

留守经历成年人脑结构功能改变与 rs12678428 多态性的相关性

吕梦华, 莫 茵

(昆明医科大学第一附属医院医学影像科, 云南 昆明 650032)

[摘要] **目的** 探讨童年留守经历与抑郁风险基因 rs12678428 多态性对成年期脑结构及功能的影响。**方法** 在 2022 年 9 月至 2025 年 8 月间招募南方有无留守经历的健康成年人 303 名, 采集人口学资料静脉血及 MRI 数据。根据 rs12678428 是否携带 T 等位基因分为 TT+TC 和 CC 两组; 计算非留守组和留守组志愿者不同基因型间灰质体积(gray matter volume, GMV)、低频振幅(amplitude of low frequency fluctuation, ALFF)、低频振幅分数(fractional amplitude of low frequency fluctuation, fALFF)、局部一致性(regional homogeneity, ReHo)、度中心性(degree centrality, DC)差异的脑区, 分析差异脑区的功能, 探讨留守经历、rs12678428 多态性和脑结构、功能间的关系。**结果** TT+TC 与 CC 两组间性别、年龄及受教育程度比较差异均无统计学意义($P > 0.05$); 非留守组中 TT+TC 与 CC 两组间 GMV、ALFF、ReHo、DC 存在统计学差异($P < 0.05$), 差异脑区主要位于双侧岛叶、颞叶、中央后回及梭状回等区域; 留守组中 TT+TC 与 CC 两组间 GMV、ALFF、fALFF、ReHo 存在统计学差异($P < 0.05$), 差异脑区主要位于双侧距状裂周围皮层、舌回、中央前后回及尾状核等区域。**结论** rs12678428 基因多态性与脑结构和功能改变密切相关, 留守经历可能影响其作用模式。

[关键词] rs12678428; 童年留守经历; 成年人; 脑结构; 脑功能

[中图分类号] R445.2 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 2095 - 610X(2026)07 - 0055 - 07

Correlation Study of Brain Structural and Functional Alterations in Adults with Childhood Left-behind Experience and rs12678428 Polymorphism

LÜ Menghua, MO Yin

(Department of Medical Imaging, The First Affiliated Hospital of Kunming Medical University, Kunming Yunnan 650032, China)

[Abstract] **Objective** To explore the effects of childhood left-behind experiences and the depression-related risk gene rs12678428 polymorphism on brain structure and function in adulthood. **Methods** Healthy adults from southern China, with or without left-behind experiences, were recruited between September 2022 and August 2025. Demographic data, venous blood samples and MRI data were collected. Participants were divided into two genotype groups according to the presence of the T allele of rs12678428: TT+TC and CC. Gray matter volume (GMV), amplitude of low-frequency fluctuation (ALFF), fractional ALFF (fALFF), regional homogeneity (ReHo), and degree centrality (DC) were compared between different genotypes in the non-left-behind and left-behind groups. The functions of differential brain regions were analyzed, and the relationships among left-behind experience, rs12678428 polymorphism, and brain structure and function were further explored. **Results** No significant differences in gender, age, or education level were found between the TT+TC and CC groups ($P > 0.05$). In the non-left-behind group, significant differences in GMV, ALFF, ReHo, and DC were observed between TT+TC and CC genotypes ($P < 0.05$), mainly in the bilateral insula, temporal lobe, postcentral gyrus and fusiform gyrus.

[收稿日期] 2026 - 03 - 03

[基金项目] 国家自然科学基金(82160275)

[作者简介] 吕梦华(1993 ~), 女, 云南曲靖人, 在读硕士研究生, 主管技师, 主要从事磁共振技术研究工作。

[通信作者] 莫茵, E-mail: 13888905910@163.com

In the left-behind group, significant differences in GMV, ALFF, fALFF, and ReHo were found between TT+TC and CC genotypes ($P < 0.05$), predominantly in the bilateral pericalcarine cortex, lingual gyrus, precentral gyrus, postcentral gyrus and caudate nucleus. **Conclusion** The rs12678428 gene polymorphism is closely associated with alterations in brain structure and function, and left-behind experiences may modulate its pattern of effects.

