机制的证据仍然有限。来自啮齿动物和人类研究的结果表明, 脑源性神经营养因子(BDNF)是单次运动对记忆影响的潜在机制, 遗憾的是研究结果并不一致。Hötting 等^[58]评估了单次体育锻炼对年轻成年人记忆巩固的影响及潜在神经内分泌机制, 参与者在进行 30 min 高强度或低强度之前或放松阶段之前学习词汇表, 在干预后 20 min 以及 24 h 后评估词汇的保留。在基线, 学习后和干预后测量血清 BDNF 和唾液皮质醇。与基线相比, 高强度运动后 BDNF 和皮质

醇增加, 高强度运动组较放松组在学习后 24 h 忘记更少的词汇量。但是, 记忆评分与 BDNF 和皮质醇之间的关系并不稳健, 因此建议未来研究需要进一步考虑其他参数来解释身体活动对记忆的影响。

锻炼认知效益剂量关系的心理学解释, Audiffren 等^[59]和 Baumeister^[60]的自我控制力量模型, 可解释身体活动强度对执行功能的影响, 因为在高强度运动期间的调节努力可能会耗尽一个人自我控制资源并影响执行功能测试的表现。此外, 一些脑电指标, 可以帮助解释不同剂量运动产生心理效益反应的心理机制。未来研究需要借助这些手段来解释剂量反应的内在机制问题。王莹莹等^[19]发现单次有氧运动能够有效地促进抑制能力, 并且是有选择性地提高难度较大任务的成绩, 单次有氧运动强度与抑制能力呈倒 U 型曲线关系, 其主要机制在于中等强度运动过程中能够更加合理地分配认知资源(如 N2 和 P3 波幅更大)。Olson 等^[61]研究发现无论强度如何, 运动时 Flanker 任务的准确性受损但反应时间更快, 并且中等强度运动时反应时更快, 神经电测量表明在运动期间 N2 和 P3 的振幅增加。蒋长好等^[62]研究发现 20 min 的中等强度有氧身体活动对认知控制和脑功能有着积极影响, 这一影响通过提高抑制任务表现和增强大脑额叶脑区激活而实现。

除了借助脑电等仪器对身体活动认知效益的剂量反应进行研究, 还应该关注第三变量对身体活动认知效益剂量反应的影响。已有很多研究证明了在身体活动和认知功能关系之间存在着中介变量^[63-64], 这些中介变量是否可以有效解释两者之间的量效关系呢? 目前尚未发现有对该问题进行研究。如果这一问题得以明确, 对于运动处方制定及身体活动剂量反应研究等将会更有针对性。

综上, 未来研究既需要在行为上探讨不同身体活动剂量对认知效益的影响差异, 也要从生理生化、心理与大脑等角度解释身体活动认知效益量效关系的机制所在, 这样才能为改善认知功能而开具更加科学化的运动处方。

参考文献:

- [1] 杨世杰, 杨宝峰, 颜光美, 等. 药理学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2010.
- [2] 李京诚. 锻炼心理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2017.
- [3] 谢晚晴, 连凤梅, 姬航宇, 等. 中药量效关系研究进展[J]. 中医杂志, 2011(19): 1696-1699.
- [4] PESCE C. Shifting the focus from quantitative to qualitative exercise characteristics in exercise and cogni-

