

原发性失眠障碍与大脑行动模式网络的静息态功能核磁研究

张钰雯¹, 吴 晓^{2a}, 牟 兰¹, 刘晨诗³, 张铭铭¹, 刘 俊⁴, 杨 萍³, 刘 洁^{2b}

1. 西南医科大学临床医学院, 四川 泸州 646000; 2. 四川省医学科学院·四川省人民医院(电子科技大学附属医院) a. 中医骨科, b. 神经内科, 四川 成都 610072; 3. 电子科技大学医学院, 四川 成都 610054; 4. 成都市第六人民医院青龙场院区老年神经内科, 四川 成都 610051

【摘要】 目的 观察原发性失眠障碍患者(primary insomnia, PI)与正常人行动模式脑网络的差异,探索可能引发失眠症状的影像标记物。方法 2023年10月至2024年10月四川省人民医院门诊纳入55例PI患者(PI组),从医院职工及其家属中招募40例正常人(HC组)。收集参与者的一般信息、匹兹堡睡眠指数量表(PSQI)、失眠严重程度指数量表(ISI),所有患者均进行了静息态功能磁共振(rs-fMRI)扫描,对比两组在低频振幅(ALFF)、功能连接(FC)的差异并进行相关性分析。结果 PI组在行动模式网络的双侧三角部额下回、小脑蚓部、左内侧颞上回的ALFF值高于HC组,在左侧颞上回内侧与视觉网络中右侧舌回、双侧距状裂周围皮层FC低于HC组,在左侧三角部额下回与额顶网络中左侧缘上回及默认网络中左侧顶下缘角回FC高于HC($P<0.05$)。PI组PSQI及ISI量表分数和左侧三角部额下回与左侧缘上回之间FC值呈正相关($P<0.05$)。结论 PI患者的行动模式网络活动增强,左侧三角部额下回与左侧缘上回之间FC增强与失眠严重程度呈正相关。

【关键词】 原发性失眠障碍;行动模式网络;低频振幅;功能连接;默认模式网络

【中图分类号】 R741

【文献标志码】 A

【文章编号】 1672-6170(2026)03-0097-06

Magnetic resonance imaging study of primary insomnia disorder and resting state function of brain action pattern network

ZHANG Yu-wen¹, WU Xiao^{2a}, MOU Lan¹, LIU Chen-shi³, ZHANG Ming-ming¹, LIU Jun⁴, YANG Ping³, LIU Jie^{2b} 1. School of Clinical Medicine, Southwest Medical University, Luzhou 646000, China; 2a. Department of Traditional Chinese Medicine Orthopedics and Traumatology, 2b. Department of Neurology, Sichuan Academy of Medical Sciences & Sichuan Provincial People's Hospital (Affiliated Hospital of University of Electronic Science and Technology of China), Chengdu 610072, China; 3. School of Medicine, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China; 4. Department of Geriatric Neurology, Qinglongchang Campus, Chengdu Sixth People's Hospital, Chengdu 610051, China

【Corresponding author】 LIU Jie

【Abstract】 **Objective** To observe the differences in the action-mode brain network between patients with primary insomnia (PI) and healthy controls, and explore potential biomarkers associated with insomnia symptoms. **Methods** From October 2023 to October 2024, 55 PI patients were recruited from outpatient service of our hospital (PI group). Another 40 healthy controls were enrolled from hospital staff and their family members (HC group). General demographic data, Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) and Insomnia Severity Index (ISI) scores were collected. All participants underwent resting-state functional magnetic resonance imaging (rs-fMRI) scans. Differences in amplitude of low-frequency fluctuation (ALFF) and functional connectivity (FC) were compared between the two groups. The correlation analyses were also performed. **Results** Compared to the HC group, the PI group exhibited higher ALFF values in the bilateral triangular part of the inferior frontal gyrus, cerebellar vermis and left medial superior temporal gyrus within the action-mode network. The FC between the left medial superior temporal gyrus and the right lingual gyrus/bilateral calcarine cortices in the visual network in the HC group was lower than that in the PI group, while the FC between the left triangular part of the inferior frontal gyrus and the left supramarginal gyrus in the frontoparietal network as well as the left angular gyrus in the default mode network was higher ($P<0.05$). In the PI group, PSQI and ISI scores showed a positive correlation with FC values between the left triangular part of the inferior frontal gyrus and the left supramarginal gyrus ($P<0.05$). **Conclusions** Patients with PI demonstrate hyperactivation in the action-mode network. Enhanced FC between the left triangular part of the inferior frontal gyrus and the left supramarginal gyrus is positively correlated with insomnia severity.