[**Key words**] Rs12678428; Childhood left-behind experience; Adults; Brain structure; Brain function

在我国城镇化快速推进的背景下,大量农村劳动力向城市转移,催生了一个特定的未成年人群体——留守儿童。该群体通常被定义为父母单方或双方离开户籍所在地外出务工持续超过六个月,因而留在原籍地独自生活、由父母中未外出的一方照料,或交由其他亲友监护且年龄在 16 周岁以下、无法同父母一起居住的儿童^[1]。统计数据显示,截至 2021 年末,全国农村留守儿童数约 643 万人^[2]。

童年期的留守经历可能对个体生长发育的多阶段产生影响,且其表现存在明显的个体差异。研究表明,儿童阶段的留守经历可能提示其在成年期出现认知功能减退、行为异常以及身心疾病发生的风险^[3]。早期经历对神经系统结构与功能的发育及成熟具有深远影响,尤其涉及大脑皮质、海马和杏仁核等关键脑区^[4],幼年时期经历父母分离、照顾不足和虐待等不良应激,可导致胼胝体体积缩小^[5],额叶和顶叶脑白质减少,进而干扰神经环路形成,损害记忆、学习及运动协调能力^[6]。在慈善机构内成长的儿童至成年期,其全脑灰质及白质体积均呈现减小趋势^[7]。此外,遗传因素也在相关精神病理机制中扮演重要角色。rs12678428 位于 MAPK/ERK 信号通路相关基因区域,该通路情绪调节、神经可塑性及抑郁发生密切相关。一项针对 ERK-rs12678428 基因多态性的研究发现,在重型抑郁障碍患者中,携带“T”等位基因的个体相较于携带“C”等位基因者,其左侧颞上回 ALFF 值降低,而右侧枕下回、右侧顶角缘上回 ALFF 值升高;同时,在右侧颞中回、右侧缘上回“T”等位基因携带者的 ReHo 值显著高于“C”等位基因携带者,该结果提示重型抑郁障碍患者特定脑区的功能异常可能与遗传背景存在关联^[8];然而留守儿童成年后脑结构功能变化与环境机制、基因多态性间的关系尚不清楚。因此,本研究针对童年留守经历是否可调节 rs12678428 基因多态性对成年人脑结构及脑功能的影响展开探讨,研究结果证实留守经历可调控该基因多态性对大脑结构与功能的作用效应,初步验证了研究假设。这为后续深入探讨 rs12678428 基因型调控脑功能的分子机制、留守经历对该调

控过程的影响提供了一定的实验基础。

1 资料与方法

1.1 研究对象

在 2022 年 9 月至 2025 年 8 月间前瞻性连续招募南方有或无留守经历的成年健康志愿者 303 人,并尽量保持组间同质背景(例如受教育程度、社会经济地位、年龄等条件)。收集所有志愿者人口学特征和留守信息。

1.2 纳入和排除标准

留守组纳入标准:(1)在南方县级以下行政单位生活超过 16 年,留守经历 ≥ 2 年;(2)20~40 岁,汉族,右利手;(3)健康、发育良好:无精神及神经疾病史、无药物成瘾史及头部外伤史,无核磁共振禁忌证。排除标准:(1)头颅 MRI 异常;(2)不能采集静脉血者;(3)空间矫正后水平头动大于 3 mm 或旋转头动大于 3° 者。对照组纳入标准:在南方县级以下行政单位生活超过 16 年但无留守经历,其余和留守组纳入标准相同。排除标准同留守组。本课题已通过昆明医科大学第一附属医院伦理委员会批准(2023-L-49),所有志愿者理解并自愿参与本研究并签署知情同意书。

1.3 研究方法

1.3.1 图像采集 采用美国 GE Discovery MR 750W 3.0TMR 扫描仪,使用 24 通道头颈联合线圈采集头颅数据。志愿者采用脚先进仰卧位,戴耳塞以隔绝噪声,为防止检查时志愿者不自主移动,用海绵垫固定头部,采集时嘱志愿者保持清醒,增加检查成功率。扫描序列包括常规 T₂WI、T₁WI 及 FLAIR(用于判断志愿者脑结构是否正常)、3D-T₁WI(计算 GMV)、Resting-state functional MRI(观察 ALFF、fALFF、ReHo、DC,用于静息态下局部活动强度、局部活动一致性及感兴趣区的功能链接的比较)扫描范围包括整个脑实质。扫描序列及具体参数见表 1。

