脑科学与神经精神系统疾病前沿 DOI：10.13406/j.cnki.cyxb.003717

青少年抑郁症大脑前额颞叶功能连接改变：一项功能性近红外脑成像研究

史紫娟[1]，丁祥洪[2]，崔丽君[3]，杜　姣[3]，陈茂青[1]，龙晴文[1]，李芋均[1]
（1.川北医学院护理学院，南充　637000；2.川北医学院附属医院心理卫生中心，南充　637000；
3.川北医学院附属医院护理部，南充　637000）

【摘　要】目的：利用功能性近红外光谱技术（functional near-infrared spectroscopy，fNIRS）探究青少年抑郁症患者和健康对照组在静息状态下大脑前额叶和颞叶功能连接的特征。**方法：**纳入13~18岁36例青少年抑郁症患者和36例健康对照被试，选取前额叶（prefrontal cortex，PFC），背外侧前额叶（dorsolateral prefrontal cortex，dlPFC）、双侧颞上回（superior temporal gyrus，STG）及颞中回（middle temporal gyrus，MTG）脑区为感兴趣区域（regions of interest，ROI），使用fNIRS采集2组被试者前额颞叶8 min的静息态数据。基于氧合血红蛋白（oxyhemoglobin，HBO_2）在时间序列上的浓度，采用相关系数分析，计算2组受试者静息态下的功能连接强度，并比较2组人群功能连接强度及同源、异源脑网络的组间差异。**结果：**基于HBO_2的功能连接分析，抑郁症组前额颞叶整体脑区平均功能连接强度为0.40 ± 0.14，健康对照组为0.44 ± 0.17。健康对照组整体脑功能连接强度高于抑郁症组（t=-3.938，P<0.001）。基于同源脑网络方面：MTG-L-MTG-L（t=-3.233，P=0.015）、PFC-L-PFC-L（t=-2.576，P=0.032）、PFC-R-PFC-R（t=-2.677，P=0.032）。异源脑网络方面：连接STG-R-PFC-L（t=-2.824，P=0.035）、STG-R-PFC-R（t=-2.867，P=0.035）、PFC-L-PFC-R（t=-3.034，P=0.035）、PFC-L-dlPFC-L（t=-2.988，P=0.035）、PFC-R-dlPFC-L（t=-2.987，P=0.035）的连接显示出明显减少（以上P值均为FDR校正后）。**结论：**静息状态下，青少年抑郁症患者的大脑前额叶及颞叶功能连接存在异常。这种功能连接改变可能与抑郁症的病理机制有关。进一步研究这种功能连接改变的神经机制将有助于深入理解抑郁症的病理生理过程，并为抑郁症的早期诊断和干预治疗提供线索。

【关键词】功能性近红外光谱技术；青少年；抑郁症；脑功能连接；前额叶；颞叶；静息态
【中图分类号】R473.74　　**【文献标志码】**A

Changes in prefrontal temporal functional connectivity in adolescent depression：a study based on near-infrared brain imaging

Shi Zijuan[1]，*Ding Xianghong*[2]，*Cui Lijun*[3]，*Du Jiao*[3]，*Chen Maoqing*[1]，*Long Qingwen*[1]，*Li Yujun*[1]
（*1. School of Nursing，North Sichuan Medical College；2. Mental Health Center，Affiliated Hospital of North Sichuan Medical College；3.Nursing Department，Affiliated Hospital of North Sichuan Medical College*）

【Abstract】*Objective*：To investigate the characteristics of functional connectivity in the prefrontal lobe and the temporal lobe during resting state between adolescents with depression and healthy controls based on functional near-infrared spectroscopy（fNIRS）. ***Methods*：**A total of 36 adolescents with depression and 36 healthy control subjects，aged 13-18 years，were enrolled as depression group and healthy control group，respectively. The prefrontal cortex（PFC），the dorsolateral prefrontal cortex（dlPFC），the bilateral superior temporal gyrus（STG），and the middle temporal gyrus（MTG） were selected as regions of interest（ROIs），and fNIRS was used to collect the 8-minute resting-state data of the prefrontal and temporal lobes for both groups. Based on the concentration of oxygenated hemoglobin（HBO_2） in the time series，the correlation coefficient analysis was performed to calculate functional connectivity strength in the resting state for both groups，which was compared between the two groups. ***Results*：**Based on functional connectivity analysis of HBO_2，the mean functional connectivity strength across the entire prefrontal-temporal lobe brain regions was 0.40 ± 0.14 in the depression group and 0.44 ± 0.17 in the healthy control group. The overall brain functional connectivity strength was higher in the healthy control group than in the depression group（t=-3.938，P<0.001）. In terms of homologous brain networks，the following connections showed significant reductions：MTG-L - MTG-L（t=-3.233，P=0.015），PFC-L-PFC-L（t=-2.576，P=0.032），and PFC-R-PFC-R

