

• 中枢神经影像学 •

肠易激综合征患者局部自发性脑活动改变的元分析

王云玲,袁文欢,罗琳

【摘要】目的:通过静息态功能磁共振成像(rs-fMRI)研究肠易激综合征(IBS)患者的脑活动异常区域,揭示IBS患者潜在的大脑神经机制。**方法:**检索2023年3月以前采用低频波动幅度(ALFF)、分数低频波动振幅(fALFF)和局部一致性(ReHo)方法探讨IBS患者静息态大脑异常激活改变的文献。汇总既往研究中IBS患者相对于健康志愿者局部自发脑活动异常的脑区,采用标记差异映像(SDM)软件进行数据分析。**结果:**共纳入16篇文献,包括461例IBS和416例健康对照。基于元分析证实IBS患者左脑舌回、左脑楔叶、右侧岛脑、右脑枕中回、右侧丘脑的局部自发脑活动明显升高;右侧回直肌、右侧额中回、右侧缘上回的局部自发脑活动明显降低($P<0.001$,峰高 $Z>1$,簇范围 ≥ 20 个体素)。**结论:**应用元分析证实了IBS患者相关核心脑功能异常的脑区,这些发现有助于划定特定感兴趣区和理解IBS的神经生物学基础。

【关键词】 肠易激综合征;局部一致性;低频波动幅度;分数低频波动幅度;磁共振成像;元分析;标记差异映射分析

【中图分类号】 R574.4;R445.2 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2024)09-1146-06

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2024.09.005

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Meta-analysis of local spontaneous brain activity changes in patients with irritable bowel syndrome

WANG Yun-ling, YUAN Wen-huan, LUO Lin. Department of Imaging, The First Affiliated Hospital of Baotou Medical College Inner Mongolia University of Science and Technology, Neimenggu 014017, China

【Abstract】 Objective: To explore the areas of abnormal brain activity in patients with irritable bowel syndrome (IBS) using resting state functional magnetic resonance imaging (rs-fMRI), revealing underlying neural mechanisms in patients with IBS. **Methods:** The literature before March 2023 were searched, which discussed the abnormal brain activity changes on resting state in patients with IBS using amplitude of low-frequency fluctuation (ALFF), fraction amplitude of low-frequency fluctuation (fALFF) and regional homogeneity (ReHo) methods. The brain regions with abnormal local spontaneous brain activity in IBS patients compared with healthy volunteers in previous studies were summarized, and the data were analyzed by signed differential mapping (SDM) software. **Results:** A total of 16 studies were included (461 cases of IBS and 416 healthy controls). Based on the meta-analysis, the local spontaneous brain activity of left lingual gyrus, left cuneus, right insular, right middle occipital gyrus and right thalamus significantly increased in IBS patients. However, the local spontaneous brain activity significantly decreased in the right ilerectus muscle, right middle frontal gyrus and right superior marginal gyrus ($P<0.001$, peak height $Z>1$, cluster range ≥ 20 voxel). **Conclusion:** A meta-analysis was used to identify brain regions with associated abnormal core brain function in IBS patients. These findings help delineate specific areas of interest and understand the neurobiological basis of IBS.

【Key words】 Irritable bowel syndrome; Regional homogeneity; Amplitude of low-frequency fluctuation; Fraction amplitude of low-frequency fluctuation; Magnetic resonance imaging; Meta-analysis; Signed differential mapping

作者单位:014017 内蒙古,内蒙古科技大学包头医学院第一附属医院影像科(王云玲、罗琳);730030 兰州,兰州大学第二医院放射科(袁文欢)

作者简介:王云玲(1989—),女,内蒙古通辽市人,硕士,主治医师,主要从事中枢神经系统影像诊断工作。

通讯作者:罗琳,E-mail:byll117@sina.com

基金项目:内蒙古自治区高等学校科学研究项目(NJZY23021);包头市卫生健康科技计划项目(wsjkkj005)