1.3.2 图像后处理 3D-T₁WI 数据使用 Matlab-2022a(<http://ww2.mathworks.cn>)平台的 SPM12 及 CAT12 工具包进行大脑皮质灰质体积的计算。rs-fMRI 后处理使用 Matlab2021a、SPM12(<http://www.spm-rs.org/>)

表 1 扫描序列参数表
Tab. 1 Parameters of each scan sequence

序列	扫描方位	TR(ms)	TE(ms)	FOV(cm)	层厚/ 层间距(mm)	相位编码方向	激励次数	其他
PropellerT ₂ WI	横断面	4 859	115	24×24	6/2	左右	1.5	—
T ₁ WI	横断面	1900	20	24×24	6/2	左右	1	—
FLAIR	横断面	6 000	120	24×24	6/2	左右	2	—
3D-T ₁ WI	横断面	8.8	3.2	25.6×25.6	1/0	左右	1	—
BOLD	横断面	2000	30	22.4×22.4	3/1	左右	1	时间点=160

fil.ion.ucl.ac.uk/spm) 和 DPABI(<http://rfmri.org>) 下 DPARSF5.4 工具包进行, 分别得出 ALFF、fALFF、ReHo、DC 数据。

1.3.3 rs12678428 基因分型 采集每位入组志愿者肘正中静脉血 4 mL, 血液样本置于-80℃冰箱内保存, 后将所有血液样本送至华大六合公司, 使用 Massarray 法将 rs12678428 位点分成 TT+TC 和 CC 两种基因型。

1.4 统计学分析

采用 SPSS27.0 软件进行数据分析。正态分布的计量资料以均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示, 两组间比较采用成组 *t* 检验, 非正态分布的计量资料以 $M(P_{25} \sim P_{75})$ 表示, 两组间的比较采用 Mann-Whitney *U* 检验。计数资料两组间比较采用 χ^2 检验。等位基因频率与基因型频率采用 Hardy-Weinberg 平衡检验; 使用 DPABI 自带工具包, 以性别、年龄、受教育年限为协变量, 比较组间灰质体积、ALFF、fALFF、ReHo、DC 差异脑区。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 人口学资料

本课题共招募 303 名志愿者, 排除头动不符合标准者 18 名, rs12678428 基因型未检出者 30 名, 最终入组人数 255 名, 其中留守组 126 名, 非留守组 129 名。留守组和非留守组志愿者中, 两组基因型的年龄、性别、受教育年限差异均无统计学意义($P > 0.05$), 见表 2。

2.2 rs12678428 Hardy-Weinberg 遗传平衡检验

留守组中, rs12678428 等位基因频率与基因型频率未达到遗传平衡状态($P < 0.05$); 在非留守组中, 达到遗传平衡状态($P > 0.05$), 见表 3。

2.3 非留守组不同基因型间脑结构与功能差异

非留守人群中 rs12678428 TT+TC 基因型与 CC 基因型间灰质体积(gray matter volume, GMV)、低频振幅(amplitude of low frequency fluctuation, ALFF)、局部一致性(regional homogeneity, ReHo)、

表 2 rs12678428 基因型 TT+TC、CC 组间人口学资料 [$M(P_{25}, P_{75})/n(\%)$]
Tab. 2 Demographic data between rs12678428 TT+TC and CC groups [$M(P_{25}, P_{75})/n(\%)$]

参数	留守组		Z/χ^2	<i>P</i>	非留守组		Z/χ^2	<i>P</i>
	TT+TC(<i>n</i> =83)	CC(<i>n</i> =43)			TT+TC(<i>n</i> =96)	CC(<i>n</i> =33)		
年龄	25(23, 26)	24(22, 26)	-0.955	0.340	24(23, 26)	24(23, 25)	-0.879	0.379
性别			0.665	0.415			0.111	0.739
男	35(42.17)	21(48.84)			41(42.71)	13(39.40)		
女	48(57.83)	22(51.16)			55(57.29)	20(60.60)		
受教育年限	16(16, 19)	16(16, 16)	-1.637	0.102	19(16, 19)	19(16, 19)	-0.378	0.705