作者介绍：史紫娟，Email：shizijuan1021@163.com，研究方向：精神护理研究。
通信作者：李芋均，Email：sammyleee@163.com。
基金项目：南充市2023年科技局资助项目（编号：23JCYJPT0046）。
优先出版：https://link.cnki.net/urlid/50.1046.R.20250110.0712.002　2025-01-10

（t=−2.677, P=0.032）. In terms of heterologous brain networks, the following connections exhibited significant reductions: STG−R−PFC−L（t=−2.824, P=0.035）, STG−R−PFC−R（t=−2.867, P=0.035）, PFC−L−PFC−R（t=−3.034, P=0.035）, PFC−L−dlPFC−L（t=−2.988, P=0.035）, and PFC−R−dlPFC−L（t=−2.987, P=0.035）（all P−values above were FDR−corrected）. ***Conclusion***: There are abnormalities in the functional connectivity of the prefrontal−temporal cortex in adolescents with depression during the resting state, and these changes in functional connectivity may be associated with the pathological mechanism of depression. Further investigation into the neural mechanisms underlying such changes in functional connectivity will help to deepen our understanding of the pathophysiological process of depression and provide new clues for the early diagnosis and treatment of depression.

【Key words】 functional near−infrared spectroscopy; adolescent; depression; brain functional connectivity; prefrontal lobe; temporal lobe; resting state

抑郁症是一种常见的心理障碍，其严重程度在全球范围内呈逐渐加重的趋势[1]。根据世界卫生组织的预测，到2030年，抑郁症将成为全球疾病负担的主要原因[2]。同时，《中国国民心理健康发展报告（2019−2020）》报告指出，2020年，我国青少年抑郁症发病率为24.6%，且其自杀率也一直在增长[3]。青少年抑郁作为当今社会日益关注的心理健康问题，是指在青少年时期出现的持续性情绪低落、兴趣减退、精力下降及一系列其他相关症状的心理状态[4]。这一时期，个体正处于生理、心理快速发展和转变的关键阶段，面临着学习压力、人际关系、身份认同探索、家庭环境变化等多重挑战，这些因素共同作用，使得青少年成为抑郁症的高发群体。抑郁症的原因是多方面的，主要包括遗传因素、个人创伤史、生理失衡以及大脑神经递质或连接的紊乱[5]。抑郁症常常与自我伤害和自杀风险增加相关[6]，尽管有大量研究者关注着抑郁症这一病症，但具体发病的神经机制仍不完全清楚[7]。

青春期是神经生物学发育的关键时期，脑结构和功能发生了重大变化[8]。与健康发育的青少年相比，抑郁症青少年的神经元结构和化学途径是存在差异的。这是因为青少年抑郁症可能对大脑结构的成熟过程产生不良影响，导致大脑形态和功能的变化[9−10]。前额叶和颞叶的异常活动在抑郁症的病理生理过程中起着重要作用，这些区域与多个脑区之间的连接和信息传递密切相关，包括边缘系统、杏仁核、海马和大脑皮层。前额叶在决策制定和规划能力等各种高级认知功能中发挥作用[11]，颞叶则主要参与语言形成和理解、社交互动和高级认知处理[12]。抑郁症患者前额颞叶的异常可能导致认知功能下降、注意力困难和记忆受损，从而影响患者的认知、情绪和社交过程[13]。

神经成像技术的进步为研究抑郁症的神经相关性提供了宝贵的见解，为探究与这种复杂心理健康紊乱相关的脑功能和连接的变化提供了机会。脑电图（electroencephalography, EEG）、磁共振成像（magnetic resonance imaging, MRI）、正电子发射断层扫描和功能性磁共振成像（functional magnetic resonance imaging, fMRI）常被用于客观判别大脑活动。近年来，人们越来越关注使用功能性近红外脑成像（functional near−infrared spectroscopy, fNIRS）探索精神障碍的神经相关性的研究。fNIRS是一种非侵入性便携式成像技术，通过利用600~900 nm的近红外光来测量脑部特定区域的血氧、血流和代谢状态，以确定脑氧合、脱氧和总血红蛋白浓度的变化[14]，该检查设备现已在研究各种疾病的脑功能状态中得到广泛应用[15]。然而，大多数研究集中在特定脑区或任务激活模式来检测该病症引起的记忆、认知和情绪改变[16]。虽然一些研究者使用近红外技术研究了抑郁症的患者的静息态[17−18]，但关于青少年抑郁症患者前额叶和颞叶连接特征的研究证据仍然有限。

fNIRS与fMRI具有很强的相关性，两者都是基于神经血管耦合的神经成像技术。它主要通过测量红外光在不同脑区域中的吸收和散射来评估脑血氧水平的变化。因此，fNIRS可以重现fMRI常见的静息态网络[19−20]。静息态连接反映了在没有明确任务的情况下神经活动的自发协调[21]，揭示大脑的组织原则，这可能为抑郁症提供病理生理线索。本研究采用静息态脑网络连接的分析方法，研究了抑郁症青少年静息态下前额叶和颞叶脑网络的连接变化。本研究假设与健康对照组相比，青少年抑郁症患者在该网络中会展现出不同的连接模式。了解这些连接的变化可能有助于更深入地理解抑郁