肠易激综合征(irritable bowel syndrome, IBS)是一种肠道功能紊乱性疾病,以腹痛、腹部不适、排便习惯及大便性状改变为主要临床表现,可持续或间歇发作,IBS 可分为便秘型、腹泻型、混合型和不定型 4 个亚型,其中腹泻型肠易激综合征(irritable bowel syndrome with diarrhea, IBS-D)是最常见的亚型,约占所有 IBS 患者的 40%,其生活质量明显低于其他亚型^[1]。流行病学研究显示,IBS 影响全球约 11% 的人口^[2]。IBS 患者通常伴有心理障碍,其中最常见的是焦虑和抑郁,患病率高达 50%^[3],但是相关常规检查不能发现能够解释疾病症状的明显异常。IBS 的病因和发病机制还不是非常清楚,它涉及从肠到脑的各个方面,有研究显示中枢神经系统之间与肠神经之间具有紧密联系,被称为脑肠神经轴^[4]。因此,研究 IBS 患者的脑功能活动有助于从中枢层面深入了解 IBS 的发病机制,从而促进临床诊疗水平的进步。

近年来,影像技术突飞猛进,新技术层出不穷,静息态功能磁共振成像(resting-state functional magnetic resonance imaging, rs-fMRI)已经成为探索脑功能活动的重要技术之一,它能够探测并显示静息状态下脑区的异常活动,低频波动幅度(amplitude of low-frequency fluctuation, ALFF)和区域同质性(regional homogeneity, ReHo)是常用的 rs-fMRI 局部神经活动检测的两种方法^[5,6]。ALFF、分数低频波动振幅(fraction amplitude of low-frequency fluctuation, fALFF)是在低频范围内测量体素的区域强度^[7]。ReHo 计算了给定体素与相邻体素之间低频波动的同步^[6]。因此,ALFF、fALFF 及 ReHo 分析方法能够显示静息状态下局部脑活动的异常。

国内外学者基于以上技术对 IBS 患者的自发神经活动进行了多项研究,近几年来发表了大量 rs-fMRI 关于 IBS 患者局部自发大脑活动异常的论文。有研究表明,包括前额叶和扣带回在内的几个大脑区域参与了 IBS 的腹痛症状,这些区域负责“自上而下”的情绪和认知疼痛调节过程^[8]。在直肠扩张期间,参与调节情绪的额边缘回路相关脑区,如脑岛、杏仁核和前额叶皮层(prefrontal cortical, PFC)在 IBS 患者中会异常激活^[9-11]。因此,rs-fMRI 的多项证据表明,IBS 与大脑的结构和功能变化密切相关^[12],进一步提示了 IBS 患者存在脑活动的异常。

ALFF、fALFF 及 ReHo 可能是 IBS 潜在的大脑功能生物标记物。然而,不同研究对于 IBS 患者局部自发脑活动的研究结果并不一致。因此,通过合并且量化这些不一致的研究结果是非常有意义的。然而到目前为止,还未见有关 IBS 的此类研究。因此,本研究首次结合 ALFF、fALFF 和 ReHo 进行 IBS 局部自发脑活动的异常改变的元分析,通过 rs-fMRI 研究 IBS 患者的脑活动异常区域,揭示 IBS 患者潜在的大脑神经机制。

材料与方法

1. 文献检索与研究选择

于 2023 年 3 月 12 日对英文数据库(PubMed、Web of Science、Embase、Scholar)和中文数据库(中国知网、万方)进行了系统而全面的文献检索,无发表数据限制。检索词包括疾病和方法的关键词。疾病关键词包括“肠易激综合征”、“肠易激”、“IBS”、“Irritable bowel syndrome”;方法关键词包括“低频波动幅度”、“ALFF”、“分数低频波动振幅”、“fALFF”、“区域均匀性”、“ReHo”。手动查阅了纳入研究的参考文献和相关综述,以避免遗漏任何相关的研究,文献筛选过程见图 1。

文献选择标准:①研究对象符合 IBS 的诊断标准;②文献来源于原创研究;③IBS 及相关亚型研究;④研究纳入 18 岁以上的成年人;⑤扫描过程中无需被试进行任何任务(如记忆任务);⑥使用 ReHo、ALFF/fALFF 方法进行分析;⑦进行 IBS 患者组与健康对照组之间的比较;⑧使用 Talairach 或蒙特利尔神经研究

