

运动干预青少年抑郁症的研究进展

黄佳琦

(湖北大学 体育学院, 湖北 武汉 430062)

摘要: 青少年抑郁症已成为全球性重大公共卫生挑战, 严重影响青少年的心理健康、社会功能及长远发展。传统治疗方法如药物治疗和心理治疗虽有一定效果, 但存在副作用、依从性差、污名化及可及性有限等问题。近年来, 运动作为非药物干预手段, 因其成本效益高、副作用少、易于实施等优势, 在青少年抑郁症防治领域的价值日益凸显。本文系统梳理近年运动干预青少年抑郁症的相关研究, 结果表明: 运动干预对青少年抑郁症具有中等效应量的临床疗效; 推荐采用持续8~12周、每周3次、每次45~60分钟的中等强度混合运动干预方案; 其抗抑郁机制涉及上调脑源性神经营养因子、调节单胺类神经递质与下丘脑—垂体—肾上腺轴功能、减轻炎症反应及重塑脑网络结构等生物学通路; 运动游戏、虚拟现实等新兴技术能有效提升干预的趣味性与依从性。本文旨在为推动运动干预在青少年心理健康服务体系中得到更科学、更广泛的实践与应用提供参考。

关键词: 运动干预; 非药物干预; 青少年抑郁症; 神经生物学机制

Research Progress on Exercise Interventions for Adolescent Depression

HUANG Jia-qi

(School of Physical Education, Hubei University, Wuhan 430062, China)

Abstract: Adolescent depression has become a major global public health challenge, severely impacting adolescents' mental health, social function and long-term development. Traditional therapeutic approaches such as pharmacotherapy and psychotherapy exhibit certain efficacy but are plagued by issues including adverse effects, poor compliance, stigmatization, and limited accessibility. In recent years, exercise, as a non-pharmacological intervention, has gained growing recognition in the prevention and treatment of adolescent depression due to its advantages of high cost-effectiveness, minimal side effects, and ease of implementation. Therefore, this article systematically synthesizes relevant studies on exercise intervention for adolescent depression conducted in recent years. The results show that exercise intervention has a moderate effect size on adolescent depressive symptoms; a medium-intensity combined exercise intervention depression, consisting of 3 sessions per week, 45-60 minutes per session, for a duration of 8-12 weeks; its antidepressant mechanisms encompass multiple biological pathways, including the upregulation of brain-derived neurotrophic factor, modulation of monoaminergic neurotransmitters and hypothalamic-pituitary-adrenal axis function, attenuation of inflammatory responses, and remodeling brain network architecture; emerging technologies such as exergames and virtual reality can significantly improve the interest and compliance of intervention. This paper aims to provide a reference for promoting the more scientific and extensive practice and application of exercise intervention in the adolescent mental health service system.

Key words: Exercise intervention; Non-pharmacological intervention; Adolescent depression; Neurobiological mechanisms

全球疾病负担研究显示,抑郁症是导致青少年失能的主要原因,且呈患病率持续上升趋势,该病不仅损害青少年学业成就、人际关系和生活质量,还与成年期更高的精神疾病复发风险、自杀行为及社会经济负担密切相关^[1]。目前,青少年抑郁症的治疗方法包括药物治疗(如选择性5-羟色胺再摄取抑制剂,SSRIs)和心理治疗(如认知行为疗法,CBT)。尽管这些疗法已被证实有效,但在实际应用中面临诸多挑战。药物治疗可能伴随恶心、头痛、体重增加等不良反应,影响治疗依从性;心理治疗虽不良反应较少,但成本高、耗时较长、专业心理健康服务可及性不足^[2]。此外,社会文化层面的“污名化”现象,也常使青少年及其家庭对寻求专业帮助产生顾虑^[3]。因此,当前对安全、有效、可及性高的非药物干预手段需求迫切。运动作为一种生活方式干预,正逐渐成为该领域的研究热点。大量研究表明,有规律的运动不仅能改善身体健康,还能有效预防和缓解抑郁症状。其优势在于成本低、副作用少,能够通过学校、社区等多种渠道推广,具有较高的公共卫生价值^[4]。运动干预的普适性和积极的社会形象,在降低污名化、提升青少年参与意愿方面具有独特优势。然而,目前运动干预的最佳“剂量—反应”关系(如频率、强度、时长)存在争议,其抗抑郁机制复杂,干预过程中患者的依从性仍是实际应用中的难点。基于此,系统整合现有高质量证据,明确具体的运动处方要素,深入阐释从分子层面到脑网络层面的抗抑郁机制,并探讨新兴技术辅助下的干预新模式,对制定精准化、个性化的青少年运动干预策略具有重要的理论意义与应用价值。本文从上述方面展开综述,以期为推动运动干预在青少年心理健康服务体系中更科学、更广泛的实践与应用提供参考。