【Key words】 Primary Insomnia; Action pattern network; Amplitude of low-frequency fluctuation; Functional connectivity; Default mode network

【基金项目】国家自然科学基金资助项目(编号:82304984);四川省自然科学基金资助项目(编号:2023NSFSC1762);四川省省干部保健科研项目(编号:川干研 2023-222);四川省医学科学院科研基金青年人才基金资助项目(编号:2022QN24);四川省级财政中医药发展专项资金科研资助项目(编号:30504011136);成都市科技局技术创新研发项目(编号:2024-YF05-01742-SN)

【通讯作者】刘 洁

原发性失眠障碍(primary insomnia, PI)表现为频繁而持续的入睡困难和(或)睡眠维持困难并导致日间症状^[1]。目前我国PI发病率已达15%^[2]。PI影响患者生活质量及疾病转归。尽管PI发病率高且危害大,但目前对于PI的神经生物学相关研究仍然知之甚少。PI发病机制的相关性研究主要集

中在研究睡眠相关神经递质、脑区活动兴奋的变化。最近一篇关于行动模式网络 (AMN) 的综述报道在启动和维持目标导向任务期间,背侧前扣带皮层、前岛叶(额下回)、缘上回及小脑蚓部等脑区活动增强,并将这部分脑区命名为 AMN,并认为 AMN 功能涉及警觉性增强及交感神经驱动等,且与默认模式网络(DMN)为拮抗关系^[3]。既往研究并未指出在 PI 中发现 AMN 相较正常人(HC)的不同,但有研究发现 PI 任务状态相关脑区的过度激活,这些脑区后来被归属于 AMN^[4]。这提示在 PI 中可能存在 AMN 过度激活的可能,本研究旨在通过静息态功能核磁成像(rs-fMRI)进一步探讨 PI 与 HC 在 AMN 的差别。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取 2023 年 10 月至 2024 年 10 月就诊于四川省人民医院门诊的 PI 患者 55 例(PI 组)和医院职工及其家属中招募 40 例正常人(HC 组)。患者纳入标准:①年龄 20~70 岁,右利手;②符合 2014 年发布的《国际睡眠障碍分类第三版》(ICSD-3)对于原发性失眠障碍的定义;③匹兹堡睡眠质量量表(PSQI)评分>7 分、失眠严重程度指数量表(ISI)评分>14 分,焦虑自评量表(SAS)标准分<69 分,汉密尔顿抑郁量表(HAMD)<20 分,汉密尔顿焦虑量表(HAMA)<21 分,抑郁自评量表(SDS)标准分<72 分;④患者近 2 月未服用镇静、安眠类药物;⑤患者同意参与试验,并签署知情同意书。患者排除标准:①年龄<18 岁或>70 岁;②有哮喘、二度或三度房室传导阻滞,甲亢、肿瘤、其他严重心律失常等疾病等疾病者;③患者 PSQI<7 分,ISI<8 分,24 项 HAMD \geq 20 分,HAMA \geq 21 分,SAS 标准分 \geq 69 分,SDS 标准分 \geq 72 分;④有药物滥用、药物依赖及酗酒史;⑤近三月有参加过其他临床试验者。本研究经过四川省人民医院伦理委员会批准[编号 NO:伦审(研)2023 年第 391 号]。所有受试者自愿签署知情同意书。

1.2 方法 统计两组一般临床资料、PSQI 及 ISI 量表评分,并采集三维(3D)高分辨率解剖成像及 rs-fMRI。分别对两组的 rs-fMRI 进行预处理,计算低频振幅(ALFF)、功能连接(FC)等数据。

rs-fMRI 扫描均在 3.0 T Elition X 磁共振扫描仪(荷兰阿姆斯特丹飞利浦公司)上完成,采用 32 通道鸟笼式头线圈。受试者被要求在扫描期间保持清醒、静止不动、避免思考,并闭眼。每次扫描持续约 20 分钟。磁共振扫描顺序包括:①3D 高分辨率解剖成像(MPRAGE);②8 分钟 rs-fMRI。功能像扫描参数为重复时间(TR)=2000 ms,视野(FOV)=

240 mm×240 mm×142 mm,体素大小 3.75 mm×3.75 mm×3.75 mm,矩阵=64×61×38,回波时间(TE)=30 ms,动态扫描次数 240,层间距=0.25 mm,层数 38;层扫描顺序:间隔采集;患者体位:仰卧位;频率编码方向:前/后(A/P);翻转角:90°;并行采集加速因子(PE):1;脂肪抑制:采用 SPIR 技术;层方向:矢状位;扫描时间:8 分 06 秒。三维高分辨率全脑结构像参数:TR=1.0 ms,FOV=256 mm×240 mm×224 mm,体素大小=0.8 mm×0.8 mm×0.8 mm,矩阵=320×300×280,TE=4.7 ms,层数 280,层间 0 mm;患者体位:头先进;脂肪抑制:无;患者体位:仰卧位;频率编码方向:前/后(A/P);翻转角:8°;层方向:矢状位;扫描时间:5 分 14 秒。