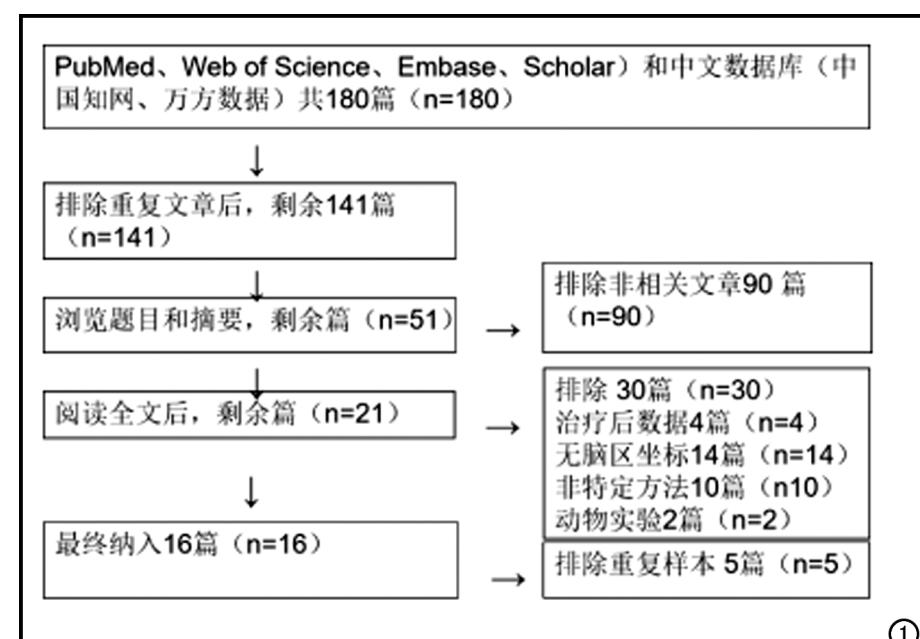


图 1 文献筛选流程图。

所(montreal neurological institute, MNI)的坐标代表脑区的空间位置;⑨研究方法基于全脑体素 rs-fMRI 研究。文献排除标准:①非论著型研究或研究对象非人类的研究;②样本量<10;③基于特定感兴趣区(region of interest, ROI)的分析;④使用二维分析;⑤没有报告研究激活点峰值三维立体定向坐标。此外,如果不同的研究有部分或完全重叠的样本,则只会选择样本量和信息量最大的研究。

2. 数据提取

对于每个符合条件的研究,笔者进行了临床数据[第一作者、样本量(IBS 和健康对照组)]、性别分布、平均年龄及 fMRI 数据[磁场强度、分析方法、IBS 患者相对于健康对照组差异脑区的峰值坐标及其效应值大小(如 t 值)]的提取。如果有任何遗漏的信息,笔者都会联系通讯作者或第一作者。上述所有过程都是由本文 2 位作者独立完成,如果存在任何分歧,将由第 3 位作者解决,以做出最终决定。

3. 数据分析

主要基于体素的元分析,本研究使用标记差异映像(signed differential mapping, SDM)软件(5.15 版本)(<http://www.sdmproject.com>)分析 IBS 患者组与健康对照组之间的 ALFF/fALFF、ReHo 差异。首先,提取了每个研究激活点的峰值坐标(MNI 或 Talairach)及对应的效应量值,并将它们输入到单独的 txt 文本文件中。接下来,通过各向异性非标准化高斯核[半高全宽(full width at halfmaximum, FWHM)=20 mm],为每个研究重新创建了效果大小图。然后,利用随机效应模型计算了研究图的平均值,在此过程中考虑了样本量、研究内异质性和研究间异质性。采用了以下阈值 [$P < 0.001$ (未校正), 峰高 $Z \geq 1$, 簇范围 ≥ 20 个体素]获得最终的 SDM 统计图。

为了验证主要体素元分析中确定结果的重复性,采用了基于全脑体素的 Jackknife 敏感性分析。为了评估每个集群在研究间的异质性,采用了具有 Q 统计量的随机效应模型。使用 Egger 检验评估了研究结果的发表偏倚。以往的研究表明 $P < 0.05$ 时差异具有统计学意义。为了验证主结果的可靠性,分别对 ReHo 及 ALFF/fALFF 方法进行单独元分析。

结 果

1. 纳入的研究及其样本特征

通过筛查,最终纳入 16 项研究,包括 IBS 患者 461 例(男 281 例,女 180 例)和 416 例健康受试者(男 238 例,女 178 例),纳入文献的基本信息见表 1。