1 运动干预对青少年抑郁症的临床疗效

1.1 相关系统综述与荟萃分析证据

多项荟萃分析表明,与非活动性对照组相比,运动干预能显著减轻青少年的抑郁症状,对青少年抑郁症状具有中等至显著的改善效果,合并效应量显著^[5]。Mirko指出,运动干预在统计学上具有显著的正面效应,效应量通常被界定为“中等”水平^[6]。然而,研究者也普遍指出了现有证据的局限性。许多综述在评估纳入研究的方法学质量时,使用了PEDro量表或GRADE框架^[7,8]。评估结果显示,尽管已有不少高质量的随机对照试验(RCTs),但仍有相当一部分研究存在方法学缺陷,如样本量小、未能有效实施盲法、对照组设置不当及随访期过短等。例如,一项研究指出,尽管观察到积极效果,但由于原始研究的异质性较高和部分研究存在偏倚风险,

证据的总体质量被评为“低”至“中等”^[9]。这表明,研究者在解读运动干预的疗效时需考虑现有研究的局限性,并在未来开展更多设计严谨、样本量更大、随访周期更长的RCTs,以巩固现有结论。

1.2 不同运动类型对青少年抑郁症的影响

运动干预并非单一的概念,其具体类型是影响疗效的关键变量。有氧运动(如跑步、游泳、骑行等)是研究最为广泛且效果最受肯定的运动类型,多项研究显示,有氧运动能显著降低青少年抑郁评分^[7];抗阻训练(如举重、弹力带训练)作为抗抑郁手段的研究相对较少,但现有研究显示抗阻训练在改善抑郁症状方面具有积极效果^[6]。混合运动是结合有氧运动和抗阻训练的方案,研究表明,混合运动可能比单一类型运动产生更优或更稳健的抗抑郁效果,这可能是由于混合训练能够更全面地刺激身体生理系统,带来更广泛的健康益处^[10];身心运动(如瑜伽、太极等)强调身体活动、呼吸控制与冥想的结合,有初步证据表明其在缓解情绪症状、降低焦虑方面具有潜力^[11]。综合来看,尽管有氧运动和混合运动的证据基础最为坚实,但目前尚无确切结论断定何种运动类型具有绝对优势。因此,运动类型的选择应结合青少年的个人兴趣、身体状况及资源可及性,以最大化提升参与持续性。

1.3 运动干预与其他疗法的比较与结合

评估运动干预的临床价值,不仅要查看其自身效果,还需将其与标准疗法进行比较,并探索其作为增效或联合治疗的潜力。与常规治疗或被动对照组相比,运动干预的优越性已得到广泛证实^[12]。然而,在青少年群体中,将其与CBT或SSRIs等一线主动治疗进行“头对头”比较的RCTs相对缺乏。运动作为辅助治疗的价值已开始显现,如有研究探讨了有氧运动联合SSRIs对青少年抑郁症患者的疗效,结果发现联合治疗组在改善抑郁症状和提升血清脑源性神经营养因子(BDNF)水平方面优于单用SSRIs的对照组^[13]。这表明,运动可以作为药物治疗的有效增效剂,通过不同生物学通路协同发挥作用,或帮助减少所需药物剂量,从而降低副作用风险。总之,运动作为一种干预手段,对青少年抑郁症具有确切的临床疗效,但其与其他疗法结合的最佳模式,以及在不同亚群体(如不同性别、不同抑郁严重程度)中的差异化效果,需要更多针对性的长期随访研究阐明。