使用搭载在 MATLAB 上的 SPM12 工具包 RESTPLUS 进行预处理:①将 DICOM 文件转换为 NIFTI;②去除前 10 个时间点;③基于图像层数、扫描层序及扫描全脑花费时间 TR 进行时间层校正;④头动校正(移除任何方向头部运动>3 mm 的患者或运动旋转>3°的患者);⑤每个被试对齐后的图像时间序列与相对应的 T1 加权图像共配准,使用 DARTEL 配准工具将所有被试归一化到 MNI152 空间;⑥平滑;⑦去线性漂移,减少核磁设备的影响;⑧对头动参数、脑脊液及脑白质回归协变量。

数据在平滑处理后,使用带通滤波去除低频波动,对每个体素的低频波动求傅里叶变换,把各个体素的时间序列转换为频域,在体素水平上进行平方根变换,得到其功率谱,计算功率谱的平方根,对功率谱求和再除以时间点数取平均,最后使用全脑平均 ALFF 进行归一化,得到 zALFF。

对预处理后的图像数据进行带通滤波处理,保留 0.01~0.08 Hz 频段上信号。在 ALFF 显著差异脑区中选取感兴趣区域作为种子点,计算种子点到全脑其他体素时间序列的相关系数,利用 Fisher 的 Z 变换将其转换为 Z 值,得到与种子点 FC 有显著差异的脑区,计算种子点与显著差异脑区 FC 值。

1.3 统计学方法 采用 SPSS 29.0 统计软件分析数据。计数资料以例数(%)表示,组间比较采用卡方检验;计量资料以均数±标准差表示,组间比较采用独立样本 t 检验。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组一般临床资料及量表评分比较 PI 组 PSQI 和 ISI 评分高于 HC 组($P<0.001$),其余项目比较,差异均无统计学意义($P>0.05$)。见表 1。

表 1 两组一般临床资料及量表评分比较

项目	PI 组	HC 组	统计量	P
性别[n(%)]	男 26(29.76)	9(24.61)	$\chi^2=0.204$	0.651
	女 57(64.04)	22(73.91)		
年龄(岁)	40±12	37±11	$t=1.418$	0.080
体重(kg)	56.6±9.4	58.2±7.9	$t=-0.911$	0.182
身高(cm)	161.4±8.0	162.4±6.3	$t=-0.609$	0.272
IBM(kg/m ²)	21.6±2.8	21.6±3.8	$t=-0.048$	0.481
PSQI(分)	15.1±3.2	3.3±1.5	$t=23.360$	<0.001
ISI(分)	17.9±4.5	1.6±1.9	$t=23.212$	<0.001

2.2 两组 ALFF 值比较 PI 组在左侧三角部额下回(图 1a)、左侧颞上回内侧团块 1(图 1b)、左侧颞

上回内侧团块 2(图 1c)、右侧三角部额下回(图 1d)及小脑蚓部(图 1e)的 ALFF 值均高于 HC 组($P<0.05$)。见表 2。

2.3 种子点到全脑功能连接分析结果 选取左侧颞上回内侧团块 1 与左侧三角部额下回作为种子点,分别计算种子点与全脑体素的 FC。PI 组在左侧内侧颞上回团块 1 与右侧舌回(图 2a)、左侧距状裂周围皮层及右侧距状裂周围皮层(图 2b)的 FC 低于 HC 组,在左侧三角部额下回与左侧缘上回(图 2c)、左侧顶下缘角回(图 2d)的 FC 高于 HC 组($P<0.05$)。见表 3。

表 2 PI 组和 HC 组 ALFF 的差异性脑区

所属脑区	体素大小	AAL3 编号	MNI 坐标			t
			X	Y	Z	
原发性失眠障碍>正常人						
左侧三角部额下回	44	09	-36	24	21	6.91
左侧颞上回内侧团块 1	85	85	-48	-6	-6	6.40
左侧颞上回内侧团块 2	79	85	-60	-24	6	5.64
右侧三角部额下回	36	10	51	24	9	5.49
小脑蚓部	37	115	6	-60	-24	4.98

