

虚拟现实结合有氧运动对亚临床抑郁症青少年脑执行功能的影响：基于 EEG 的微状态数据分析

张智聪 赫典 彭婷

陕西师范大学, 陕西 西安 710119

[摘要]近年来, 亚临床抑郁症在青少年中逐渐受到关注, 表现为持续的情绪低落和认知功能受损, 尤其在执行功能方面。虚拟现实 (Virtual reality, VR) 技术与有氧运动的结合, 作为一种新兴的干预手段, 旨在通过沉浸式体验和身体活动的双重刺激改善青少年的大脑功能。研究采用流行病学调查中心抑郁自评量表 (Center for Epidemiologic Studies Depression Scale, CES-D) 和抑郁障碍自评量表 (Patient Health Questionnaire-9, PHQ-9) 筛选出 60 名具有亚临床抑郁症的青少年, 探讨 VR 结合有氧运动对青少年亚临床抑郁症的干预效果。结果显示, 干预后, VR 结合有氧运动组在多个 EEG 微状态参数上均有显著变化: 微状态 A 和 B 的持续时间显著延长 ($p < 0.05$), 表明情绪调控和注意力分配网络的稳定性增强; 微状态 C 的出现频次降低, 反映情绪调节能力的提升; 微状态 D 的涵盖比和转换频率显著提高 ($p < 0.05$), 表明大脑信息处理的灵活性增强。研究表明, VR 结合有氧运动干预能够有效改善亚临床抑郁症青少年的执行功能, 可能通过神经网络活动模式的重新组织发挥作用。EEG 微状态的变化为理解大脑执行控制功能的神经机制提供了有力证据。未来的研究可优化干预方案, 探讨不同参数对神经网络调控的影响, 推动其在青少年心理健康干预中的应用。

[关键词]沉浸式; 有氧运动; 亚临床抑郁症; 青少年

DOI: 10.33142/jscs.v5i2.16248

中图分类号: R592

文献标识码: A

The Effect of Virtual Reality Combined with Aerobic Exercise on Brain Executive Function in Adolescents with Subclinical Depression: a Micro State Data Analysis Based on EEG

ZHANG Zhicong, HE Dian, PENG Ting

Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi, 710119, China

Abstract: In recent years, subclinical depression has gradually received attention among adolescents, manifested as sustained emotional depression and cognitive impairment, especially in executive function. The combination of virtual reality (VR) technology and aerobic exercise is an emerging intervention aimed at improving adolescent brain function through a dual stimulation of immersive experiences and physical activity. The study used the Center for Epidemiological Studies Depression Scale (CES-D) and the Patient Health Questionnaire-9 (PHQ-9) to screen 60 adolescents with subclinical depression, and explored the intervention effect of VR combined with aerobic exercise on subclinical depression in adolescents. The results showed that after intervention, the VR combined with aerobic exercise group showed significant changes in multiple EEG microstate parameters: the duration of microstate A and B was significantly prolonged ($p < 0.05$), indicating enhanced stability of emotional regulation and attention allocation networks; The frequency of occurrence of microstate C decreases, reflecting an improvement in emotional regulation ability; The coverage ratio and transition frequency of microstate D were significantly increased ($p < 0.05$), indicating enhanced flexibility in brain information processing. Research has shown that VR combined with aerobic exercise intervention can effectively improve executive function in adolescents with subclinical depression, possibly through the reorganization of neural network activity patterns. The changes in EEG microstates provide strong evidence for understanding the neural mechanisms underlying brain executive control functions. Future research can optimize intervention plans, explore the impact of different parameters on neural network regulation, and promote its application in adolescent mental health interventions.