2 运动干预的“剂量—反应”关系

运动干预的“剂量—反应”关系涉及运动方案的四个核心要素,即运动频率、运动强度、运动时长和干预周期。明确运动干预的最佳剂量,对于制定标准化、可

复制的运动处方至关重要。

2.1 运动频率

运动频率指每周进行锻炼的次数。现有研究通过亚组分析发现，每周进行3次运动是有效且可行的“甜蜜点”。有学者研究的数据范围更广，结果显示每周2~5次运动均能观察到效果，其中每周3次是改善青少年抑郁症状的推荐频率^[14]。从实践角度看，每周3次的频率既能保证足够的生理刺激以诱导适应性改变，又能给予身体充分的恢复时间，同时对于学业繁忙的青少年而言，也更具现实可行性。过于频繁的运动（5次/周）可能会增加身体负担和引发时间冲突，反而降低长期依从性^[15]。

2.2 运动强度

运动强度是衡量运动费力程度的指标，通常分为低、中、高三等，这也是剂量关系中最为复杂且证据尚不统一的变量。中等强度是大多数研究推荐的强度水平，中等强度运动（如快走、慢跑，心率维持在最大心率的60%~70%）被反复证明能有效缓解抑郁症状，其优势是能在有效刺激生理系统的同时，保持较高的安全性与可接受度^[5]；高强度运动（包括高强度间歇训练等）可在短时间内对心血管和代谢系统产生强烈刺激，理论上能更快诱导神经生物学变化，但关于其对青少年抑郁患者的效果，证据不一致，部分研究认为高强度运动效果更优，另一些研究则未发现其优于中等强度，甚至可能因其挑战性较高，降低部分患者的愉悦感和依从性^[16]；低强度运动（如散步、轻度瑜伽等）虽然也能带来一定益处，尤其适用于身体虚弱或初始体能较差的患者，但多项分析表明，其抗抑郁效果通常弱于中等强度运动^[8]。此外，“自选强度”作为一个新兴概念值得关注。有研究提出，允许青少年根据自身感受选择运动强度，可能比强制规定强度更能提升运动的内在动机和愉悦感，从而促进长期坚持^[17]。另外，现有研究缺乏直接比较低、中、高三种预设强度对青少年抑郁症状疗效的RCTs，表明强度的剂量效应仍需更精细的实验设计验证。

2.3 运动时长

单次运动的持续时间是另一个关键剂量参数。现有研究提出的有效运动时长范围较广，为30~120分钟^[18]。一项研究认为，每次45~50分钟的运动时长与抑郁症状改善相关^[14]。而另一些研究则发现，单次时长在30~60分钟之间均有效^[19]。关于最佳时长的结论存在不一致，这种不一致可能源于运动强度与时长的相互作用。例如，不同强度下，达到相同效果所需的时长不同，较高强度运动在较短时间内，就能达到与中等强度、较

长时间运动相似的生理刺激阈值^[20]。

2.4 干预周期

干预周期指整个运动项目的总持续时间。现有研究的干预周期差异较大，从4周到40周不等^[12]。多数研究表明，较长的干预周期通常与更稳定、更显著的疗效相关。一项研究推荐的干预周期为8~10周，且抗抑郁效果会随着干预时间的延长而累积，短于6~8周的干预可能不足以诱导持久的神经生物学和行为改变^[14]。为促进效果的维持，更长的干预周期乃至将运动融入日常生活方式，被视为运动干预的长期目标。

基于现有证据，对于有抑郁症状的青少年，持续8~12周、每周3次、每次45~60分钟的中等强度混合运动显示出较好的抗抑郁效果，但这只是初步研究结论，未来应根据青少年的具体情况，定制个性化运动干预方案。

3 运动干预青少年抑郁症的可能机制

3.1 脑源性神经营养因子的核心中介作用

脑源性神经营养因子（Brain-Derived Neurotrophic Factor, BDNF）是一种在维持神经元存活、促进神经生长和分化、调节突触可塑性中发挥关键作用的蛋白质。抑郁症患者大脑中负责学习、记忆和情绪调节的关键区域（如海马体和前额叶皮层），常被发现存在BDNF水平降低和神经元萎缩现象^[21]。多项研究表明，运动是提升中枢及外周BDNF水平的有效刺激，运动干预能显著提高循环血中的BDNF水平^[22, 23]，有氧运动、水中健身操等干预方式均被观察到能增加外周血中的BDNF含量^[24]。因此，理论上运动诱导的BDNF水平上升，能够逆转压力所致的海马体神经元损伤，促进神经发生（新神经元的生成），增强突触连接，从而修复受损的神经环路，改善情绪调节能力。