症的神经机制。

1 资料与方法

1.1 研究对象

该研究共招募了72名参与者，包括36例抑郁症患者[男性16例，年龄（15.97 ± 1.68）岁]和36例健康对照组[男性19例，年龄（15.75 ± 1.38）岁]。2组参与者之间的年龄数据比较差异无统计学意义（t=0.613，P=0.542）（表1）。抑郁症被试组为2023年12月至2024年5月，从川北医学院附属医院精神科门诊部招募。对照组则为同期通过社区广告招募的健康青少年及本院医务人员家属等，并根据严格的标准进行选择。

青少年抑郁症的纳入标准：①符合《国际疾病分类ICD-10》中对抑郁症的诊断标准并结合精神科临床诊断；②汉密尔顿抑郁量表24项（Hamilton depression scale-24 items，HAMD-24）≥20分（<8分表示没有抑郁，≥8分表示轻度抑郁，≥20分提示表示中度抑郁，≥35分表示重度抑郁）；③年龄13~18岁，不分性别；④右利手；⑤自愿参与本研究。排除标准：①药物滥用或酒精依赖史；②双相情感障碍；③头皮损伤；④其他相关精神及器质性疾病。

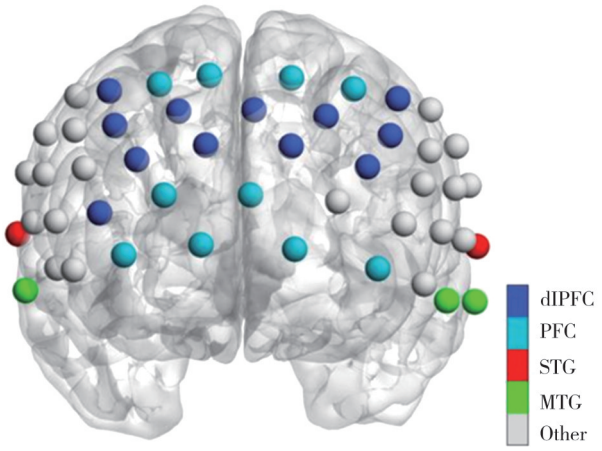
健康对照者组的纳入标准：①HAMD-24得分<8分；②年龄13~18岁，不分性别；③右利手；④自愿参与本研究。排除标准：①物质依赖或滥用的个人史及家族精神障碍史；②头皮损伤。

本研究获得了川北医学院附属医院伦理委员会的批准（伦理编号：2024ER201-1）。所有被试者都按照赫尔辛基宣言参与本研究，且取得了健康对照组和抑郁症患者及其父母的书面知情同意。

1.2 fNIRS静息态采集

采用fNIRS设备NirSmartII-3000A（丹阳慧创，中国）连续测量和记录参与者大脑中氧合血红蛋白（HBO_2）和脱氧血红蛋白（HBR）浓度的变化。该系统由近红外光源（发光二极管，LED）和雪崩光电二极管（APD）作为探测器组成，光源探头采用波长分别为730~850 nm，采样率为11 Hz。系统包括15个发射探头和16个接收探头（图1），共形成48个通道。探头间距设置为30 mm，主要覆盖了整个前额叶和颞叶中上回。根据MNI坐标，通道被分为4个脑网络区域：即颞上回（superior temporal gyrus，STG）、颞中回（middle temporal gyrus，MTG）、背外侧前额叶（dorsolateral prefrontal cortex，dlPFC）和前额叶皮质（prefrontal cortex，PFC）区，并使用国际10-20系统的脑电图帽进行定位[22]。

数据采集选择在一个昏暗、安静的房间中进行，邀请被试者坐在舒适的椅子上。数据采集之前，请参与者戴上头帽，然后放松并静坐5 min。扫描期间，保持双眼闭合，同时避免头部移动和避免睡着。共采集了500 s的数据，前20 s被排除，将剩下的480 s进行数据处理。



注：使用BrainNet Viewer（MatLabR 2022a）生成该图片；PFC，前额叶；MTG，颞中回；STG，颞上回；dlPFC，背外侧前额叶；Other，其他

图1 fNIRS设备NirSmart的48个连接通道与受试者大脑皮层感兴趣区域的对应关系图

1.3 数据处理及统计学分析

使用NirSpark软件中的Preprocess模块进行fNIRS静息态数据的预处理。①使用样条插值方法识别并去除信号中的运动伪迹，其中将信号标准差阈值设定为6，峰阈值设定为0.5。②将光强原始信号转换为光密度曲线，并使用0.01~0.1 Hz的带通滤波器，去除包括呼吸、心跳以及迈耶等常见噪声。③设置差分路径因子为-6~6，通过使用修正的比尔-朗伯定律[23]，将吸光度数据转换成HBO_2和HBR的浓度变化。④在NirSpark软件的Network模块中，利用静息态测量数据提取受试者各时间点内HBO_2和HBR浓度的变化，并分析各通道HBO_2和HBR含量在时间序列上的皮尔森相关系数。⑤将得到的r值经过*Fisher-Z*变换以近似正态分布，最终得到的数值为各通道之间连接的强度。