Keywords: immersive; aerobic exercise; subclinical depression; adolescent

引言

亚临床抑郁 (Hypothesis) 是一种介于正常情感波动和临床抑郁症之间的心理健康问题, 其发病机制一直是国际卫生领域的重要研究课题^[1]。亚临床抑郁症的症状通常较为轻微且持续, 但即便如此, 其对个体的日常生活、情

感管理及社会功能仍有显著影响^[2]。这种状态虽然不完全符合临床抑郁症的诊断标准, 但其长期存在可导致更为严重的心理健康问题, 如抑郁症或焦虑症等。尤其是在青少年群体中, 亚临床抑郁症的发病率持续上升, 并已成为影响心理健康的主要问题之一^[3]。因此, 研究其潜在机制及有效

干预方法对于及时识别和治疗亚临床抑郁症至关重要。

随着科技的进步,虚拟现实(VR)技术的迅猛发展为医疗领域提供了新的治疗手段^[4]。VR技术通过模拟真实的环境或情境,能够为患者提供身临其境的互动体验,从而实现心理和生理功能的改善。尤其在运动训练、康复治疗及心理干预等领域,VR的应用逐渐受到学界和业界的广泛关注^[5]。虚拟现实技术能够为患者提供一种沉浸式的互动体验,这种体验不仅可以增加治疗的趣味性和参与感,还能通过虚拟场景的互动和反馈促进大脑神经活动的重塑与恢复。

研究表明,虚拟现实能够显著改变大脑的活动模式,并改善相关脑区的功能^[6]。它通过刺激和引导大脑的多感官系统,改变信息的处理方式和思维模式,从而提升患者的认知功能、情感调节能力及行为控制能力。在Zhu等人关于虚拟现实干预的研究中,VR辅助治疗已被证明能够显著提高抑郁症患者的认知功能^[7]。在为期六周的VR训练过程中,患者的注意力、计划能力、问题解决能力等认知功能都有了显著提升。VR训练不仅提供了愉快的互动体验,还有效地改善了患者的神经可塑性,帮助大脑恢复其功能性连接,从而增强了患者的认知能力和心理健康。

对于神经功能障碍患者而言,虚拟现实技术作为一种创新的治疗方式,提供了一种有效的改善手段。通过针对性的虚拟训练,VR能够刺激大脑不同区域的活跃度,增强神经网络的可塑性,有助于大脑功能的恢复和认知能力的提升^[8]。尤其是对于那些患有长期抑郁症或焦虑症的患者,VR训练提供了一种新的治疗路径,帮助他们重新建立健康的认知模式和情感调节机制。

综上所述,虚拟现实技术作为一种前沿的治疗手段,在改善抑郁症及其他神经认知障碍方面展现出了巨大的潜力。特别是在提高信息处理能力、改善短期记忆和情绪调节方面,VR的应用潜力巨大。未来的研究应进一步探索VR干预在不同类型抑郁症患者中的效果差异,评估其在不同治疗阶段的疗效,并确定最佳的干预方案。通过进一步完善和推广VR技术在心理健康领域的应用,能够为广大患者提供更多的治疗选择,并为心理健康干预策略的优化和创新提供新的视角和解决方案。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

本研究拟应用流行病调查中心抑郁自评量表(Center for Epidemiologic Studies Depression Scale, CES-D)和抑郁障碍自评量表(Patient Health Questionnaire-9, PHQ-9)。评定标准:CES-D评分为20或以上,PHQ-9为10或以上^[9],并由学校心理咨询中心的专业教师进行复查。无酗酒、吸毒史,无其他疾病和发育不良。最后选取60例有抑郁症状筛查需求的青少年为被试。

1.2 实验流程

(1) 实验开始前,所有受试者签署知情同意书。

(2) 实验分组:受试者随机分为四组。第一组为青少年亚临床抑郁症对照组(CG组)。其余三组为干预组。第一组干预为有氧运动组(AE组),受试者使用动力脚踏车,调整座位高低,运动时间为8分钟。第二组干预为有氧运动与虚拟现实单人模式结合(AE+VRPM),受试者佩戴PICO 4 VR头显,头显与动力脚踏车通过传感器蓝牙连接,设置为单人模式,进入虚拟世界进行运动,运动时间为8分钟。第三组干预为有氧运动与虚拟现实团队模式结合(AE+VRTM),与第二组相同,区别在于将PICO 4 VR系统调为团队模式,以群体为单位进行体育娱乐活动。