表 3 rs12678428 基因型 Hardy-Weinberg 遗传平衡检验
Tab. 3 Hardy-Weinberg genetic equilibrium test for rs12678428 genotype

组别	基因型			等位基因		χ^2	<i>P</i>
	TT	TC	CC	T	C		
留守组	40	43	43	123	129	12.668	0.001*
非留守组	29	67	33	125	133	0.196	0.658

* $P < 0.05$ 。

度中心 (degree centrality, DC) 比较, 经 GRF 校正 (voxel $P < 0.001$, cluster $P < 0.05$) 后, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 见表 4、图 1。

2.4 留守组不同基因型间脑结构与功能差异

留守人群中 rs12678428 TT+TC 基因型与 CC 基因型间灰质体积 (GMV)、低频振幅 (ALFF)、低频振幅分数 (fALFF)、局部一致性 (ReHo) 比较, 经 GRF 校正 (voxel $P < 0.001$, cluster $P < 0.05$) 后, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 见表 5、图 2。

3 讨论

本研究分别在留守组与非留守组中探讨了 rs12678428 基因多态性 (TT+TC 型和 CC 型) 与脑结构及脑功能之间的关联, 结果显示两组人群脑结构与功能在不同基因型间均存在显著差异脑区 ($P < 0.05$), 然而这些差异在脑区的分布、指标类型及变化趋势上呈现出明显的特异性。这提示 rs12678428 基因型对脑结构和功能的调控可能受到“留守经历”这一环境因素的影响。

在非留守人群中, rs12678428TT+TC 基因型与 CC 基因型间灰质、ALFF、ReHo、DC 四项指标均存在统计学差异。灰质差异主要集中在左侧颞中、下回, 右侧岛叶及左侧岛叶。颞叶与岛叶均参与认知功能、情绪调节、语言加工等生理过

程^[9-12], 提示非留守人群中 rs12678428 基因型差异可能通过影响这些脑区的灰质结构, 进而调控相关神经功能。ALFF 差异主要表现为左侧颞叶上、中、下回及左侧缘上回, 右侧中央沟区及右侧颞中、上回的 ALFF 值降低。ALFF 作为反映脑区自发神经活动强度的核心指标^[13-15], 其降低提示相关脑区的基础神经活动减弱, 可能与认知控制、感觉整合功能相关。ReHo 差异主要位于右侧颞上、中回及左侧中央后回。ReHo 反映脑区局部神经元活动的同步性^[16], 其异常提示相关脑区的神经活动协调性改变, 而中央后回参与躯体感觉加工^[17], 颞叶与记忆、情绪调节相关, 推测基因型差异可能影响非留守人群的躯体感觉与情绪调节功能。DC 差异涉及左侧梭状回、枕下回、左小脑 Crus1, 右侧梭状回、枕下回、颞下回及双侧中央后回, 其中双侧中央后回 DC 值降低, DC 反映脑区与全脑其他区域的功能连接强度, 其异常提示相关脑区的功能连接网络受损^[16], 梭状回、枕下回参与视觉加工^[18-19], 进一步说明 rs12678428 基因型可能调控非留守人群的视觉、躯体感觉及全脑功能连接。

与非留守人群不同, 留守人群中 rs12678428 TT+TC 基因型与 CC 基因型间灰质、ALFF、fALFF、ReHo 指标存在统计学差异。灰质差异主要集中在双侧距状裂周围皮层及舌回, 距状裂周围皮层

表 4 非留守人群中 rs12678428TT+TC 和 rs12678428CC 间 GMV、ALFF、ReHo、DC 差异
Tab. 4 Differences in gray matter volume, ALFF, ReHo, and DC between rs12678428TT+TC and CC groups in the non-left-behind population