- tion research[J]. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 2012, 34(6): 766-786.
- [5] 张连成,高淑青. 身体锻炼对认知老化的延迟作用:来自脑科学的证据[J]. *天津体育学院学报*, 2014, 29(4): 309-312.
- [6] 张晏山,陈丰慈,宋岱芬,等. 急性健身运动与执行功能之剂量反应关系[J]. *大专体育*, 2017, 142(1): 35-44.
- [7] HOWIE E K, SCHATZ J, PATE R R. Acute effects of classroom exercise breaks on executive function and math performance: A dose-response study[J]. *Research Quarterly for Exercise & Sport*, 2015, 86(3): 217.
- [8] ETNIER J L. Physical activity programming to promote cognitive function[M]. *Enhancing cognitive function and brain plasticity*, Champaign: Human Kinetics, 2009: 159-175.
- [9] CHANG Y K, ETNIER J L. Exploring the dose-response relationship between resistance exercise intensity and cognitive function[J]. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 2009, 31(5): 640-656.
- [10] CHANG Y K, CHU I H, CHEN F T, et al. Dose-response effect of acute resistance exercise on Tower of London in middle-aged adults[J]. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 2011, 33(6): 866-883.
- [11] ARENT S M, LANDERS D M. Arousal, anxiety, and performance: A reexamination of the Inverted-U hypothesis [J]. *Research Quarterly for Exercise & Sport*, 2003, 74(4): 436-444.
- [12] 陈爱国,殷恒婵,颜军,等. 不同强度短时有氧运动对执行功能的影响[J]. *心理学报*, 2011, 43(9): 1055-1062.
- [13] CHEN C C, 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): n/a-n/a.
- [14] MCMORRIS T, SPROULE J, TURNER A, et al. Acute, intermediate intensity exercise, and speed and accuracy in working memory tasks: A meta-analytical comparison of effects[J]. *Physiology & Behavior*, 2011, 102(3): 421-428.
- [15] BROWN D M, BRAY S R. Isometric exercise and cognitive function: An investigation of acute dose-response effects during sub maximal fatiguing contractions[J]. *Journal of Sports Sciences*, 2015, 33(5): 487-497.
- [16] DIETRICH A. Functional neuroanatomy of altered states of consciousness: The transient hypofrontality hypothesis[J]. *Consciousness & Cognition*, 2003, 12(2): 231-256.
- [17] GIORNO J M D, HALL E E, O'LEARY K C, et al. Cognitive function during acute exercise: A test of the transient hypofrontality theory[J]. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 2010, 32(3): 312-323.
- [18] WANG C C, CHU C H, CHU I H, et al. Executive function during acute exercise: The role of exercise intensity[J]. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 2013, 35(4): 358-367.
- [19] 王莹莹,周成林. 急性有氧运动的强度与抑制能力的剂量关系——来自 ERP 的证据[J]. *体育科学*, 2014, 34(11): 42-49.
- [20] 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.
- [21] 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]. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 2016, 38(4): 396-408.
- [22] ETNIER J L, WIDEMAN L, LABBAN J D, et al. The effects of acute exercise on memory and Brain-derived neurotrophic factor (BDNF)[J]. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 2016, 38(4): 331-340.
- [23] MATTHEWS C. Investigating the effect of low and high intensity exercise on cognitive function with the use of a correlational design[D]. Manchester: Manchester Metropolitan University, 2017.
- [24] ZHU W, WADLEY V G, HOWARD V J, et al. Objectively measured physical activity and cognitive function in older adults[J]. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2017, 49(1): 47.
- [25] SANDERS L M J, HORTOBAGYI T, SCHERDER E J. Dose-response effects of exercise on cognition and physical function in patients with dementia[J]. *Innovation in Aging*, 2018, 2(S1): 575-575.
- [26] CHANG Y K, CHU C H, WANG C C, et al. Dose-response relation between exercise duration and cognition[J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2015, 47(1): 159-65.
- [27] CHEN F T, ETNIER J, WU C H, et al. Dose-response relationship between exercise duration

- and executive function in older adults[J]. *Journal of clinical medicine*, 2018, 7(9): 279.
- [28] 陈爱国, 冯磊, 朱丽娜, 等. 不同持续时间的中等强度篮球运动对儿童执行功能的影响[J]. *首都体育学院学报*, 2015, 27(3): 223-227.
- [29] JOHNSON L, ADDAMO P K, SELVA RAJ I, et al. An acute bout of exercise improves the cognitive performance of older adults[J]. *Journal of aging and physical Activity*, 2016, 24(4): 591-598.
- [30] HOWIE E, BEETS M, PATE R. Acute classroom exercise breaks improve on-task behavior in 4th and 5th grade students: A dose-response[J]. *Mental Health & Physical Activity*, 2014, 7(2): 65-71.
- [31] VIDONI E D, JOHNSON D K, MORRIS J K, et al. Dose-response of aerobic exercise on cognition: A community-based, pilot randomized controlled trial[J]. *Plos One*, 2015, 10(7): e0131647.
- [32] DASCAL J B, SANDERS L, FILHO E, et al. Dose-response effects of years of self-reported physical activity on old females' motor and cognitive function[J]. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, 2018: S1413355517305932-.
- [33] FALCK R S, DAVIS J C, LIUAMBROSE T. What is the association between sedentary behaviour and cognitive function? A systematic review[J]. *British Journal of Sports Medicine*, 2016, 51(10): bjsports-2015-095551.
- [34] BOOTH J N, LEARY S D, JOINSON C, et al. Associations between objectively measured physical activity and academic attainment in adolescents from a UK cohort[J]. *British Journal of Sports Medicine*, 2014, 48(3): 265-270.
- [35] ZHU W, HOWARD V J, WADLEY V G, et al. Association between objectively measured physical activity and cognitive function in older adults-The reasons for geographic and racial differences in stroke study[J]. *Journal of the American Geriatrics Society*, 2015, 63(12): 2447-2454.
- [36] LARSON E B, WANG L, BOWEN J D, et al. Exercise is associated with reduced risk for incident dementia among persons 65 years of age and older[J]. *Annals of Internal Medicine*, 2006, 144(2): 73-81.
- [37] DE SOUTO BARRETO P, DELRIEU J, ANDRIEU S, et al. Physical activity and cognitive function in middle-aged and older adults: An analysis of 104,909 people from 20 countries[G]//*Mayo Clinic Proceedings*. Elsevier, 2016, 91(11): 1515-1524.
- [38] XU L, JIANG C Q, TAI H L, et al. Dose-response relation between physical activity and cognitive function: Guangzhou biobank cohort study[J]. *Annals of Epidemiology*, 2011, 21(11): 857-863.
- [39] XU W, WANG H F, WAN Y, et al. Leisure time physical activity and dementia risk: A dose-response meta-analysis of prospective studies[J]. *British Medicine Journal*, 2017, 7(10): e014706.
- [40] LOPRINZI P D, EDWARDS M K, CRUSH E, et al. Dose-response association between physical activity and cognitive function in a national sample of older adults[J]. *American Journal of Health Promotion*, 2017, 32(3): 089011711668973.
- [41] 翟芳, 童昭岗, 颜军, 等. 不同强度、项目的身体锻炼对男大学生心理健康认知维度若干指标影响的实验研究[J]. *天津体育学院学报*, 2003, 18(1): 49-50.
- [42] 赵中艳. 不同类型跳绳对小学生执行功能影响的实验研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2014.
- [43] CURLIK D M, SHORS T J. Training your brain: Do mental and physical (MAP) training enhance cognition through the process of neurogenesis in the hippocampus?[J]. *Neuropharmacology*, 2013, 64(1): 506-514.
- [44] ALVES C R R, GUALANO B, TAKAO P P, et al. Effects of acute physical exercise on executive functions: A comparison between aerobic and strength exercise[J]. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 2012, 34(4): 539-549.
- [45] RHODES R E, JANSSEN I, SSD B, et al. Physical activity: Health impact, prevalence, correlates and interventions[J]. *Psychology & Health*, 2017, 32(8): 942.
- [46] 刘俊一. 有氧体育锻炼与大学生执行功能关系的“剂量效应”[J]. *北京体育大学学报*, 2017, 40(1): 58-64.
- [47] GARBER C E, BLISSMER B, DESCHENES M R, et al. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: Guidance for prescribing exercise[J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2011, 43(7): 1334-1359.
- [48] BRÜMMER V, SCHNEIDER S, VOGT T, et al. Coherence between brain cortical function and neurocognitive performance during changed gravity conditions [J]. *Journal of Visualized Experiments Jove*, 2011(51):