(3) 实验测试:在开始测试前,三组干预组受试者均佩戴ActiGraphGT9心率带,实时监测运动过程中的心率变化,保持心率在60%~80%HRmax范围内。运动结束后,佩戴32路脑电仪,采集6分钟脑电静息态信号。

1.3 EEG信号采集与处理

在本实验中,受试者在闭眼条件下以1024Hz的采样率记录六分钟脑电信号。为确保数据可靠性,电极周围电阻保持在10K Ω 以内,减少伪迹。受试者需保持安静、坐直、双肩放松,避免任何可能导致颤动的动作。

脑电信号预处理使用MATLAB(R2020b)和EEGLAB插件进行。首先剔除质量差的EEG数据,并通过带通滤波器(1~30Hz)和凹陷滤波器(48~52Hz)滤波。剔除VEOG/HEOG电极后,保留30个电极,每个记录2秒时间序列。使用ICA技术去除生理干扰信号,最后排除极端值($\pm 70 \mu V$)并纳入300秒以上的数据进行微状态分析。

1.4 EEG微状态分析

为探索实验对象在不同时间点上的电场强度变化情况,细致地分析整体电场强度的动态演变过程^[10]。我们采用了自动聚合分层聚类法对收集到的样本进行了深入分析与整理^[11]。将相似的脑电(Electroencephalogram, EEG)微状态归为一类,从而更好地理解数据的分布特征。

1.5 统计分析

使用了SPSS 26软件进行数据清洗、整理和预处理工作,以保证后续分析的高质量数据。此外,为了更直观地展示数据结果,我们还运用了图形处理软件GraphPad Prism 10来创建图表和图形,以便更加清晰地捕捉到脑电信号微态变化的趋势和模式。本研究对数据进行了Shapiro-Wilk检验法,判断所收集的脑电数据是否符合正态分布,如果数据服从常态分布,那么我们将使用单因素方差分析来进行平均持续时间、出现次数、涵盖比、转换率等指标进行对比,来探究不同组间的差异性和关联性。

2 结果

首先,通过分析得到CG组、AE组、AE+VRPM组和AE+VRTM组的脑电微状态的基本参数,如持续时间、频率和覆盖率如表1。

表 1 各组组间脑电微状态参数特征 (x ± s)

指标	微状态类别	CG 组 (n=15)	AE 组 (n=15)	AE+VRPM 组 (n=15)	AE+VRTM 组 (n=15)	F	P
平均持续时间 /ms	A	0.066 ± 0.011	0.068 ± 0.012	0.075 ± 0.009	0.080 ± 0.021	3.299	0.027
	B	0.064 ± 0.008	0.068 ± 0.010	0.074 ± 0.013	0.075 ± 0.008	4.199	0.009
	C	0.063 ± 0.008	0.065 ± 0.007	0.067 ± 0.008	0.069 ± 0.013	1.27	0.293
	D	0.060 ± 0.009	0.063 ± 0.005	0.070 ± 0.027	0.065 ± 0.009	1.283	0.289
频率/Hz	A	3.841 ± 0.440	3.708 ± 0.638	3.389 ± 0.838	3.772 ± 0.508	1.533	0.216
	B	4.260 ± 1.093	3.870 ± 0.383	3.893 ± 0.391	3.714 ± 0.574	1.761	0.165
	C	3.426 ± 0.395	3.537 ± 0.500	3.682 ± 0.393	3.853 ± 0.363	2.962	0.04
	D	3.592 ± 0.453	3.745 ± 0.655	3.791 ± 0.862	4.284 ± 0.739	2.802	0.048
涵盖比 (%)	A	0.258 ± 0.50	0.246 ± 0.039	0.230 ± 0.068	0.264 ± 0.046	1.257	0.298
	B	0.251 ± 0.044	0.257 ± 0.032	0.260 ± 0.051	0.308 ± 0.081	3.389	0.024
	C	0.244 ± 0.055	0.252 ± 0.046	0.295 ± 0.074	0.323 ± 0.082	4.764	0.005
	D	0.217 ± 0.033	0.245 ± 0.052	0.247 ± 0.064	0.311 ± 0.071	6.177	0.001