名称	Cluster	AAL脑区	峰值 t 值	P	Cluster大小(体素)	峰值点MNI坐标X, Y, Z
GMV	Cluster1	左侧颞中、下回	3.876	<0.05*	2215	-39, 4.5, -40.5
	Cluster2	右侧岛叶	3.681		3475	36, 15, 9
	Cluster3	左侧岛叶	4.367		3041	28.5, 15, 9
ALFF	Cluster1	左侧颞叶上、中、下回 左侧缘上回	-3.455		386	-54, -54, 9
	Cluster2	右侧中央沟区 右侧颞中、上回	-3.351		170	60, 9, -9
ReHo	Cluster1	右侧颞上、中回	-3.191		178	66, -9, 12
	Cluster2	左侧中央后回	-3.746		142	-63, -12, 24
DC	Cluster1	左侧梭状回 左侧枕下回 左小脑Crus1	3.679		346	-39, -75, 21
	Cluster2	右侧梭状回 右侧枕下回 右侧颞下回	3.038		141	48, -66, -12
	Cluster3	左侧中央后回	-3.987		190	-54, 3, 27
	Cluster4	右侧中央后回	-3.987		259	42, -24, 39

注: t 值为负值表示基因型 TT+TC 组的 GMV、ALFF、ReHo、DC 小于基因型 CC 组, 正值则相反; * $P < 0.05$; 表中 P 值为显著簇经 GRF 校正后的 cluster-level P 值。

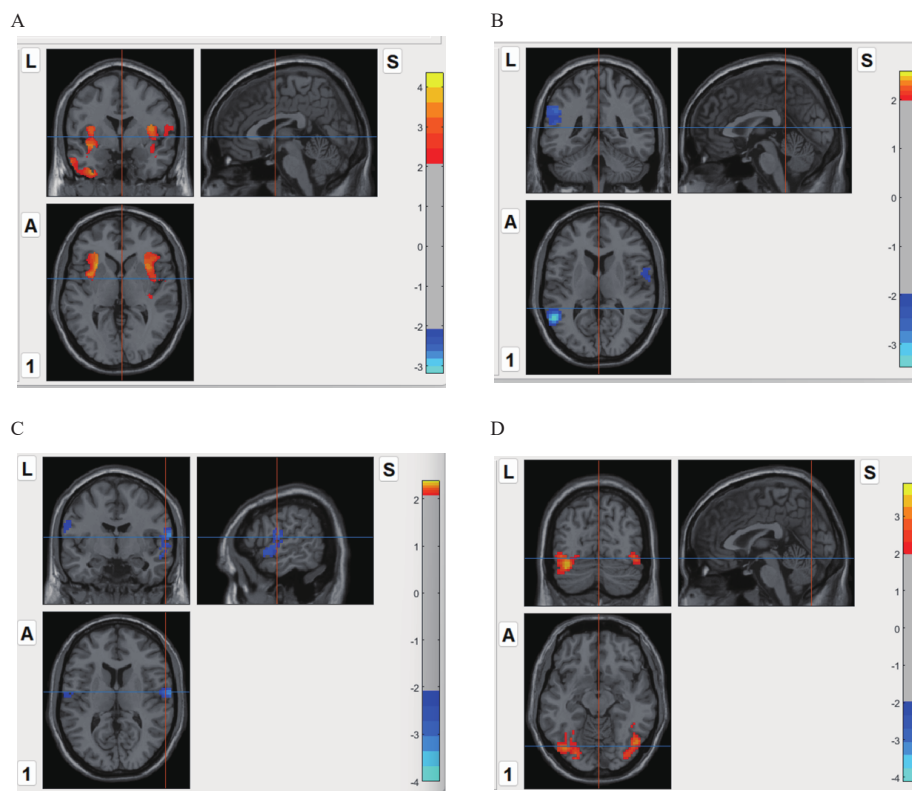


图1 非留守人群中 rs12678428TT/TC 和 rs12678428CC 间 GMV、ALFF、ReHo、DC 差异

Fig. 1 Differences in gray matter volume, ALFF, ReHo, and DC between rs12678428TT+TC and CC groups in the non-left-behind population

A: 非留守人群中 rs12678428TT+TC 与 rs12678428CC 间 GMV 差异; B: 非留守人群中 rs12678428TT+TC 与 rs12678428CC 间 ALFF 差异; C: 非留守人群中 rs12678428TT+TC 与 rs12678428CC ReHo 差异; D: 非留守人群中 rs12678428TT+TC 与 rs12678428CC 间 DC 差异。