3.2 单胺类神经递质系统的调节

抑郁症与大脑中5-羟色胺（5-HT）、去甲肾上腺素（NE）、多巴胺（DA）等单胺类神经递质的功能失调密切相关^[25]。大多数抗抑郁药物正是通过调节这些神经递质的水平发挥作用。研究表明，运动同样能够调节这些关键的神经递质系统^[26]。急性或长期的运动能够增加大脑特定区域（特别是与情绪相关的边缘系统和皮层区域）中5-HT、NE和DA的合成与释放，并提高其受体的敏感性^[27]。临床研究通过测量血液或脑脊液中的代谢物，为这一调节作用提供了证据。例如，有研究指出，运动干预后青少年患者血浆中的5-HT水平显著升高^[28]。这表明，运动可能通过调节这些神经递质平衡，模拟抗抑郁药物的部分作用机制，进而帮助改善情绪低

落、快感缺失等核心症状^[29]。

3.3 下丘脑—垂体—肾上腺轴的调节

下丘脑—垂体—肾上腺 (HPA) 轴是身体应对压力的核心内分泌系统。在慢性压力和抑郁症状下, HPA 轴常出现功能失调, 表现为负反馈抑制机制受损, 导致应激激素皮质醇持续处于高水平。长期过高的皮质醇对大脑 (尤其是海马体) 具有神经毒性作用 (如突触减少), 会抑制神经发生, 损害神经元功能^[30]。运动作为一种“良性”生理应激源, 能够对 HPA 轴起到重要的调节作用。规律的长期运动能够改善 HPA 轴的负反馈敏感性, 降低静息状态下的皮质醇水平, 并使身体在面对新的应激时能做出更有效、适度的反应^[31]。例如, 临床研究数据表明, 运动干预后患者的血浆皮质醇水平出现显著下降或趋于正常化^[27]。因此, 通过“重置”失调的 HPA 轴, 有助于减轻慢性应激对大脑的损害, 从而缓解抑郁症状。

3.4 抗炎与免疫调节

研究表明, 慢性低度炎症是抑郁症发生和维持的重要病理生理因素^[32]。抑郁患者体内常可检测到促炎细胞因子水平升高, 如白细胞介素-6 (IL-6)、肿瘤坏死因子- α (TNF- α) 和 C 反应蛋白 (CRP)^[33]。这些炎症分子可以通过多种途径影响大脑功能, 如减少神经营养因子、干扰神经递质代谢、激活小胶质细胞等, 最终诱发抑郁行为^[34]。规律的长期运动有助于减少脂肪组织 (脂肪是促炎因子的主要来源之一)。同时, 运动中收缩的肌肉会释放具有抗炎作用的“肌细胞因子”(如 IL-6、IL-10 等), 这些因子能抑制全身的低度炎症状态^[35]。虽然目前研究中测量炎症因子变化的直接证据仍较为有限, 但部分研究已经开始探索这一领域, 如检测青少年抑郁患者的细胞炎症因子水平^[36]。因此, 运动通过抑制炎症反应, 为改善抑郁症状提供了生物学通路。

3.5 脑结构与功能网络重塑

随着神经影像技术的发展, 研究者得以在宏观层面观察运动对大脑结构和功能的影响。抑郁症与特定脑区的结构异常 (如海马体、前额叶皮层、杏仁核的灰质体积减小) 和功能网络连接失调 (如默认网络、突显网络、执行控制网络之间的连接异常) 有关^[37-39]。运动干预被认为能够促进这些脑区结构和功能的“正常化”。例如, 研究发现, 6 个月有氧运动可使海马体体积增加, 这与 BDNF 介导的神经发生密切相关^[40]。功能磁共振成像 (fMRI) 研究也开始探索运动对青少年抑郁患者大脑功能连接的影响, 已有研究探讨了运动干预效果与脑区活动的相关性, 以及相关心理治疗中脑功能指标的变化^[41, 42]。这表明, 通过神经影像技术揭示运动如何重塑大脑网络, 是极具前景的研究方向。初步证据表明,