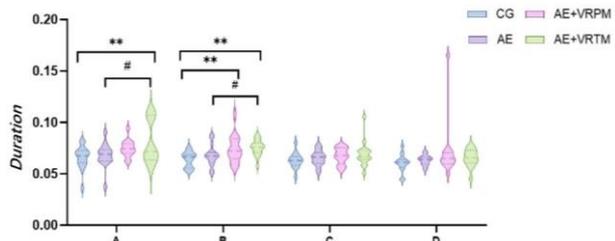


图 1- (1)

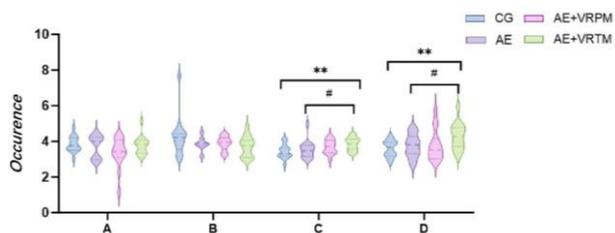


图 1- (2)

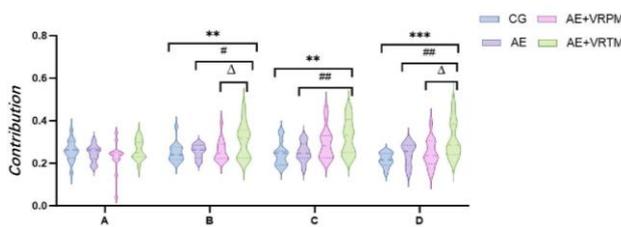


图 1- (3)

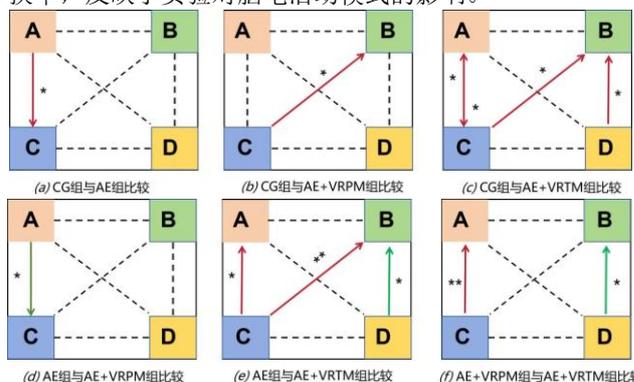
注：与 CG 组比较，*p<0.05，**p<0.01，***p<0.001；
与 AE 组比较，#p<0.05，##p<0.01，###p<0.001；
与 AE+VRPM 组比较，Δp<0.05，ΔΔp<0.01，ΔΔΔp<0.001；

图 1 各组抑郁患者组内脑电微状态比较

该研究通过方差分析 (ANOVA) 和事后检验，探讨了不同实验组在脑电微状态参数 (持续时间、出现次数、涵盖比) 上的差异，揭示了各组间脑活动特征的显著变化。

具体分析如下：对各组微状态持续时间进行方差分析，结果显示 AE+VRTM 组的微状态 A 持续时间显著较长 (p<0.05)，微状态 B 持续时间也显著延长 (p<0.01)。微状态 B 和 D 的持续时间无显著差异 (图 1- (1))。微状态 C 和 D 的出现次数在不同组间有显著差异 (p<0.05)，且 AE+VRPM 组在微状态 C 和 D 的出现次数显著增加 (p<0.01)，具体见图 1- (2)。微状态 B、C、D 的涵盖比分析显示显著差异 (p<0.05)，结果见图 1- (3)。

此外，研究还分析了不同类型脑电微状态之间的转换率差异，发现数据呈正态分布，并且各组之间存在显著差异 (p<0.05)。方差分析结果显示，AE 组和 AE+VRPM 组在微状态 A 与 C、C 与 B 之间的转换率显著增加 (p<0.05)，而 AE+VRTM 组在微状态 D 与 B 之间的转换率显著降低 (p<0.05)，如图 3 所示。这表明，实验组的脑电微状态转换率在不同实验条件下显著变化，尤其是 AE+VRTM 组在微状态 A 与 C 之间的高转换率及在微状态 D 与 B 之间的低转换率，反映了实验对脑电活动模式的影响。