与舌回均为视觉皮层的重要组成部分^[20-21], 这可能提示留守人群中 rs12678428 基因型差异主要影响视觉相关脑区的灰质结构。ALFF 差异表现为右侧距状裂周围皮层、右侧楔叶的 ALFF 值降低, 以及右侧中央前回、中央后回的 ALFF 值升高, 提示留守人群中基因型差异可能导致视觉相关脑区自发神经活动减弱, 而运动感觉相关脑区自发神经活动增强, 可能与留守人群长期的生活环境、社交体验导致的神经功能适应性改变相关。此外, 留守人群中还发现双侧距状裂周围脑区 fALFF 值降低, fALFF 可更精准地反映脑区自发神经活动, 其异常进一步佐证了基因型对留守人群视觉相关脑区神经活动的调控作用。ReHo 差异涉及多个脑区, 包括左侧颞下回、左侧小脑半球, 双侧尾状核, 左侧中央前回、中央后回及右侧中央前回(均为负值), 尾状核参与情绪调节与运动控制^[22], 颞下回参与记忆与语言加工, 中央前、后回参与运动与感觉功能, 提示留守人群中 rs12678428 基因型差异可能通过影响这些脑区的神经活动同步性, 调控情绪、运动、记忆等相关神经功能。

本研究通过规范的样本筛选, 获得了基线人口学资料均衡的研究样本, 遗传平衡检验进一步验证了样本的群体代表性(非留守组), 同时明确了留守组与非留守组中 rs12678428 不同基因型间脑结构与脑功能指标的差异特征, 且这种差异存在人群异质性, 提示留守经历与 rs12678428 基因型可能存在关联, 共同调控脑结构与脑功能。基线资料的均衡性确保了上述脑影像学差异可能归因于基因型差异与留守经历间的调节, 而非人口学混杂因素的影响, 虽然各受试者均为健康成年人, 但影像指标的细微差异可能提示潜在神经功能易感性或代偿性改变, 为后续深入探讨 rs12678428 基因型调控脑功能的分子机制、留守经历对该调控过程的影响提供了一定的实验基础。

本研究仍存在一定局限性: (1) 仅对年龄、性别、受教育年限三个核心人口学指标进行了基线均衡性分析, 后续研究可进一步扩大混杂因素的分析范围, 使研究结论更具严谨性; (2) 留守组 rs12678428 基因型分布不符合 Hardy-Weinberg 遗传平衡。留守组可能在地域、民族、迁移史等方

表 5 留守人群中 rs12678428TT+TC 和 rs12678428CC 间 GMV、ALFF、fALFF、ReHo 差异

Tab. 5 Differences in gray matter volume, ALFF, fALFF, and ReHo between rs12678428TT+TC and CC groups in the left-behind population

名称	Cluster	AAL脑区	峰值 t 值	P	Cluster大小(体素)	峰值点MNI坐标X, Y, Z
GMV	Cluster1	右侧距状裂周围皮层 右侧舌回	3.580	<0.05*	606	-21, -48, -3
	Cluster2	左侧距状裂周围皮层 左侧舌回	3.686		831	-19.5, -54, 1.5
ALFF	Cluster1	右侧距状裂周围皮层 右侧楔叶	-3.208		594	-9, -69, 21
	Cluster2	右侧中央前回 右侧中央后回	3.038		406	39, -21, 42
fALFF	Cluster	双侧距状裂周围脑区	-3.652		733	0, -66, 12
ReHo	Cluster1	左侧颞下回 左侧小脑半球	3.638		769	-33, -78, -18
	Cluster2	双侧尾状核	-2.757		125	9, 15, -9
	Cluster3	左侧中央前回 左侧中央后回	-3.465		137	-39, -21, 36
	Cluster4	右侧中央前回 右侧中央后回	-3.374		416	45, -18, 39

注: t 值为负值表示基因型 TT+TC 组的GMV、ALFF、fALFF、ReHo小于基因型 CC 组, 正值则相反; * $P < 0.05$; 表中 P 值为显著簇经GRF校正后的cluster-level P 值。