使用SPSS 26.0软件进行统计分析。对2组受试者的基本信息数据进行正态检验，计量资料符合正态分布的采用均数 ± 标准差（$\bar{x} \pm s$）描述，使用独立样本t检验进行组间比较。计数资料采用卡方检验进行2组比较。使用NirSpark软件对抑郁症组和健康对照组在各脑网络时间序列上功能连接

表1 抑郁症组和健康对照组一般人口学资料对比（$\bar{x} \pm s$；n，%）

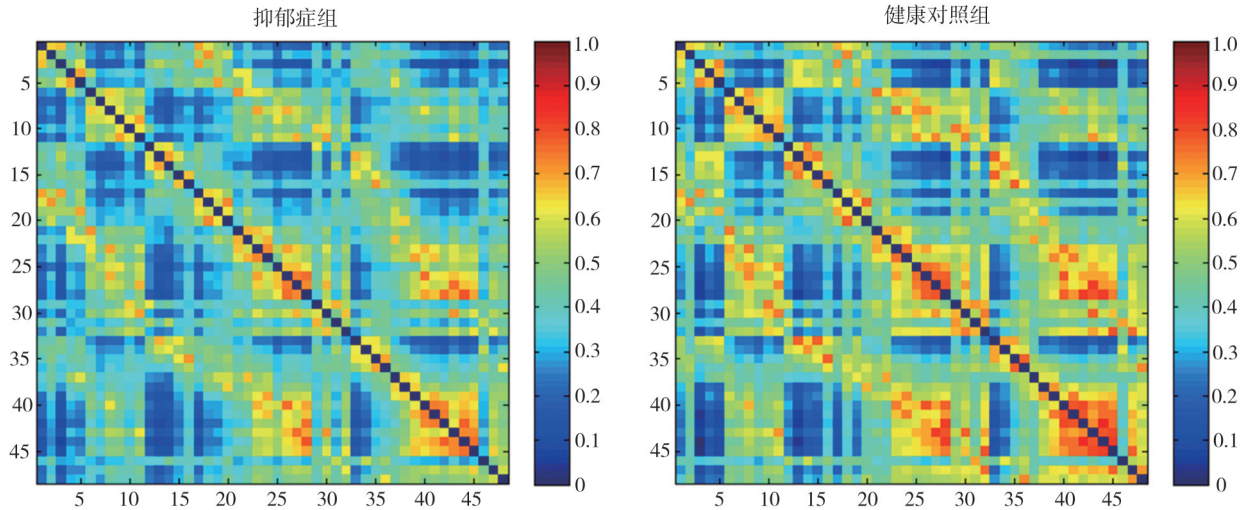
项目	青少年抑郁症组（n=36）	健康对照组（n=36）	t/χ^2值	P值
年龄（岁）	15.97 ± 1.68	15.75 ± 1.38	0.613	0.542
男性（%）	16（44.44）	19（52.78）	0.500	0.479
HAMD评分（分）	33.22 ± 6.85	4.97 ± 1.11	-24.413	<0.001
受教育年限（年）	9.75 ± 1.50	10.33 ± 1.82	-1.484	0.142

强度 *Z-score* 的平均值进行两独立样本 *t* 检验，设显著性阈值为 $P<0.05$，并进行错误发现率（false discovery rate，FDR）校正。检验水准 $\alpha=0.05$。由于 HBO_2 的信噪比优于 HBR[24]。因此，本研究仅对 HBO_2 的相关数据进行分析。

2　结　果

在 8 min 的静息态数据中，可以观察到抑郁症组和健康对照组之间的差异（图 2、图 3）。通过功能连接强度的统计分析发现，抑郁症组的平均功能连接强度为 0.40 ± 0.14，健康对照组为 0.44 ± 0.17。健康对照组的整体前额颞叶脑功能连接强度高于抑郁症组（$t=-3.939$，$P<0.001$）。

根据前额颞叶大脑皮层功能连接，本研究发现与健康对照组相比，抑郁症组的 PFC、双侧 dlPFC 和 STG-R 的功能连接强度明显降低。具体而言，同源脑网络方面：MTG-L-MTG-L（$t=-3.233$，$P=0.015$），PFC-L-PFC-L（$t=-2.576$，$P=0.032$），PFC-R-PFC-R（$t=-2.677$，$P=0.032$）。异源脑网络方面：连接 STG-R-PFC-L（$t=-2.824$，$P=0.035$），STG-R-PFC-R（$t=-2.867$，$P=0.035$），PFC-L-PFC-R（$t=-3.034$，$P=0.035$），PFC-L-dlPFC-L（$t=-2.988$，$P=0.035$），PFC-R-dlPFC-L（$t=-2.987$，$P=0.035$）的显示出明显减少（以上 *P* 值均为 FDR 校正后）（图 4）。