*p<0.05，**p<0.01，***p<0.001；(各组间微状态转换差异：红箭头表示转换率增加，绿箭头表示减少)

图 2 各组组间脑电微状态转换率

表 2 各组组间脑电转换率参数特征 (x±s)

指标转换率	CG 组 (n=15)	AE 组 (n=15)	AE+VRPM 组 (n=15)	AE+VRTM 组 (n=15)	F	P
A to B	0.090±0.017	0.079±0.016	0.080±0.023	0.090±0.040	0.839	0.478
A to C	0.065±0.016	0.076±0.014	0.062±0.009	0.078±0.019	4.388	0.008
A to D	0.072±0.021	0.075±0.018	0.073±0.020	0.078±0.016	0.286	0.835
B to A	0.091±0.017	0.076±0.014	0.079±0.020	0.088±0.037	1.221	0.311
B to C	0.090±0.023	0.080±0.023	0.095±0.040	0.073±0.015	1.987	0.126
B to D	0.080±0.019	0.085±0.022	0.086±0.017	0.079±0.021	0.367	0.777
C to A	0.069±0.015	0.069±0.019	0.080±0.018	0.082±0.012	3.079	0.035
C to B	0.067±0.009	0.071±0.014	0.007±0.008	0.087±0.020	6.46	0.001
C to D	0.070±0.020	0.086±0.018	0.077±0.013	0.082±0.026	1.882	0.143
D to A	0.070±0.020	0.078±0.017	0.073±0.022	0.080±0.015	0.935	0.43
D to B	0.084±0.018	0.079±0.011	0.076±0.016	0.065±0.011	4.571	0.006
D to C	0.069±0.018	0.084±0.019	0.078±0.012	0.081±0.025	1.752	0.167

3 讨论

本研究深入探讨了亚临床抑郁症青少年在虚拟现实 (VR) 运动模式下的脑电微状态时间动力学与转换动力学指标的差异, 并首次探索了 VR 中不同运动模式与静息态脑电微状态成分的相关性。研究旨在评估 VR 场景结合运动干预对青少年亚临床抑郁症患者的认知与执行能力的影响。微状态的拓扑结构反映了大脑在不同认知任务和情感状态下的活动规律^[10], 能够揭示信息加工、决策制定和情感调控等过程中的神经机制^[11, 12]。通过分析不同微状态的拓扑结构, 我们能够更好地理解大脑如何在复杂的认知任务中协调各个区域的活动, 进而识别出与特定心理状态或疾病相关的神经机制。

本研究结果表明, 与对照组 (CG) 相比, AE+VRPM 组和 AE+VRTM 组在微状态 A 和 B 的持续时间上显著增加, 提示 VR 运动有助于改善患者的认知加工进程, 尤其是在视觉加工过程中。微状态 B 与视觉加工区域之间的复杂相互作用也得到了关注, 表明大脑如何协同工作以应对视觉信息处理。此外, 亚临床抑郁症患者的大脑在某些微状态下存在明显的功能性或结构性异常, 反映了其在应对压力和挑战时的一些神经机制减弱^[13, 14]。尤其是在情绪调节和信息整合的过程中^[15], 这些微状态的变化为理解亚临床抑郁症的潜在心理机制提供了重要线索。

进一步分析 AE+VRTM 组与其他组的神经生理特征时发现, AE+VRTM 组表现优于其他组, 特别是在微状态 D 的活动上, AE+VRTM 组的神经回路更加平衡, 信息处理能力更强。这可能解释了 VR 运动对青少年亚临床抑郁症的干预效果, 尤其是在视觉网络中的表现。AE+VRTM 组中, 视皮层神经元的激活程度较高^[16, 17], 神经元之间的转化速率显著高于对照组, 表明 VR 运动模式可能通过提高神经网络的活跃度来改善认知能力。这一发现为神经科学界提供了新的思路, 揭示了 VR 运动在神经网络活动中的潜在作用。