注:左侧颞上回内侧团块 1 位置靠近岛叶,左侧颞上回内侧团块 2 位置靠近颞中回

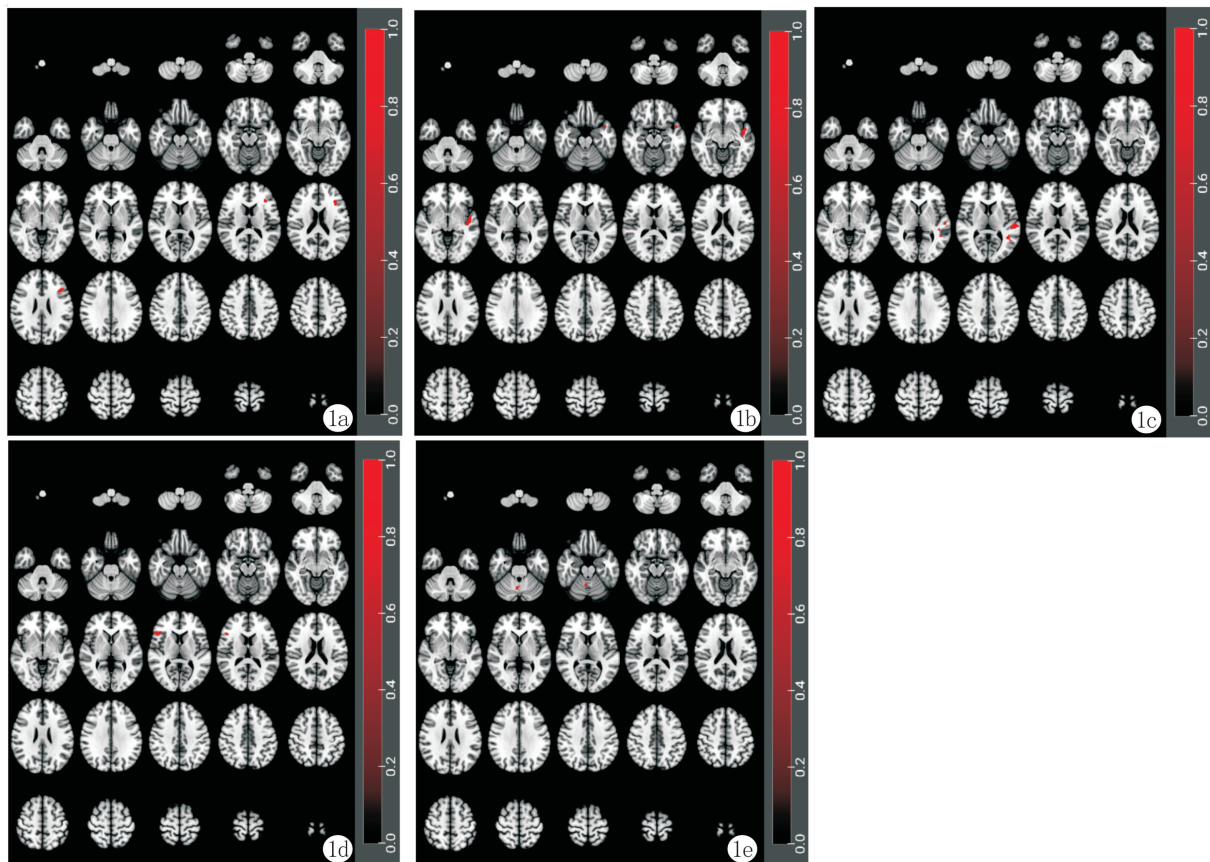


图 1 PI 组与 HC 组 ALFF 对比结果 a:红色部位显示原发性失眠障碍患者与正常人在左侧三角部额下回的 ALFF 值具有显著差异($P<0.05$);b:红色部位显示原发性失眠障碍患者与正常人在左侧颞上回内侧团块 1 的 ALFF 值具有显著差异($P<0.05$);c:红色部位显示原发性失眠障碍患者与正常人在左侧颞上回内侧团块 2 的 ALFF 值具有显著差异($P<0.05$);d:红色部位显示原发性失眠障碍患者与正常人在右侧三角部额下回的 ALFF 值具有显著差异($P<0.05$);e:红色部位显示原发性失眠障碍患者与正常人在小脑蚓部的 ALFF 值具有显著差异($P<0.05$)

表 3 PI 组和 HC 组有差异性的 FC

种子点和脑区的功能连接	体素大小	AAL3 编号	MNI 坐标			<i>t</i>
			X	Y	Z	
左侧颞上回内侧团块 1						
原发性失眠障碍<正常人						
右侧舌回	15	52	9	-60	12	5.46
左侧距状裂周围皮层、右侧距状裂周围皮层	28	47、48	0	-84	15	5.43
左侧三角部额下回						
原发性失眠障碍>正常人						
左侧缘上回	47	67	-57	-24	27	5.87
左侧顶下缘角回	18	65	-36	-54	45	5.20