A. 抑郁症组前额颞叶功能连接平均强度矩阵　　B. 健康对照组前额颞叶功能连接平均强度矩阵

图 2　2 组受试者的静息态前额颞叶功能连接平均强度矩阵

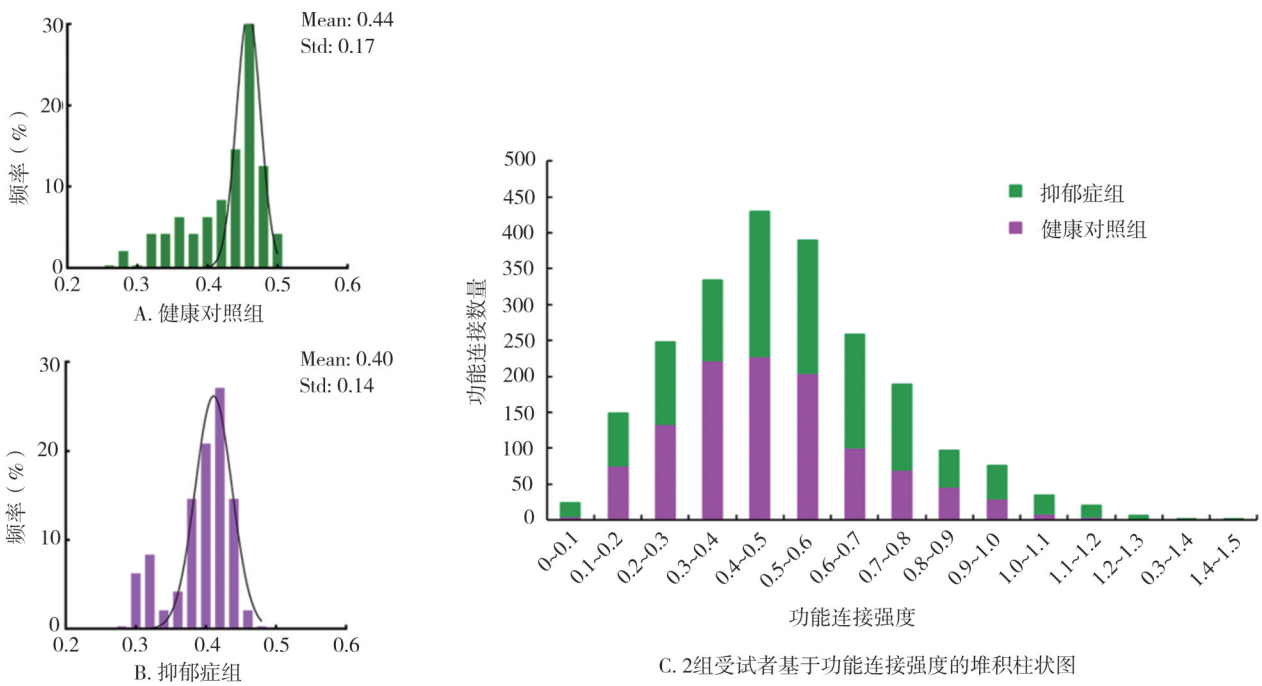
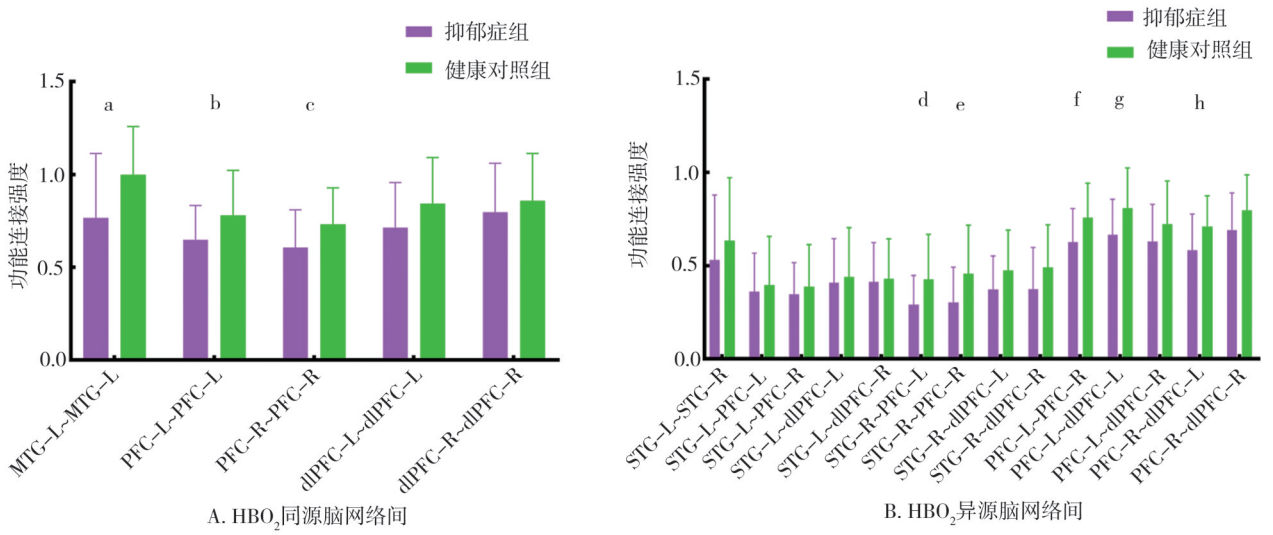