此外, AE+VRTM 组的微状态 C 的频率显著增加, 反映了整体认知加工效率的提升。微状态 C 被认为与大脑的恢复性功能密切相关^[18], 尤其是在静息态下的恢复过程。微状态 C 的增加可能表明大脑在进行认知加工时的灵活性和适应性提高, 这对于改善青少年抑郁症状和增强认知功能具有重要意义^[19, 20]。且这一变化与抑郁症治疗效果之间有密切关系, 表明微状态 C 可能作为评估抑郁症治疗效果的潜在指标。通过分析微状态的转化速率, 研究还发现微状态从 A 状态转变为 C 状态, 再从 C 状态转变为 A 状态的转化速率呈递增趋势, 进一步表明 AE+VRTM 组的认知加工效率得到了有效提升。

微状态 D 的出现次数和涵盖比在 AE+VRTM 组显著增加, 尤其是在 VR 运动模式下, 多个个体的合作有助于改善青少年的注意力缺陷^[21]。微状态 D 的变化也为理解注意力缺陷与认知障碍之间的关系提供了新的视角。尤其在抑郁症患者中, 微状态 D 的缺乏通常与认知功能受损和情绪不稳定密切相关^[22, 23]。本研究结果表明, VR 结合有氧运动的干预, 尤其是在多人合作的情境下, 能够有效改善这些症状。

综上所述, CG 组、AE 组、AE+VRPM 组和 AE+VRTM 组之间的结果显示显著差异, 这些差异表明, VR 与有氧运动的结合, 似乎能够更有效地改善青少年亚临床抑郁症的症状。具体而言, 微状态 C 的活动显著增加, 这一变化引发了对其与抑郁症治疗效果之间关系的深入思考。基于这一观察, 可以推测微状态 C 的发生率越高, 抑郁症的治疗效果可能越好。因此, 微状态 C 有潜力作为评估青少年亚临床抑郁症患者在干预后变化特征的重要指标。这一发现为未来的研究提供了新的方向, 尤其是针对如何进一步优化 VR 运动干预方案, 提升其在改善青少年心理健康中的效果。

4 结论

本研究进一步证实了运动能改善亚临床抑郁症, 运动

和 VR 的结合对一些青少年亚临床抑郁症患者在干预后的脑执行功能运动产生了积极影响,并在团队模式中有望改善青少年亚临床抑郁症患者的抑郁症状,提升其学习、注意力、视觉信息处理等认知功能以及其他认知结果。由此,有氧运动与 VR 团队模式结合可辅助干预可成为辅助干预青少年亚临床抑郁症的有效替代方法之一。

[参考文献]

[1]Liu C,Rotaru K ,Wang Z ,et al.Examining network structure of impulsivity and depression in adolescents and young adults: A two-sample study[J]. Journal of affective disorders,2024(362):54-61.

[2]Bodden D,Stikkelbroek Y,Dirksen C .Societal burden of adolescent depression,an overview and cost-of-illness study [J]. Journal of Affective Disorders,2018(241):256-262.

[3]Patton C G,Sawyer M S ,Santelli S J ,et al.Our future:a Lancet commission on adolescent health and wellbeing[J]. The Lancet,2016,387(10036):2423-2478.

[4]M J T,Bell A C,E T J,et al. Age,period,and cohort trends in mood disorder indicators and suicide-related outcomes in a nationally representative dataset,2005-2017[J]. Journal of abnormal psychology,2019,128(3):185-199.

[5]Zhong X,Pu W,Yao S.Functional alterations of fronto-limbic circuit and default mode network systems in first-episode,drug-naï ve patients with major depressive disorder:A meta-analysis of resting-state fMRI data[J]. Journal of Affective Disorders,2016(206):280-286.

[6]You H S,Jang H S,Kim H Y,et al.Virtual Reality - Induced Cortical Reorganization and Associated Locomotor Recovery in Chronic Stroke[J]. Stroke,2005,36(6):1166-1171.