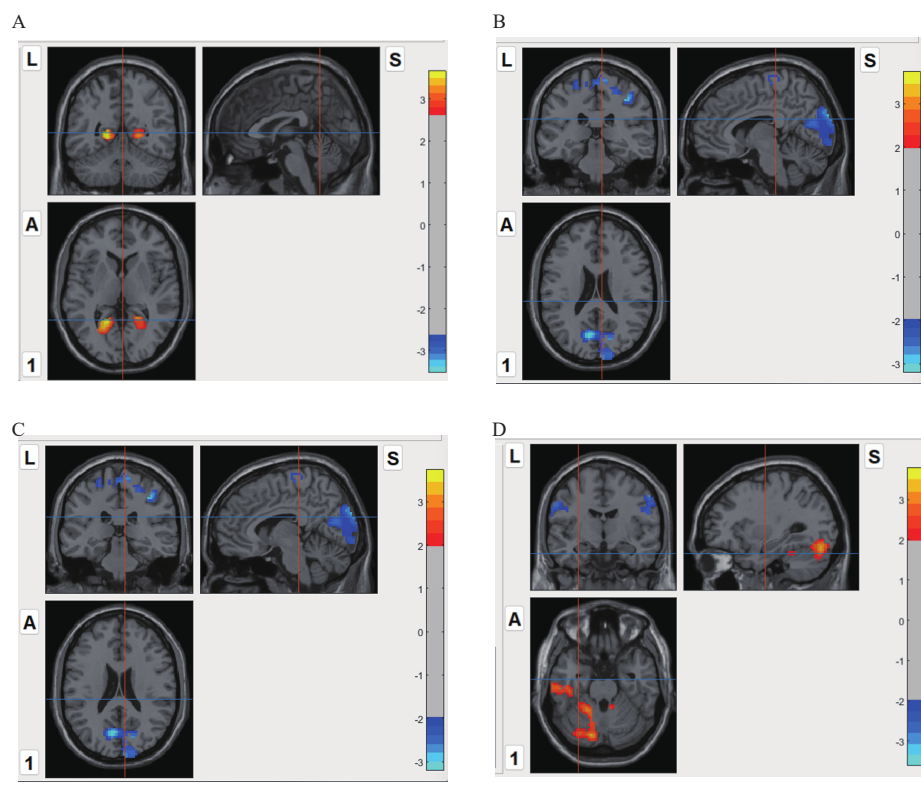


图 2 留守人群中 rs12678428TT\TC 和 rs12678428CC 间灰质、ALFF、fALFF、ReHo 差异

Fig. 2 Differences in gray matter volume, ALFF, fALFF, and ReHo between rs12678428 TT/TC and CC groups in the left-behind population

A: 留守人群中 rs12678428TT+TC 与 rs12678428CC 间 GMV 差异; B: 留守人群中 rs12678428TT+TC 与 rs12678428CC 间 ALFF 差异; C: 留守人群中 rs12678428TT+TC 与 rs12678428CC 间 fALFF 差异; D: 留守人群中 rs12678428TT+TC 与 rs12678428CC 间 ReHo 差异。

面存在亚群结构, 导致等位基因频率不均一, 出现虚假偏离; 留守群体本身是特殊亚群, 可能存在家族聚集、亲缘关系未控制、样本量偏小, 导致基因型频率偏离随机婚配假设, 后续可扩大留守组样本量进一步分析; (3) 本研究尚未对基因与留守经历的交互作用进行直接检验, 未来可在大样本纵向队列中系统考察基因和留守经历的交互效应, 并结合精细环境量化与多基因指标, 进一步揭示早期留守经历与遗传因素共同塑造脑发育的机制, 为识别高风险个体及开展精准干预提供依据; (4) 横断面研究, 无法明确基因型、留守状态与脑功能改变之间的因果关系, 后续可开展纵向随访研究, 进一步验证三者间的因果关联。

综上所述, 本研究证实 rs12678428 基因型与脑结构、脑功能指标存在密切关联, 且这种关联受留守状态的调节, 为后续探讨留守人群神经功能异常的遗传机制、制定针对性的干预措施提供了重要的理论依据与实验支撑。

[参考文献]