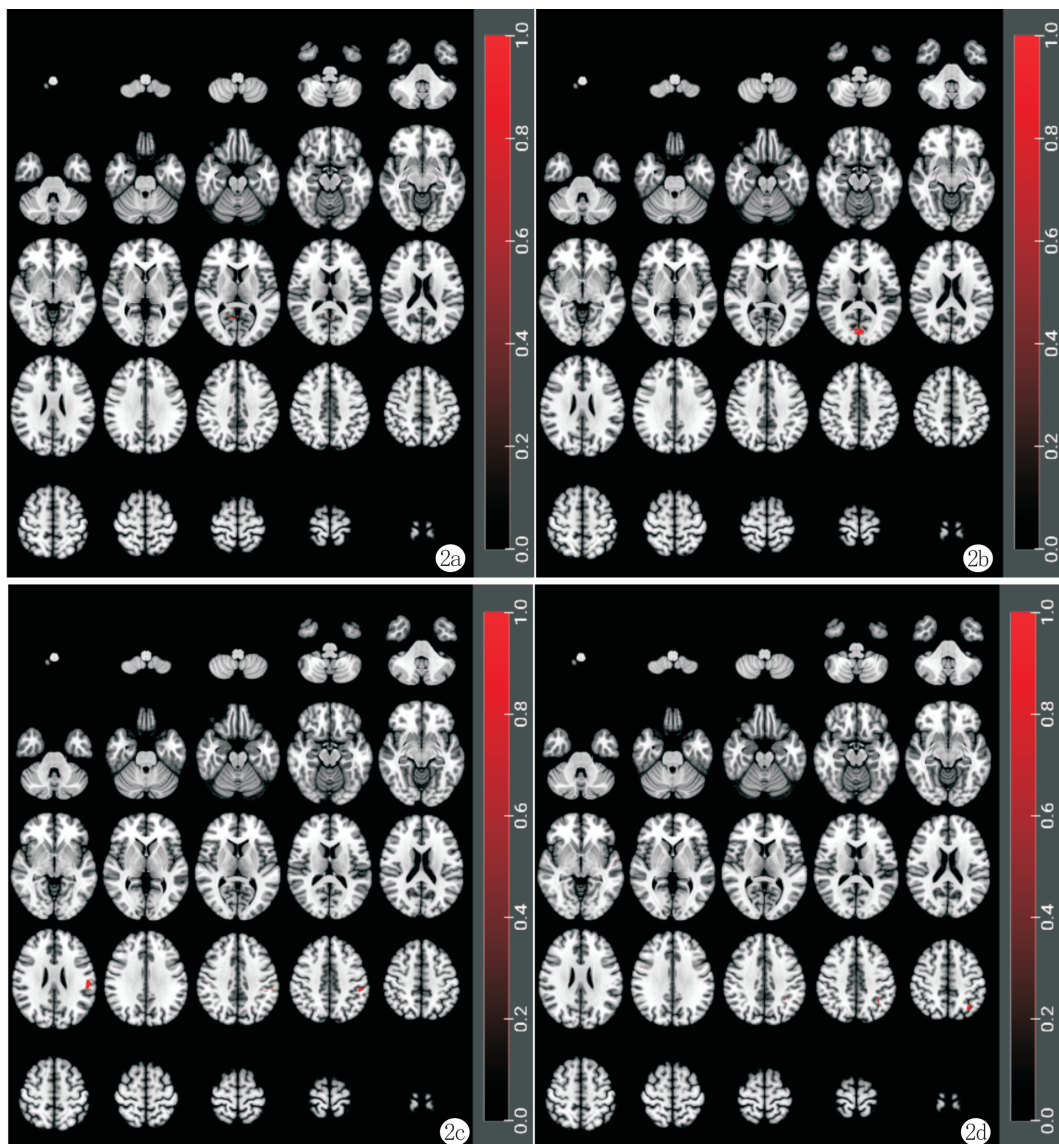


图 2 PI 组与 HC 组 FC 对比结果 a:红色部位显示原发性失眠障碍患者左侧颞上回内侧与右侧舌回的 FC 低于正常人($P<0.05$);b:红色部位显示原发性失眠障碍患者左侧颞上回内侧与双侧距状裂周围皮层 FC 低于正常人($P<0.05$);c:红色部位显示原发性失眠障碍患者在左侧三角部额下回与左侧缘上回 FC 高于正常人($P<0.05$);d:红色部位显示原发性失眠障碍患者在左侧三角部额下回与左侧顶下缘角回 FC 高于正常人($P<0.05$)