[7]Shizhe Z,Youxin S,Ying S,et al.Effects of Virtual Reality Intervention on Cognition and Motor Function in Older Adults With Mild Cognitive Impairment or Dementia:A Systematic Review and Meta-Analysis[J]. Frontiers in Aging Neuroscience,2021(13):586999-586999.

[8]Park J,Yim J.A New Approach to Improve Cognition,Muscle Strength,and Postural Balance in Community-Dwelling Elderly with a 3-D Virtual Reality Kayak Program[J].The Tohoku Journal of Experimental Medicine,2015,238(1):1-8.

[9]梁安迪,赵闪光,宋婧,等.运动干预对女大学生抑郁症的治疗效果:脑电图微观状态和功率谱分析[J].可持续性,2021,13(12):6822-6822.

[10]Andi L,Shanguang Z,Jing S,et al.Treatment Effect of Exercise Intervention for Female College Students with Depression: Analysis of Electroencephalogram Microstates and Power Spectrum[J]. Sustainability,2021,13(12):6822-6822.

[11]Michel M C,Koenig T. EEG microstates as a tool for studying the temporal dynamics of whole-brain neuronal networks:A review[J]. NeuroImage,2017(180):577-593.

[12]Dietrich L,L P F,Silvana G,et al. EEG microstate duration and syntax in acute, medication-naive,first-episode schizophrenia:a multi-center study[J]. Psychiatry research,2005,138(2):141-56.

[13]Seitzman A B,Abell M,Bartley C S,et al. Cognitive manipulation of brain electric microstates[J]. NeuroImage,2016(146):533-543.

[14]W W S,Vinod M,F A S,et al. Dissociable intrinsic connectivity networks for salience processing and executive control[J].The Journal of neuroscience:the official journal of the Society for Neuroscience,2007,27(9):2349-56.

[15]Dietrich L,L P F,Silvana G,et al. EEG microstate duration and syntax in acute,medication-naive,first-episode schizophrenia:a multi-center study. [J]. Psychiatry research,2005,138(2):141-56.

[16]Michel M C,Koenig T. EEG microstates as a tool for studying the temporal dynamics of whole-brain neuronal networks:A review[J]. NeuroImage,2017(180):577-593.

[17]Fei G,Huubin J ,Xiangci W ,et al. Altered Resting-State EEG Microstate Parameters and Enhanced Spatial Complexity in Male Adolescent Patients with Mild Spastic Diplegia. [J]. Brain topography,2017,30(2):233-244.

[18]Ma Q,Zeng L,Shen H,et al. Altered cerebellar - cerebral resting-state functional connectivity reliably identifies major depressive disorder [J]. Brain Research,2013(1495):86-94.

[19]Bi K,Hua L,Wei M,et al. Dynamic functional - structural coupling within acute functional state change phases: Evidence from a depression

recognition study [J]. *Journal of Affective Disorders*, 2016(191):145-155.

[20] Kirill S, Sebastiaan W H V, Diana D, et al. Functional connectivity studies in migraine: what have we learned? [J]. *The journal of headache and pain*, 2019, 20(1):108.

[21] Granziera C, DaSilva M F A, Snyder J, et al. Anatomical alterations of the visual motion processing network in migraine with and without aura [J]. *PLoS Medicine*, 2006, 3(10):86.

[22] Hao Wang, Sheila G. Crewther, et al. Impaired Activation of Visual Attention Network for Motion Saliency Is Accompanied by Reduced Functional

Connectivity between Frontal Eye Fields and Visual Cortex in Strabismic Amblyopia [J]. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2017(11):195.

[23] Liu J, Girault B J, Nishino T, et al. Atypical functional connectivity between the amygdala and visual, saliency regions in infants with genetic liability for autism [J]. *Cerebral cortex (New York, N. Y. : 1991)*, 2024, 34(13):30-39.

作者简介：张智聪（2000—），男，汉族，硕士在读，陕西师范大学体育学院，研究方向：运动训练；赫典（2003—），男，汉族，硕士在读，陕西师范大学体育学院，研究方向：运动人体科学；彭婷（1997—）女，苗族，博士在读，陕西师范大学体育学院，研究方向：体育教育训练学。