运动可能通过增强前额叶皮层对杏仁核自上而下的调控, 或改善情绪调节相关网络的功能整合, 发挥其抗抑郁作用。

综上, 运动的抗抑郁效应并非由单一机制驱动, 而是一个多系统、多层次的复杂过程。从分子水平的 BDNF 和神经递质, 到系统水平的 HPA 轴和免疫系统, 再到宏观层面的脑网络重塑, 这些机制相互关联、相互作用, 共同构成了运动改善抑郁症状的生理基础。

4 新兴技术辅助下的运动干预模式

尽管传统运动干预效果明确, 但如何提高青少年 (尤其是伴有快感缺失、动机缺乏等抑郁症状的青少年) 的参与度和长期依从性, 始终是实践中的挑战。近年来, 信息技术的飞速发展, 为破解这一难题提供了新路径。运动游戏、虚拟现实、移动健康应用等新兴技术, 正被越来越多地应用于运动干预, 旨在使运动更有趣、更具吸引力和更易实施。

4.1 主要形式与应用

运动游戏通过将身体活动与电子游戏相结合, 将锻炼过程转化为充满乐趣和挑战的娱乐体验。例如, 玩家需要通过跳跃、挥臂、奔跑等真实动作控制游戏角色。这种形式极大地契合了青少年对游戏的兴趣, 能够有效提升运动的内在动机^[43]。已有研究表明, 运动游戏不仅能增加身体活动量, 还可能对改善抑郁症状和认知功能产生积极作用^[44]。

虚拟现实 (Virtual Reality, VR) 技术通过头戴式显示器为用户构建完全沉浸式的三维虚拟环境。在运动干预中, VR 可以模拟出各种具有吸引力的锻炼场景, 如在风景优美的虚拟赛道上骑行、在虚拟场景中进行体感互动训练等。这种沉浸感能够分散用户对运动疲劳和枯燥感的注意, 提高运动的趣味性^[45, 46]。初步研究已开始探索 VR 运动对抑郁、焦虑症状的干预效果, 并显示出一定的可行性^[47]。

移动应用与可穿戴设备 (Mobile Apps & Wearables) 方面, 包括智能手机应用可以提供个性化的运动计划、视频指导、进度追踪、社交互动和即时反馈, 成为青少年的“口袋健身教练”, 可穿戴设备 (如智能手环、智能手表) 则能客观、连续地监测心率、步数、活动强度等数据^[48], 帮助用户量化运动成果, 并为研究者提供了精确评估依从性和运动剂量的手段^[49]。

4.2 疗效、依从性与挑战

关于技术辅助运动干预对青少年抑郁症的疗效, 目前的研究尚处于初步阶段, 但多数研究结果呈现积极趋势。初步随机对照试验及可行性研究表明, 结合了移动

应用和 VR 的数字干预项目，在减轻青少年抑郁症状方面显示出初步疗效^[50]。然而，研究结果也存在不一致性，且证据的总体质量仍有待提高，特别是高质量研究大多来自高收入国家，低收入和中等收入国家的研究缺乏，这限制了结论的普适性^[51]。提升依从性是技术辅助干预的核心目标之一。理论上，游戏的趣味性、VR 的沉浸感及 App 的便捷性，都能通过提升参与动机和降低参与门槛，促进用户坚持锻炼。有研究指出，用户对这类干预具有较高的可接受度和良好使用体验，但也面临依从性挑战^[47]。例如，新奇效应消退后，用户可能逐渐失去兴趣，技术故障、设备不适等问题，也可能成为坚持锻炼的障碍^[44]。同时，该运动干预模式在长期效果、成本效益及实际实施上面临挑战。在长期效果上，多数研究都是短期的可行性或初步疗效探索，关于这些干预措施的长期效果和效果维持情况，相关的数据很有限。在成本效益上，尽管数字干预具有降低成本、提高服务效率的巨大潜力，但目前尚缺乏严格的经济学评估^[52]。在具体实施上，硬件成本与可及性，特别是高质量的 VR 设备价格偏高，可能会加剧数字鸿沟^[47]。内容的开发与验证方面，需要投入大量资源，开发既有趣味性又符合循证医学原则的运动内容，并对其进行严格临床验证^[53]。此外，数据安全、隐私保护及专业指导缺失等，也是需要解决的重要问题。