2.4 相关性分析 提取 PI 组左侧三角部额下回与左侧缘上回之间的 FC 值,计算其与 PI 组 PSQI 及 ISI 分数的相关性,结果显示 PI 组 PSQI 分数和左侧三角部额下回与左侧缘上回的 FC 呈正相关($r =$

$0.31, P<0.05$),PI 组 ISI 分数和左侧三角部额下回与左侧缘上回的 FC 同样呈正相关($r = 0.57, P<0.05$)。提取 PI 组左侧三角部额下回与左侧顶下缘角回之间的 FC 值,计算其与 PI 组 PSQI 及 ISI 分

数的相关性,结果未见明显相关。

3 讨论

PI 降低患者生活质量,并在多种疾病中作为共病进一步影响疾病转归。PI 的诊断主要依赖于患者主观睡眠评价,目前暂无客观评估标准。PI 的发病机制、相关生物标记物等尚需进一步研究。AMN 在过去根据解剖结构被叫做扣带盖网络(CON),CON 中额下回、背侧前扣带回后来被归为 AMN,随着研究进一步深入,最近的一篇综述将 CON 结构及功能进一步扩展,并重新定义为 AMN^[3]。既往研究发现 CON 与 PI 相关,CON 与听觉网络、视觉网络的 FC 强度改变与快速眼动睡眠(REM)的缺失有关^[5]。睡眠剥夺会影响 CON 功能,影响认知功能^[6],这些研究提示 PI 患者或许存在 AMN 的过度激活,于是本研究对比 PI 患者及正常对照组的 rs-fMRI 探索 AMN 在 PI 患者中的表现

ALFF 反映的是脑区在不同频率下血氧饱和和变化,ALFF 增强提示脑区活动活跃,反之则减弱。本研究发现 PI 患者在 AMN 中双侧三角部额下回、小脑蚓部及左侧内侧颞上回自发神经功能增强^[3],以上脑区在 AMN 中参与警觉性提高、目标维持、行动规划及交感神经驱动等活动。AMN 中三角部额下回与关注外界环境引起好奇心、维持注意力集中、目标导向行为和短期记忆有关^[7,8]。PI 患者三角部额下回活动增强,可能与 PI 患者过度关注环境变化以及情绪调节能力下降有关。有研究发现正常人群在睡眠剥夺后左侧丘脑与左侧三角部额下回功能连接减少,这可能与睡眠剥夺后情绪改变有关^[9]。一项对照 PI 患者与健康对照丘脑和三角部额下回白质束研究结果提示,PI 患者的左侧丘脑-三角部束完整性较健康对照组降低^[10]。对比 PI 患者及健康对照组之间皮质厚度发现,PI 患者的额下回皮质厚度小于健康对照组,并与失眠严重程度呈负相关,研究指出这或许与失眠相关的认知能力下降及抑郁等情绪有关^[11]。AMN 中小脑蚓部参与运动控制、认知记忆及情绪调节等功能。PI 患者小脑蚓部的活动增强可能与睡眠质量降低、运动协调受损及抑郁情绪相关^[10,12]。小脑蚓部功能完整性及神经传导效率与睡眠质量有关^[13],失眠会损伤小脑蚓部功能。PI 患者较正常人在小脑蚓部的脑电图聚类系数降低^[14]。一项动物研究发现睡眠剥夺小鼠的运动协调功能受损伴随着小脑蚓部小胶质细胞激活和炎症相关介质增加^[15]。PI 患者小脑蚓部的局部血流量较健康对照低,并且其低血流量与失眠严重程度呈负相关^[16]。AMN 中内侧颞上回参与听觉感知、行动决策及整合自身与环境等功能^[17]。

PI 患者内侧颞上回活动增强可能与夜间听觉敏感、耳鸣等表现有关,而这可进一步加重 PI 患者的入睡困难。PI 患者的颞上回功能活动增强,这可能与失眠患者的夜间听觉敏感有关,失眠患者夜间听觉警觉性增强导致其在入睡时对细微环境音敏感,从而影响入睡。一项比较失眠症患者和健康对照的灰质体积的研究结果发现,失眠症患者颞上回灰质体积较健康对照组明显不同^[18]。此外,研究发现耳鸣的发生与颞上回等听觉皮层功能失衡有关^[19],这或许可解释部分失眠症患者的持续性耳鸣表现^[20]。所以,PI 患者 AMN 的活动增强可能与警觉性增强、听觉敏感、过度关注外界变化及认知能力下降有关,这显示出 AMN 作为 PI 患者影像标记物的潜力。