图 3　2 组受试者基于 HBO_2 的功能连接强度直方图



注：a，同源脑网络内左侧颞叶中回比较，$P<0.05$；b，同源脑网络内左侧前额叶比较，$P<0.05$；c，同源脑网络内右侧前额叶比较，$P<0.05$；d，异源脑网络间右侧颞上回与左侧前额叶比较，$P<0.05$；e，异源脑网络间右侧颞上回与右侧前额叶比较，$P<0.05$；f，异源脑网络间左侧前额叶与右侧前额叶比较，$P<0.05$；g，异源脑网络间左侧前额叶与左侧背外侧前额叶比较，$P<0.05$；h，异源脑网络间右侧前额叶与右侧背外侧前额叶比较，$P<0.05$

图4　2组受试者基于HBO_2的前额颞叶脑功能连接强度统计图

3　讨　论

神经元之间的功能连接性构成了复杂脑网络的基础[25]，青少年期间，人类大脑会经历复杂的神经生理变化[26]，直到25岁，前额叶皮层的发育才完全成熟[27-28]。大多数成年抑郁症起源于青春期，且抑郁症患者也常发病于青春期[29]。青春期的抑郁发作可能会加重青少年的负面情绪并影响大脑发育。目前，越来越多的研究者开始使用fNIRS来研究抑郁症青少年的大脑活动，相比于EEG和fMRI，fNIRS具有较低的成本和更好的可移动性，几分钟的数据采集便可用于分析大脑皮层活动情况。因此，该技术在青少年抑郁症研究中具有潜在的优势。本研究利用静息态fNIRS探索了青少年抑郁症患者和健康对照组的前额叶和颞叶的功能连接分析。结果显示，在基于ROI的功能连接方面，抑郁症组的双侧PFC、dlPFC和STG-R的功能连接较健康对照组存在明显降低。

抑郁症组最一致的观察结果是前额叶功能下降[30]，这会导致患者情绪调节困难、情绪波动和负性情绪[31]。前额叶功能连接降低与认知控制和决策制定有关[32]，使患者在执行认知任务时决策困难。抑郁症患者的背外侧前额叶与前扣带皮层之间的神经网络可能会出现异常的活动模式。这可能导致患者在面对压力、负面情绪或冲动行为时，调节能力受损，从而增加了情绪问题和行为问题的风险。既往基于fMRI相关研究也提示，抑郁障碍患者背外侧前额叶、左侧额中回，右侧额下回等脑区出现异常的功能连接[33-34]。2018年，朱绘霖等[35]使用fNIRS对28名抑郁症患者和30名健康对照组进行了前额叶静息态功能连接分析。通过图论分析方法发现，抑郁症患者的前额叶皮层呈现显著降低的网络密度和降低的网络传输效应。Liu XZ等[36]使用fMRI探讨了阿尔茨海默病患者合并抑郁症的情绪调节功能障碍的神经机制。在他们的研究中，相比于单纯的阿尔茨海默病患者，阿尔茨海默病合并抑郁症患者的右侧颞中回和右侧颞上回之间表现出功能连接减少。这与本研究结果具有相似性。颞叶在情绪调节、学习和记忆方面起着重要作用[37]。而右侧颞叶功能受损对新的学习有重要影响[38]，因此，右侧颞叶区功能连接的下降可能是青少年抑郁患者情绪不稳定、记忆减退和学习能力降低的原因之一。

皮层-边缘网络中的认知和情感控制系统则集

中分布于前额颞叶区域，这个区域网络连接的异常在抑郁症的病理生理学中起着重要作用[39]。青少年抑郁症患者大脑前额叶及颞叶功能连接的异常可能与抑郁症的病理机制密切相关。这种功能连接的改变可能涉及神经递质的失衡、神经元可塑性的变化以及神经网络的重组。未来的研究应当深入探究这些异常的神经生物学基础，包括基因表达的变化、神经环路的重塑以及神经递质系统的具体作用机制。此外，基于本研究发现，青少年抑郁症患者的前额叶和颞叶脑功能连接整体强度低于健康对照组，这可能与抑郁症的症状严重程度有关。然而，以往研究对前额叶和颞叶功能连接强度与抑郁症症状严重度之间的关系并未得出一致性的结论。因此，功能连接的减弱可能标志着抑郁症的病理进程，但这一点仍需更多的研究来进一步验证。