5 结论与展望

现有证据表明，运动作为一种非药物干预措施，在治疗青少年抑郁症方面具有中等效应量的临床疗效，且兼具安全性高、成本效益好、可及性强等多重优势。基于当前研究，推荐运动干预方案为持续至少 8 ~ 12 周、每周 3 次、每次 45 ~ 60 分钟的中等强度混合运动。其抗抑郁效应涉及神经可塑性、单胺类神经递质、HPA 轴功能、免疫炎症反应及大脑网络重塑等多个层面的复杂机制。以运动游戏和虚拟现实为代表的新兴技术，为解决传统运动干预依从性低的难题提供了新方向，但其有效性和实施模式仍需大量研究验证。运动干预青少年抑郁症的研究将向精准化、整合化与智能化方向发展。未来研究的核心，在于从“运动有效”的普遍性结论，迈向“何种运动对何种个体最有效”的精准化处方；从孤立的干预研究，迈向与现有医疗保健体系相融合的模式；将科研证据有效转化为惠及青少年的公共卫生政策和临床实践。

参考文献

[1] Global, regional, and national burden of 12 mental

disorders in 204 countries and territories, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019 [J]. *The Lancet Psychiatry*, 2022.

[2] 陈贵伟, 白银霞. 儿童青少年抑郁症现状调查 [J]. *临床医学进展*, 2024, 14 (2): 3611–3615.

[3] Amelia G, Kathleen G, Helen C. Perceived barriers and facilitators to mental health help-seeking in young people: a systematic review [J]. *BMC Psychiatry*, 2010, 10 (1): 113.

[4] San Y P, Yuan F, Tajuddin A O, et al. Meta-analysis and systematic review of physical activity on neurodevelopment disorders, depression, and obesity among children and adolescents [J]. *Frontiers in Psychology*, 2022, 13: 940977.

[5] Yan H, Chen R, Chen D, et al. Effectiveness of exercise intervention on children and adolescents with depression: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trial [J]. *Frontiers in Psychiatry*, 2025, 16: 1699554.

[6] Mirko W, Sandra A, Andrea K, et al. Systematic Review of Meta-Analyses: Exercise Effects on Depression in Children and Adolescents [J]. *Frontiers in Psychiatry*, 2020, 11: 81.

[7] Xiang W, Dong Z C, Ting W J, et al. Systematic review and meta-analysis of the effects of exercise on depression in adolescents [J]. *Child and Adolescent Psychiatry and Mental Health*, 2022, 16 (1): 16.

[8] Sheng C Z, Liang C, Xiao A C, et al. The strategies of exercise intervention for adolescent depression: A meta-analysis of randomized controlled trials [J]. *Frontiers in Psychology*, 2023, 13: 974382.

[9] Brynhildur A, Sølvi B, Åse S, et al. Review: Exercise for depression in children and adolescents – a systematic review and meta-analysis [J]. *Child and Adolescent Mental Health*, 2020, 26 (4): 347–356.

[10] Yi H Z, Geng L, Cheng Z L, et al. Comparing the efficacy of different types of exercise for the treatment and prevention of depression in youths: a systematic review and network meta-analysis [J]. *Frontiers in Psychiatry*, 2023, 14: 1199510.

[11] Aurora J, Z E A, Lori Z, et al. Yoga as an Intervention for the Reduction of Symptoms of Anxiety and Depression in Children and Adolescents: A Systematic Review [J]. *Frontiers in Pediatrics*, 2020, 8: 78.