基于种子点的功能连接分析是计算 ROI 与全脑体素之间 BOLD 时间序列相关系数,体现脑区之间功能连接强度。AMN 的重要脑区额下回与内侧颞上回与过度关注环境变化、听觉过敏、整合自身与外界等功能有关,既往研究发现 PI 患者中额下回与情绪相关脑区及认知相关脑区的 FC 与 PI 抑郁情绪及认知能力下降有关^[21],内侧颞上回作为语音加工重要脑区^[22],在 PI 患者中内侧颞上回灰质皮质体积减少与记忆力,视觉空间能力及与言语记忆力的下降有关。为了研究 AMN 活动增强对其他脑区及脑网络的影响,本次研究选取左侧内侧颞上回和左侧三角部额下回作为种子点,分别计算与全脑体素 FC。结果显示 PI 患者左侧颞上回内侧与视觉网络中中右侧舌回和双侧距状裂周围皮层的 FC 较健康对照降低,而左侧三角部额下回与缘上回和顶下缘角回之间 FC 较健康对照高。舌回是视觉皮层的重要脑区,参与场景的分析和文字的识别,同时也参与整合视觉与听觉之间的空间和时间对齐^[23]。双侧距状裂周围皮层与颞叶共同参与动态运动感知功能^[24]。失眠症患者左侧颞上回内侧与舌回和双侧距状裂周围皮层 FC 较正常对照降低,这或许与失眠症患者视听整合能力下降有关,这与既往研究发现 PI 患者需要更多次数的重复学习才能掌握乐器演奏,在沟通中需要更多的时间来理解别人说的话相对应^[25,26]。角回与缘上回共同组成顶下小叶,其中角回参与语音-动作整合及工作过程中暂存信息,缘上回与记忆提取及未来设想、情景的模拟有关^[27]。既往研究发现,PI 患者顶下小叶与三角部额下回的 FC 增强与失眠症患者睡眠难以控制的未来设想、情景记忆有关^[28],同时还与 PI 患者焦虑、抑郁等负面情绪相关^[27]。

PI 患者 PSQI、ISI 量表分数与左侧三角部额下回与左侧缘上回之间 FC 均为正相关。提示 PI 患

者失眠严重程度越高,左侧三角部额下回与左侧缘上回之间 FC 越高,结合既往研究结果,这或许与 PI 患者失眠症状越重,出现噩梦、焦虑、抑郁等表现风险和程度越高有关^[29]。

本研究对比 PI 组及 HC 组 rs-fMRI,结果显示,PI 组 AMN 活动较 HC 组增强,PI 组左侧三角部额下回与左侧缘上回之间 FC 与失眠严重程度呈正相关。目前失眠症生物标记物仍在探索阶段,此次研究补充 PI 患者在 AMN 相关网络的表现,AMN 网络活动增强或许为其影像学潜在标记物,这可进一步在 PI 的诊断及寻找治疗靶点等提供一定价值。