本研究存在一定的局限性。首先，在所有纳入的研究组中，主要人群为中度至重度抑郁症患者，没有考虑伴或不伴不同程度焦虑的情况，这或许会使2组患者的前额颞叶脑功能变化可能不同，未来需要进一步研究。其次，本研究仅关注了额叶和颞叶脑网络的连接性，采用的是基于种子点的研究，未来研究可以进一步探讨额叶、颞叶脑网络与其他脑网络之间的连接性以及全脑网络中的功能连接，并且可以采用图论或独立成分分析等更多分析方法进行验证。

参 考 文 献

[1] Park LT, Zarate CA Jr. Depression in the primary care setting[J]. N Engl J Med, 2019, 380(6): 559-568.

[2] Collaborators G2MD. 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]. Lancet Psychiatry, 2022, 9(2): 137-150.

[3] 傅小兰，张 侃，陈雪峰，等. 中国国民心理健康发展报告(2019-2020)[M]. 北京：社会科学文献出版社，2021.

Fu XL, Zhang K, Chen XF. China national mental health development report(2019-2020)[M]. Beijing: Social Sciences Academic Press, 2021.

[4] Yoon S, Kleinman M, Mertz J, et al. Is social network site usage related to depression? A meta-analysis of Facebook-depression relations[J]. J Affect Disord, 2019, 248: 65-72.

[5] Huang H, Cui GY, Tang H, et al. Relationships between plasma expression levels of microRNA-146a and microRNA-132 in epileptic patients and their cognitive, mental and psychological disorders[J]. Bioengineered, 2022, 13(1): 941-949.

[6] Lee KS, Sung HK, Lee SH, et al. Factors related to anxiety and depression among adolescents during COVID-19: a web-based cross-sectional survey[J]. J Korean Med Sci, 2022, 37(25): e199.

[7] Tian T, Mao Q, Xie J, et al. Multi-omics data reveals the disturbance of glycerophospholipid metabolism caused by disordered gut microbiota in depressed mice[J]. J Adv Res, 2022, 39: 135-145.

[8] Larsen B, Luna B. Adolescence as a neurobiological critical period for the development of higher-order cognition[J]. Neurosci Biobehav Rev, 2018, 94: 179-195.

[9] Bos MGN, Peters S, van de Kamp FC, et al. Emerging depression in adolescence coincides with accelerated frontal cortical thinning[J]. J Child Psychol Psychiatry, 2018, 59(9): 994-1002.

[10] Merz EC, He XF, Noble KG, et al. Anxiety, depression, impulsivity, and brain structure in children and adolescents[J]. Neuroimage Clin, 2018, 20: 243-251.

[11] McKeithan LJ, Lyttle BD, Box BA, et al. 7T quantitative magnetization transfer (qMT) of cortical gray matter in multiple sclerosis correlates with cognitive impairment[J]. Neuroimage, 2019, 203: 116190.

[12] Kwon H, Kim JI, Son SY, et al. Sparse hierarchical representation learning on functional brain networks for prediction of autism severity levels[J]. Front Neurosci, 2022, 16: 935431.

[13] Jia ZY, Wang YQ, Huang XQ, et al. Impaired frontothalamic circuitry in suicidal patients with depression revealed by diffusion tensor imaging at 3.0 T[J]. J Psychiatry Neurosci, 2014, 39(3): 170-177.

[14] Pinti, Tachtsidis I, Hamilton A, et al. The present and future use of functional near-infrared spectroscopy(fNIRS) for cognitive neuroscience[J]. Ann N Y Acad Sci, 2020, 1464(1): 5-29.

[15] 刘晓敏，刘破资，陈桂芳，等. 单相抑郁和双相抑郁患者在言语流畅任务下前额叶激活情况分析[J]. 中华精神科杂志，2022，55(3)：182-188.

Liu XM, Liu PZ, Chen GF, et al. Analysis of prefrontal cortex activation in patients with unipolar and bipolar depression during verbal fluency tasks[J]. Chinese Journal of Psychiatry, 2022, 55(3): 182-188.

[16] Wang R, Hao YX, Yu Q, et al. Depression analysis and recognition based on functional near-infrared spectroscopy[J]. IEEE J Biomed Health Inform, 2021, 25(12): 4289-4299.

[17] Wong YK, Wu JM, Zhou GD, et al. Antidepressant monotherapy and combination therapy with acupuncture in depressed patients: a resting-state functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) study[J].

Neurotherapeutics，2021，18(4)：2651-2663.

[18] Xu Y，Wang YJ，Hu NN，et al. Intrinsic organization of occipital hubs predicts depression：a resting-state fNIRS study[J]. Brain Sci，2022，12(11)：1562.