- [12] Carter T, Morres D I, Meade O, et al. The Effect of Exercise on Depressive Symptoms in Adolescents: A Systematic Review and Meta-Analysis [J]. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 2016, 55 (7): 580-590.
- [13] 符泽娟, 徐明雅, 王天道, 等. 有氧运动疗法联合选择性5-羟色胺再摄取抑制剂对青少年抑郁症患者精神症状缓解效果和社会功能的影响 [J]. *临床与病理杂志*, 2022, 42 (12): 3047-3054.
- [14] Chen X, Zeng X, Liu C, et al. Formulation of precise exercise intervention strategy for adolescent depression [J]. *PsyCh Journal*, 2024, 13 (2): 176-189.
- [15] Cao X. Comparative effects of exercise type and dose on depression in children and adolescents: a network meta-analysis [J]. *Frontiers in Psychology*, 2025, 16: 1632111.
- [16] L L, V L N, E E, et al. Exercise in prevention and treatment of anxiety and depression among children and young people [J]. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2006 (3): CD004691.
- [17] Tim C, Boliang G, David T, et al. Preferred intensity exercise for adolescents receiving treatment for depression: a pragmatic randomised controlled trial [J]. *BMC Psychiatry*, 2015, 15 (1): 247.
- [18] Andreas H, Darlene H, Leonie L B, et al. Exercise as medicine for depressive symptoms? A systematic review and meta-analysis with meta-regression [J]. *British Journal of Sports Medicine*, 2023, 57 (16): .
- [19] Li W, Liu Y, Deng J, et al. Influence of aerobic exercise on depression in young people: a meta-analysis [J]. *BMC Psychiatry*, 2024, 24 (1): 571.
- [20] E R R, J C V, E M S, et al. The role of exercise in the treatment of depression: biological underpinnings and clinical outcomes [J]. *Molecular Psychiatry*, 2022, 28 (1): .
- [21] Gujral S, Aizenstein H, Reynolds F C, et al. Exercise effects on depression: Possible neural mechanisms [J]. *General Hospital Psychiatry*, 2017, 49: 2-10.
- [22] Eugenia M, Mona W, Maria C, et al. BDNF Impact on Biological Markers of Depression — Role of Physical Exercise and Training [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2021, 18 (14): 7553.
- [23] Beatrice A, Rosa F G, Oude C R V, et al. Blood Brain-Derived Neurotrophic Factor (BDNF) and Major Depression: Do We Have a Translational Perspective? [J]. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 2021, 15.
- [24] Luca C, Luisa S, Floriana V. Neurotrophic Factor BDNF, Physiological Functions and Therapeutic Potential in Depression, Neurodegeneration and Brain Cancer [J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2020, 21 (20): 7777.
- [25] 张硕渊, 李春波. 运动治疗抑郁障碍的研究进展 [J]. *上海交通大学学报 (医学版)*, 2023, 43 (7): 916-922.
- [26] 任鹏, 吴小云, 赵余龙, 等. 运动改善抑郁症的研究进展 [J]. *医药前沿*, 2025, 15 (7): 32-37.
- [27] 韩利, 张红, 郭虹. 健康教育联合有氧运动对青少年抑郁症的干预效果 [J]. *中国学校卫生*, 2020, 41 (6): 859-862, 866.
- [28] Yan L, Tim Y, Man-TAK J C, et al. The beneficial effects of physical exercise in the brain and related pathophysiological mechanisms in neurodegenerative diseases [J]. *Laboratory Investigation*, 2019, 99 (7): 943-957.
- [29] 徐帅, 季泰, 余锋, 等. 体育活动调节久坐行为诱发抑郁症的生物学机制研究 [J]. *河北体育学院学报*, 2023, 37 (6): 82-89.
- [30] Kandola A, Ashdown-FRANCS G, Hendrikse J, et al. Physical activity and depression: Towards understanding the antidepressant mechanisms of physical activity [J]. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 2019, 107: 525-539.
- [31] 陈敏, 张晓波, 罗玉珍, 等. 运动锻炼改善抑郁症的神经生物学相关机制研究进展 [J]. *中国体育科技*, 2021, 57 (4): 89-97.
- [32] 孟子杭, 骆思宏, 李晓宁. 针灸通过介导炎症反应治疗抑郁症机制研究进展 [J]. *临床医学进展*, 2025, 15 (5): 1927-1935.
- [33] Zuzanna Z. In(s) and out(s) of adolescent depression—Trajectories of development and recovery [J]. *Brain, Behavior, & Immunity - Health*, 2021, 18: 100382.
- [34] 张玮. 运动改善抑郁症的整合生物学研究进展 [J]. *湖北体育科技*, 2025, 44 (5): 97-105.
- [35] 陆鹏程, 金圣杰, 陈祥和. 与抑郁的抗争: 运动介导免疫炎症系统改善抑郁的作用研究 [J]. *中国比较医学杂志*, 2023, 33 (5): 104-111, 144.
- [36] Rosana S C, Mattia M, Giulia P, et al.