【参考文献】

- [1] Sateia MJ. International classification of sleep disorders-third edition: Highlights and modifications [J]. *Chest*, 2014, 146(5): 1387-1394.
- [2] Klimek F, Jacobi C, Brähler E, et al. Insomnia symptoms in adulthood. Prevalence and incidence over 25 years [J]. *Sleep Med*, 2023, 109: 240-244.
- [3] Dosenbach NUF, Raichle ME, Gordon EM. The brain's action-mode network [J]. *Nat Rev Neurosci*, 2025, 26(3): 158-168.
- [4] Dong X, Qin H, Wu T, et al. Rest but busy: Aberrant resting-state functional connectivity of triple network model in insomnia [J]. *Brain Behav*, 2018, 8(2): e00876.
- [5] Di T, Zhang L, Meng S, et al. The impact of rem sleep loss on human brain connectivity [J]. *Transl Psychiatry*, 2024, 14(1): 270.
- [6] Zhou X, Wu T, Yu J, et al. Sleep deprivation makes the young brain resemble the elderly brain: A large-scale brain networks study [J]. *Brain Connect*, 2017, 7(1): 58-68.
- [7] van Lieshout LLF, Vandenbroucke ARE, Müller NCJ, et al. Induction and relief of curiosity elicit parietal and frontal activity [J]. *J Neurosci*, 2018, 38(10): 2579-2588.
- [8] Osada T, Nakajima K, Shirokoshi T, et al. Multiple insular-prefrontal pathways underlie perception to execution during response inhibition in humans [J]. *Nat Commun*, 2024, 15(1): 10380.
- [9] Li BZ, Cao Y, Zhang Y, et al. Relation of decreased functional connectivity between left thalamus and left inferior frontal gyrus to emotion changes following acute sleep deprivation [J]. *Front Neurol*, 2021, 12: 642411.
- [10] Kang JMK, Joo SWJ, Son YDS, et al. Low white-matter integrity between the left thalamus and inferior frontal gyrus in patients with insomnia disorder [J]. *J Psychiatry Neurosci*, 2018, 43(6): 366-374.
- [11] Falgouts N, Illán-Gala I, Allen IE, et al. Specific cortical and subcortical grey matter regions are associated with insomnia severity [J]. *PLoS One*, 2021, 16(5): e0252076.
- [12] Chao OY, Pathak SS, Zhang H, et al. Social memory deficit caused by dysregulation of the cerebellar vermis [J]. *Nat Commun*, 2023, 14(1): 6007.
- [13] Loschky SS, Spano GM, Marshall W, et al. Ultrastructural effects of sleep and wake on the parallel fiber synapses of the cerebellum [J]. *Elife*, 2022, 11:e84199.
- [14] Ma Y, Fu S, Ye X, et al. Aberrant single-subject morphological cerebellar connectome in chronic insomnia [J]. *Neuroimage Clin*, 2023, 39: 103492.
- [15] Wang K, Liu J, Xie J, et al. Sleep deprivation from mid-gestation leads to impaired of motor coordination in young offspring mice with microglia activation in the cerebellar vermis [J]. *Sleep Med*, 2024, 115: 193-201.
- [16] Xu M, Wang Q, Li B, et al. Cerebellum and hippocampus abnormalities in patients with insomnia comorbid depression: A study on cerebral blood perfusion and functional connectivity [J]. *Front Neurosci*, 2023, 17: 1202514.
- [17] Petrides M. On the evolution of polysensory superior temporal sulcus and middle temporal gyrus: A key component of the semantic system in the human brain [J]. *J Comp Neurol*, 2023, 531(18): 1987-1995.
- [18] Zhang H, Sun H, Li J, et al. Subtypes of insomnia revealed by the heterogeneity of neuroanatomical patterns: A structural mri study [J]. *Biol Psychol*, 2023, 180: 108591.
- [19] Tang D, Li H, Chen L. Advances in understanding, diagnosis, and treatment of tinnitus [J]. *Adv Exp Med Biol*, 2019, 1130: 109-128.
- [20] Aazh H, Heinonen-Guzejev M, Moore BCJ. The relationship between hearing loss and insomnia for patients with tinnitus [J]. *Int J Audiol*, 2020, 59(1): 68-72.
- [21] Wang T, Yan J, Li S, et al. Increased insular connectivity with emotional regions in primary insomnia patients: A resting-state fmri study [J]. *Eur Radiol*, 2017, 27(9): 3703-3709.
- [22] Bhaya-Grossman I, Chang EF. Speech computations of the human superior temporal gyrus [J]. *Annu Rev Psychol*, 2022, 73: 79-102.
- [23] Huang J, Reinders A, Wang Y, et al. Neural correlates of audiovisual sensory integration [J]. *Neuropsychology*, 2018, 32(3): 329-336.
- [24] Kim JG, Gregory E, Landau B, et al. Functions of ventral visual cortex after bilateral medial temporal lobe damage [J]. *Prog Neurobiol*, 2020, 191: 101819.
- [25] Oude Lohuis MN, Marchesi P, Olcese U, et al. Triple dissociation of visual, auditory and motor processing in mouse primary visual cortex [J]. *Nat Neurosci*, 2024, 27(4): 758-771.
- [26] Peelle JE, Spehar B, Jones MS, et al. Increased connectivity among sensory and motor regions during visual and audiovisual speech perception [J]. *J Neurosci*, 2022, 42(3): 435-442.
- [27] Lai M, Gao Y, Lu L, et al. Functional connectivity of the left inferior parietal lobule mediates the impact of anxiety and depression symptoms on sleep quality in healthy adults [J]. *Cereb Cortex*, 2023, 33(17): 9908-9916.
- [28] Schiel JE, Holub F, Petri R, et al. Affect and arousal in insomnia: Through a lens of neuroimaging studies [J]. *Curr Psychiatry Rep*, 2020, 22(9): 44.
- [29] Hussami AA, Guillet C, Aravantinos D, et al. Severe insomnia with nightmares [J]. *Rev Neurol (Paris)*, 2021, 177(8): 1036-1037.

(收稿日期:2025-04-30;修回日期:2025-06-29)

(本文编辑:林 贇)