2. IBS 患者与健康对照组之间的局部自发脑活动差异

基于主要的体素元分析结果显示,IBS 患者较健康对照组存在明显的局部自发脑活动异常。IBS 患者左脑舌回、左侧楔叶、右侧岛叶、右侧枕中回、右侧丘脑的自发性脑活动明显升高,右侧回直肌、右侧额中回及右侧缘上回的自发性脑活动明显降低(表 2),图 2 能够直观显示 IBS 患者与健康对照组不同脑区的局部自发脑活动有明显差异。

3. 敏感性、异质性、发表偏倚及亚组分析结果

敏感性分析结果表明,大多数脑区都具有很高的可重复性。左脑舌回、左侧楔叶、右侧额中回在 16 组数据中均可以交叉验证;右侧岛叶、右侧枕中回、右侧回直肌和右侧缘上回在 15 组数据中可以交叉验证;右侧丘脑在 12 组数据中可以交叉验证。异质性检验结果显示,右侧岛叶存在显著的研究间变异性(表 2)。在发表偏倚分析中,Egger 检验结果显示右侧小脑、左侧楔叶、右侧枕中回及右侧缘上回存在发表偏倚($P <$

表 1 纳入文献特征

第一作者	被试样本量(例)		平均年龄(岁)		统计 阈值	方法	场强 T
	IBS	HS	IBS	HS			
程有根 ^[13]	30	30	25.5±3.7	26.1±3.1	0.05	ALFF/ReHo	3.0
KE ^[14]	31	32	29.2±9.7	27.5±8.6	0.05	ReHo	3.0
李洁 ^[15]	35	36	34±11	33±8	0.05	ReHo	3.0
李静 ^[16]	17	21	38.88±10.02	42.62±13.24	0.05	ALFF/ReHo	3.0
陆佳 ^[17]	26	12	41.9±8.6	38.0±10.1	0.05	ALFF	3.0
南姣芬 ^[18]	54	54	22±1	22±1	0.05	ReHo	3.0
秦梦 ^[19]	23	23	43.27±7.913	47.09±8.837	0.05	ReHo	3.0
Qi ^[20]	30	31	28.93±9.71	26.87±8.08	0.05	ALFF	3.0
司鹤华 ^[21]	15	15	39.93±11.32	43.73±11.58	0.05	ALFF	3.0
汪立军 ^[22]	31	20	25.5±3.7	26.1±3.1	0.05	ALFF	3.0
Ao ^[23]	13	14	32.23±5.96	29.14±5.92	0.05	fALFF	3.0
温馨 ^[24]	24	20	27.42±5.45	26.05±3.02	0.05	ALFF	3.0
Chen ^[25]	36	36	34.36±9.53	31.67±8.85	0.05	ALFF/ReHo	3.0
Ma ^[26]	21	21	41.82±11.92	35.91±14.76	0.05	ALFF	3.0
严逸驥 ^[27]	62	38	43.71±13.23	45.48±13.22	0.05	ALFF	3.0
曾少庆 ^[28]	13	13	38.3	38.3	0.05	ReHo	3.0

表 2 采用 ReHo 及 ALFF/fALFF 方法分析 IBS 患者相对于健康受试者自发脑活动异常的脑区

解剖标签	MNI 坐标	体素 (mm ³)	SDM- Z 值	效应量 大小	P 值	异质性	敏感性	Egger 检验 p 值
左脑舌回	-10, -56, -4	1324	3.313	0.22	<0.001	无	16/16	0.01
左侧楔叶	-8, -86, 18	1003	3.058	0.21	<0.001	无	16/16	0.03
右侧岛叶	36, -16, 20	394	2.593	0.17	<0.001	有	15/16	0.40
右侧枕中回	32, -86, 22	146	2.669	0.18	<0.001	无	15/16	0.01
右侧丘脑	12, -16, 8	37	2.378	0.16	<0.001	无	12/16	0.30
右侧回直肌	4, 44, -18	821	-1.930	-0.13	<0.001	无	15/16	0.88
右侧额中回	30, 42, 34	461	-2.166	-0.19	<0.001	无	16/16	0.59
右侧缘上回	52, -42, 44	358	-2.120	-0.14	<0.001	无	15/16	0.04

注: ReHo 为局部一致性; ALFF 为低频振幅; fALFF 为比率低频振幅; IBS 为肠易激综合征患者; MNI 为蒙特利尔神经病学研究所; SDM 为标记差异映射分析。