- [1] 郝振, 崔丽娟. 自尊和心理控制源对留守儿童社会适应的影响研究 [J]. *心理科学*, 2007, 30(5): 1199–1201+1207.
- [2] 全国妇联. 中国农村留守儿童、城乡流动儿童状况研究报告 [EB/OL]. (2021-05-10) [2026-02-28], <https://www.women.org.cn>.
- [3] 杨雪岭, 冯现刚, 崔梓天. 大学生的留守经历与心理韧性、心理病理症状 [J]. *中国心理卫生杂志*, 2014, 28(3): 227–233.
- [4] Reinwald J R, Becker R, Mallien A S, et al. Neural mechanisms of early-life social stress as a developmental risk factor for severe psychiatric disorders [J]. *Biol Psychiatry*, 2018, 84(2): 116–128.
- [5] Choi J, Jeong B, Rohan M L, et al. Preliminary evidence for white matter tract abnormalities in young adults exposed to parental verbal abuse [J]. *Biol Psychiatry*, 2009, 65(3): 227–234.
- [6] Nelson C A, Bos K, Gunnar M R, et al. V. The neurobiological toll of early human deprivation [J]. *Monogr Soc Res Child Dev*, 2011, 76(4): 127–146.
- [7] Sheridan M A, Fox N A, Zeanah C H, et al. Variation in neural development as a result of exposure to institutionalization early in childhood [J]. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2012, 109(32): 12927–12932.
- [8] 李璐莎. 重性抑郁障碍 MAPK 通路相关基因多态性与静息态脑功能的关联研究 [D]. 太原: 山西医科大学, 2015.
- [9] Buckner R L, Andrews-Hanna J R, Schacter D L. The brain's default network [J]. *Ann N Y Acad Sci*, 2008, 1124(1): 1–38.
- [10] (Bud) Craig A D. How do you feel—now? The anterior *Insula* and human awareness [J]. *Nat Rev Neurosci*, 2009, 10(1): 59–70.
- [11] Seeley W W, Menon V, Schatzberg A F, et al. Dissociable intrinsic connectivity networks for salience processing and executive control [J]. *J Neurosci*, 2007, 27(9): 2349–2356.
- [12] Menon V, Uddin L Q. Saliency, switching, attention and control: A network model of *Insula* function [J]. *Brain Struct Funct*, 2010, 214(5): 655–667.
- [13] Jiang K, Yi Y, Li L, et al. Functional network connectivity changes in children with attention-deficit hyperactivity disorder: A resting-state fMRI study [J]. *Int J Dev Neurosci*, 2019, 78(1): 1–6.
- [14] Zang Y F, He Y, Zhu C Z, et al. Altered baseline brain activity in children with ADHD revealed by resting-state functional MRI [J]. *Brain Dev*, 2007, 29(2): 83–91.
- [15] 裴绮丽, 张海三, 王璧, 等. 静息态功能磁共振下早发未用药精神分裂症患者脑内环路研究 [J]. *中国 CT 和 MRI 杂志*, 2018, 16(7): 68–71.
- [16] Rubinov M, Sporns O. Complex network measures of brain connectivity: Uses and interpretations [J]. *NeuroImage*, 2010, 52(3): 1059–1069.
- [17] DiGiuseppi J, Tadi P. Neuroanatomy, postcentral gyrus. [EB/OL] (2023-07-24) [2026-02-28]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK549825/>
- [18] Haxby J V, Hoffman E A, Gobbini M I. The distributed human neural system for face perception [J]. *Trends Cogn Sci*, 2000, 4(6): 223–233.
- [19] Kanwisher N, McDermott J, Chun M M. The fusiform face area: A module in human extrastriate cortex specialized for face perception [J]. *J Neurosci*, 1997, 17(11): 4302–4311.
- [20] Shmuel A, Leopold D A. Neuronal correlates of spontaneous fluctuations in fMRI signals in monkey visual cortex: Implications for functional connectivity at rest [J]. *Hum Brain Mapp*, 2008, 29(7): 751–761.
- [21] Bezdek M A, Gerrig R J, Wenzel W G, et al. Neural evidence that suspense narrows attentional focus [J]. *Neuroscience*, 2015, 303: 338–345.
- [22] Driscoll M E, Bollu P C, Tadi P. Neuroanatomy, nucleus caudate [EB/OL] (2023-07-24) [2026-02-28]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK557407/>.