[19] Abdalmalak A，Novi SL，Kazazian K，et al. Effects of systemic physiology on mapping resting-state networks using functional near-infrared spectroscopy[J]. Front Neurosci，2022，16：803297.

[20] Lee G，Park JS，Jung YJ. OptoNet：a MATLAB-based toolbox for cortical network analyses using functional near-infrared spectroscopy [J]. Opt Eng，2019，59(6)：1.

[21] Arieli A，Sterkin A，Grinvald A，et al. Dynamics of ongoing activity：explanation of the large variability in evoked cortical responses[J]. Science，1996，273(5283)：1868-1871.

[22] Koessler L，Maillard L，Benhadid A，et al. Automated cortical projection of EEG sensors：anatomical correlation via the international 10-10 system[J]. Neuroimage，2009，46(1)：64-72.

[23] Kocsis L，Herman P，Eke A. The modified Beer-Lambert law revisited[J]. Phys Med Biol，2006，51(5)：N91-N98.

[24] Strangman G，Culver JP，Thompson JH，et al. A quantitative comparison of simultaneous BOLD fMRI and NIRS recordings during functional brain activation[J]. Neuroimage，2002，17(2)：719-731.

[25] van den Heuvel MP，Hulshoff Pol HE. Exploring the brain network：a review on resting-state fMRI functional connectivity[J]. Eur Neuropsychopharmacol，2010，20(8)：519-534.

[26] Ma ZL，Ma YC，Zhang NY. Development of brain-wide connectivity architecture in awake rats[J]. Neuroimage，2018，176：380-389.

[27] Vanhatalo S，Kai KL. Development of neonatal EEG activity：from phenomenology to physiology[J]. Semin Fetal Neonatal Med，2006，11(6)：471-478.

[28] Arain M，Haque M，Johal L，et al. Maturation of the adolescent brain[J]. Neuropsychiatr Dis Treat，2013，9：449-461.

[29] Hankin BL. Adolescent depression：description，causes，and interventions[J]. Epilepsy Behav，2006，8(1)：102-114.

[30] Wang L，Hermens DF，Hickie IB，et al. A systematic review of resting-state functional-MRI studies in major depression[J]. J Affect Disord，2012，142(1/2/3)：6-12.

[31] Heinzel A，Northoff G，Boeker H，et al. Emotional processing and executive functions in major depressive disorder：dorsal prefrontal activity correlates with performance in the intra-extra dimensional set shift [J]. Acta Neuropsychiatr，2010，22(6)：269-279.

[32] Shen YY，Li NN，Sun SN，et al. Non-invasive，targeted，and non-viral ultrasound-mediated brain-derived neurotrophic factor plasmid delivery for treatment of autism in a rat model[J]. Front Neurosci，2022，16：986571.

[33] Zhang XM，Zhang RR，Lv LL，et al. Correlation between cognitive deficits and dorsolateral prefrontal cortex functional connectivity in first-episode depression[J]. J Affect Disord，2022，312：152-158.

[34] Wu Z，Zhong Y，Dai YL，et al. Differential patterns of dynamic functional connectivity variability in major depressive disorder treated with cognitive behavioral therapy[J]. J Affect Disord，2021，291：322-328.

[35] 朱绘霖，许　洁，李江雪，等. 基于光学脑成像的抑郁症前额皮层静息态网络的研究[J]. 华南师范大学学报（自然科学版），2018，50(4)：17-22.

Zhu HL，Xu J，Li JX，et al. A study on the prefrontal cortial network of patient with depression based on optical brain imaging[J]. J South China Norm Univ Nat Sci Ed，2018，50(4)：17-22.

[36] Liu XZ，Chen W，Tu YH，et al. The abnormal functional connectivity between the hypothalamus and the temporal gyrus underlying depression in Alzheimer's disease patients[J]. Front Aging Neurosci，2018，10：37.

[37] Luo SH，Liu F，Liao Q，et al. Nomogram model for predicting the risk of post-stroke depression based on clinical characteristics and DNA methylation[J]. PeerJ，2023，11：e16240.

[38] Kennepohl S，Sziklas V，Garver KE，et al. Memory and the medial temporal lobe：hemispheric specialization reconsidered[J]. Neuroimage，2007，36(3)：969-978.

[39] Liu XY，Hou ZH，Yin YY，et al. *CACNA1C* gene rs11832738 polymorphism influences depression severity by modulating spontaneous activity in the right middle frontal gyrus in patients with major depressive disorder[J]. Front Psychiatry，2020，11：73.

（收稿：2024-06-01；修回：2024-07-28；录用：2024-09-02）

（责任编辑：周一青）

本文引用格式：

史紫娟，丁祥洪，崔丽君，等. 青少年抑郁症大脑前额颞叶功能连接改变：一项功能性近红外脑成像研究[J]. 重庆医科大学学报，2025，50(12)：1649-1655.