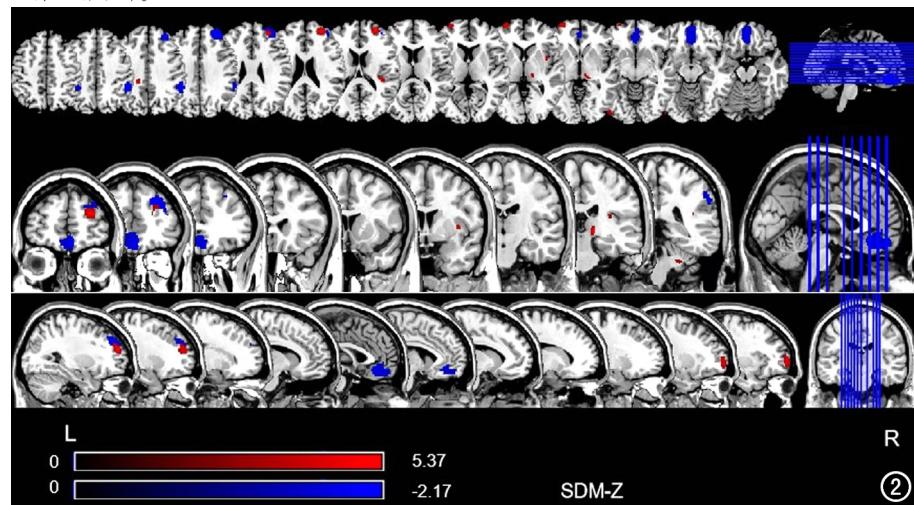


图 2 元分析显示 IBS 患者的局部自发脑活动与健康对照组相比差异有统计学意义($P < 0.005$; 峰高 $Z > 1$; 篓范围 ≥ 20 体素)。颜色条反映 SDM-Z 值: 红色代表 IBS 患者局部自发脑活动显著异常增加; 蓝色代表 IBS 患者局部自发脑活动显著异常减低。

0.05), 其他大脑区域未发现发表偏倚(表 2)。亚组分析显示大部分结果与主结果保持一致(表 3、4)。

讨 论

本研究首次采用元分析法对 IBS 患者脑局部自发活动的功能变化进行探讨,结果显示 IBS 患者较健康对照组左侧舌回、左侧楔叶、右侧岛叶、右侧枕中回、右侧丘脑的自发性脑活动明显升高,右侧回直肌、右侧额中回及右侧缘上回的自发性脑活动明显降低。通过异质性分析、敏感性分析、发表偏倚分析及亚组分析证实了这些异常激活的脑区具有高度的可重复性、稳定性及可靠性。以往并未见关于 IBS 元分析的研究,因此,本研究进行 IBS 患者 rs-fMRI 的局部自发脑活动元分析是对 IBS 神经机制的补充。

1. 默认网络的局部自发脑活动的异常改变

默认网络(DMN)是一种功能性大脑网络,具有独

表 3 采用 ALFF 或 fALFF 方法分析 IBS 患者与健康受试者相比自发脑活动增加或减低的脑区

解剖标签	MNI 坐标	体素 /mm ³	SDM- Z 值	P 值
右侧岛脑	32, -24, 6(34, -16, 20)	1059	3.146	<0.01
右侧小脑	10, -60, -18	1057	3.244	<0.01
左脑枕中回	-32, -84, 22	265	2.370	<0.01
左脑距状裂周围皮层	-8, -84, 6	133	2.454	<0.01
左脑丘脑	-20, -32, -2(-10, -28, 4)	40	2.298	<0.01
右脑丘脑	22, -30, 4	26	2.326	<0.01
左脑眶上额上回	0, 60, -14	193	-1.63	<0.01

表 4 采用 ReHo 方法分析 IBS 患者与健康受试者相比自发脑活动增加或减低的脑区

解剖标签	MNI 坐标	体素 /mm ³	SDM- Z 值	P 值
右脑枕上回	24, -88, 26	488	2.723	<0.01
左脑舌回	-12, -56, 0	205	2.402	<0.01
左脑枕上回	-12, -88, 22	36	1.900	<0.01
左脑额上回	-4, 44, 42	145	-1.585	<0.01
右脑背外侧额上回	22, 14, 58	49	-1.567	<0.01
右侧额中回	38, 38, 30	32	-1.690	<0.01