e2670-e2670.

- [49] NOKIA M S, LENSU S, AHTIAINEN J P, et al. Physical exercise increases adult hippocampal neurogenesis in male rats provided it is aerobic and sustained[J]. *Journal of Physiology*, 2016, 594(7): 1855.
- [50] LAMBOURNE K, TOMPOROWSKI P. The effect of exercise-induced arousal on cognitive task performance: A meta-regression analysis[J]. *Brain Research*, 2010, 1341(6): 12-24.
- [51] BUDDE H, VOELCKERREHAGE C, PIETRASSYK KENDZIORRA S, et al. Acute coordinative exercise improves attentional performance in adolescents[J]. *Neuroscience Letters*, 2008, 441(2): 219-223.
- [52] PESCE C, CROVA C, CERATTI L, et al. Physical activity and mental performance in preadolescents: Effects of acute exercise on free-recall memory[J]. *Mental Health & Physical Activity*, 2009, 2(1): 16-22.
- [53] 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(1): 87-101.
- [54] MCMORRIS T, TURNER A, HALE B J, et al. Beyond the catecholamines hypothesis for an acute exercise-cognition interaction: A neurochemical perspective [M]. *Exercise-cognition interaction: Neuroscience perspectives*. San Diego: Elsevier Academic Press, 2016: 65-103.
- [55] MCMORRIS T, COLLARD K, CORBETT J, et al. A test of the catecholamines hypothesis for an acute exercise-cognition interaction[J]. *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, 2008, 89(1): 106-115.
- [56] MCMORRIS T. Effect of acute exercise on cognitive control required during an Eriksen flanker task[J]. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 2009, 31(5): 628.
- [57] PIEPMEIER A T, ETNIER J L. Brain-derived neurotrophic factor (BDNF) as a potential mechanism of the effects of acute exercise on cognitive performance[J]. *Journal of Sport & Health Science*, 2015(1): 14-23.
- [58] HÖTTING K, SCHICKERT N, KAISER J, et al. The effects of acute physical exercise on memory, peripheral BDNF, and cortisol in young adults[J]. *Neural Plasticity*, 2016(3): 1-12.
- [59] AUDIFFREN M, ANDRÉ N. The strength model of self-control revisited: Linking acute and chronic effects of exercise on executive functions[J]. *Journal of Sport & Health Science*, 2015, 4(1): 30-46.
- [60] BAUMEISTER R F, VOHS K D, TICE D M. The strength model of self-control[J]. *Current Directions in Psychological Science*, 2007, 16(6): 351-355.
- [61] OLSON R L, CHANG Y K, BRUSH C J, et al. Neurophysiological and behavioral correlates of cognitive control during low and moderate intensity exercise [J]. *Neuroimage*, 2016, 131(1): 171-180.
- [62] 蒋长好, 王志鹏. 短时有氧锻炼对认知控制功能影响的近红外脑光谱研究[J]. *首都体育学院学报*, 2016, 28(4): 356-359.
- [63] 高旭, 柴娇, 孟宇. 身体锻炼对中老年认知功能的积极效应: 基于老化态度、一般自我效能中介模型检验[J]. *沈阳体育学院学报*, 2015, 34(3): 7-12.
- [64] 张立敏, 查圣祥. 体育锻炼对老年人执行功能的影响: 多重中介模型的检验[J]. *体育与科学*, 2017, 38(4): 97-105.