- Disentangling the biological mechanisms underlying the effects of physical exercise in major depressive disorder: a comprehensive systematic review of randomized controlled trials [J]. *Psychological Medicine*, 2025, 55: e197.
- [37] Eva B H, C T H, G C C, et al. The neuroscience and context of adolescent depression [J]. *Acta Paediatrica*, 2016, 105 (4): 358–365.
- [38] Gujral S, Aizenstein H, Reynolds F C, et al. Exercise effects on depression: Possible neural mechanisms [J]. *General Hospital Psychiatry*, 2017, 49: 2–10.
- [39] Li Z, Ruan M, Chen J, et al. Major Depressive Disorder: Advances in Neuroscience Research and Translational Applications [J]. *Neuroscience Bulletin*, 2021, 37 (6): 1–18.
- [40] Cristy P. Physical Activity Modulates Common Neuroplasticity Substrates in Major Depressive and Bipolar Disorder [J]. *Neural Plasticity*, 2017, 2017: 7014146.
- [41] Xiao L, Ren Q Y, Qian H, et al. Alteration of Whole Brain ALFF/fALFF and Degree Centrality in Adolescents With Depression and Suicidal Ideation After Electroconvulsive Therapy: A Resting-State fMRI Study [J]. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2021, 15: 762343.
- [42] 李玖菊, 谭淑平, 赵艳丽, 等. 心智化家庭治疗对青少年抑郁障碍的疗效及相关脑区的影响 [J]. *中华行为医学与脑科学杂志*, 2022, 31 (1): 43–49.
- [43] Younger Adolescents' Perceptions Of Physical Activity, Exergaming, And Virtual Reality: Qualitative Intervention Development Study [J]. *JMIR Serious Games*, 2019, 7 (2): e11960.
- [44] De Q W, Jing J Z, Jian N C, et al. Exergames improves cognitive functions in adolescents with depression: study protocol of a prospective, assessor-blind, randomized controlled trial [J]. *BMC Psychiatry*, 2023, 23 (1): 507.
- [45] Lee J S, C M M, R J W. Virtual Reality and Web-Based Growth Mindset Interventions for Adolescent Depression: Protocol for a Three-Arm Randomized Trial [J]. *JMIR Research Protocols*, 2019, 8 (7): e13368.
- [46] Jin H L, Yin L T, Schubert F. Effect of Exergames on Depression: A Systematic Review and Meta-Analysis [J]. *Cyberpsychology, Behavior and Social Networking*, 2016, 19 (1): 34–42.
- [47] Ian M, Emily P, Gabriel S, et al. Self-Guided Digital Intervention for Depression in Adolescents: Feasibility and Preliminary Efficacy Study [J]. *JMIR Formative Research*, 2023, 7: e43260.
- [48] Al A M A, Nurhasan N, Nur L, et al. Analysis of Android-Based Applications in Physical Education and Sports: Systematic Review [J]. *Retos: Nuevas Perspectivas de Educación Física, Deporte y Recreación*, 2024, 57.
- [49] JesÚs V, Carolina C, Santiago G, et al. Are Wrist-Worn Activity Trackers and Mobile Applications Valid for Assessing Physical Activity in High School Students? Wearfit Study [J]. *Journal of Sports Science & Medicine*, 2022, 21 (3): 356–375.
- [50] Peake E, Miller I, Flannery J, et al. Preliminary Efficacy of a Digital Intervention for Adolescent Depression: Randomized Controlled Trial [J]. *Journal of Medical Internet Research*, 2024, 26: e48467.
- [51] Yu T Y, Hao W, Wen S, et al. Short Video-Based Mental Health Intervention for Depressive Symptoms in Junior High School Students: A Cluster Randomized Controlled Trial [J]. *Psychology Research and Behavior Management*, 2023, 16: 4169–4181.
- [52] N V K, C P C, A S H, et al. A CBT-based mobile intervention as an adjunct treatment for adolescents with symptoms of depression: a virtual randomized controlled feasibility trial [J]. *Frontiers in Digital Health*, 2023, 5: 1062471.
- [53] Brynjar H, Claire H, Polly W, et al. Immersive virtual reality and digital applied gaming interventions for the treatment of mental health problems in children and young people: the need for rigorous treatment development and clinical evaluation [J]. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 2021, 62 (5): 584–605.