特的神经活动模式,在静息状态下表现为活动增高,而在任务状态下表现为活动减低^[29]。既往研究表明,反复的内脏疼痛能导致 DMN 功能连接异常^[30,31]。DMN 维持人脑在静息状态下的记忆、注意及认知功能。该网络主要包括后扣带回、楔前叶、顶下小叶、前额叶和颞叶内侧皮质等脑区。本研究中楔叶活动明显异常升高,有研究表明 DMN 的改变可能与认知处理效率降低或压力相关精神病理发展的风险增加有关^[32],在以往关于抑郁患者脑功能研究中发现,DMN 内楔前叶、额中回的自发活动异常,提示该脑区与抑郁发病和患者自我意识的受损密切相关^[33,34],因此 IBS 患者会经常出现精神焦虑及情绪改变,可能与 DMN 活动异常有关。

2. 视觉网络的局部自发脑活动的异常改变

右侧枕中回作为视觉网络(visual network, VN)的一部分,视觉皮层参与外界刺激与内在情感的转化^[35]。本研究发现 IBS 患者右侧枕中回局部自发脑活动升高,这可能是由于肠道的刺激症状通过脑肠轴的传输导致视觉功能受损后右侧枕中回的功能代偿作用,其功能异常可能导致患者视觉、记忆、情感及运动感知障碍,这与临床观察 IBS 患者常出现重影、记忆及情感减退的症状相一致。Teng 等^[36]发现抑郁患者左侧枕中回的局部自发脑活动异常,袁文欢等^[37]亦发现轻微脑震荡患者的枕中回活动异常,且抑郁患者及轻度脑损伤患者均会出现认知、情感障碍,而 IBS 患者也有焦虑、抑郁、认知、情感障碍等症状,因此 IBS 患者枕中回的活动异常与抑郁及轻微脑震荡的发病机制可能一致。

3. IBS 后大脑局部自发脑活动的增加或减少

IBS 后可以观察到不同的大脑区域表现为局部自发脑活动的增加或减少,但是产生这种结果的生理机制尚未完全清楚。局部自发脑活动的降低可能反映该疾病所致的相关功能缺陷,自发活动升高可能表明维持正常功能的代偿机制。由此表明 IBS 后局部自发脑活动在不同区域可出现不同的变化模式。然而,这种变化是否能直接影响远程功能连接,需进一步研究。

本研究存在以下局限性:首先,本研究纳入的文献较少,对于 IBS 治疗后的活动异常并未纳入研究;其次,本研究仅局限于影像方面,未经病理验证。因此,未来的研究需要进行相关动物实验和病理验证,从而进一步证实本研究的结论。

综上所述,本研究首次应用元分析对 IBS 患者进行局部自发脑活动的探讨,有助于揭示 IBS 早期潜在的神经病理机制,具有潜在的临床应用价值,值得推广。

参考文献:

- [1] Chey WD, Kurlander J, Eswaran S. Irritable bowel syndrome: a clinical review[J]. JAMA, 2015, 313(9): 949-958.
- [2] Canavan C, West J, Card T. The epidemiology of irritable bowel syndrome[J]. Clin Epidemiol, 2014, 6(2): 71-80.
- [3] Ford AC, Sperber AD, Corsetti M, et al. Irritable bowel syndrome [J]. Lancet, 2020, 396(10263): 1675-1688.
- [4] Carabotti M, Scirocco A, Maselli MA, et al. The gut-brain axis: interactions between enteric microbiota, central and enteric nervous systems[J]. Ann Gastroenterol, 2015, 28(2): 203-209.
- [5] Zuo XN, Di Martino A, Kelly C, et al. The oscillating brain: complex and reliable[J]. Neuroimage, 2010, 49(2): 1432-1445.
- [6] Zang Y, Jiang T, Lu Y, et al. Regional homogeneity approach to fMRI data analysis[J]. Neuroimage, 2004, 22(1): 394-400.
- [7] Zang YF, He Y, Zhu CZ, et al. Altered baseline brain activity in children with ADHD revealed by resting-state functional MRI[J]. Brain Dev, 2007, 29(2): 83-91.
- [8] Elsenbruch S. Abdominal pain in Irritable Bowel Syndrome: a review of putative psychological, neural and neuro-immune mechanisms[J]. Brain Behav Immun, 2011, 25(3): 386-394.
- [9] Elsenbruch S, Rosenberger C, Enck P, et al. Affective disturbances modulate the neural processing of visceral pain stimuli in irritable bowel syndrome: an fMRI study[J]. Gut, 2010, 59(4): 489-495.
- [10] Labus JS, Hubbard CS, Bueller J, et al. Impaired emotional learning and involvement of the corticotropin-releasing factor signaling system in patients with irritable bowel syndrome[J]. Gastroenterology, 2013, 145(6): 1253-1261.
- [11] Hong JY, Naliboff B, Labus JS, et al. Altered brain responses in subjects with irritable bowel syndrome during cued and uncued pain expectation[J]. Neurogastroenterol Motil, 2016, 28(1): 127-138.
- [12] Koloski NA, Jones M, Talley NJ. Evidence that independent gut-to-brain and brain-to-gut pathways operate in the irritable bowel syndrome and functional dyspepsia: a 1-year population-based prospective study[J]. Aliment Pharmacol Ther, 2016, 44(6): 592-600.
- [13] 程有根. 肠易激综合征患者静息态脑功能磁共振成像研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2017.
- [14] Ke J, Qi R, Liu C, et al. Abnormal regional homogeneity in patients with irritable bowel syndrome: A resting-state functional MRI study[J]. Neurogastroenterol Motil, 2015, 27(12): 1796-1803.
- [15] 李洁, 李国雄, 郭赟, 等. 肠易激综合征伴抑郁状态患者静脑功能局部一致性研究[J]. 中华医学杂志, 2018, 98(3): 196-201.
- [16] 李静. 调神健脾针法治疗腹泻型肠易激综合征的临床疗效评价及脑 fMRI 改变的研究[D]. 南京: 南京中医药大学, 2017.
- [17] 陆佳. 腹泻型肠易激综合征患者腹痛和腹部不适病理生理机制的异同[D]. 北京: 北京协和医学院, 2021.
- [18] 南姣芬, 张亮亮, 郑倩, 等. 基于 fMRI 的近似熵和 ReHo 在肠易激综合征检测中的敏感性和有效性比较[J]. 南方医科大学学报, 2019, 39(9): 1023-1029.
- [19] 秦梦, 张庆, 黄劲柏. 肠易激综合征基于局部一致性的静息态脑功能成像研究[J]. 实用医学杂志, 2017, 33(20): 3455-3458.
- [20] Qi R, Liu C, Ke J, et al. Intrinsic brain abnormalities in irritable bowel syndrome and effect of anxiety and depression[J]. Brain Imaging Behav, 2016, 10(4): 1127-1134.

- [21] 司鹤华.针刺对 IBS 患者大脑相关情绪调控区域脑功能磁共振成像影响的研究[D].南京:南京中医药大学,2017.
- [22] 汪立军,矛国群,程有根,等.肠易激综合征静息态脑功能 MRI 低频涨落振幅改变的研究[J].医学影像学杂志,2017,27(11):2220-2223.
- [23] Ao W, Cheng Y, Chen M, et al. Intrinsic brain abnormalities of irritable bowel syndrome with diarrhea: a preliminary resting-state functional magnetic resonance imaging study[J]. BMC Med Imaging, 2021, 21(1):4.
- [24] 温馨,陈杰,廖晨希,等.基于动态低频振幅方法的腹泻型肠易激综合征患者脑功能时间变异性研究[J].磁共振成像,2022,13(6):61-65.
- [25] Chen X, Guo Y, Lu X, et al. Aberrant intraregional brain activity and functional connectivity in patients with diarrhea-predominant irritable bowel syndrome [J]. Front Neurosci, 2021, 15 (3): 721822.
- [26] Ma X, Li S, Tian J, et al. Altered brain spontaneous activity and connectivity network in irritable bowel syndrome patients: A resting-state fMRI study[J]. Clin Neurophysiol, 2015, 126 (6): 1190-1197.
- [27] 严逸騤.艾灸治疗腹泻型肠易激综合征临床效应观察及对肠菌-脑轴的调节作用研究[D].上海:上海中医药大学,2019.
- [28] 曾少庆,江桂华,马晓芬,等.肠易激综合征患者静息态下局部脑区神经自发活动及其与 HAMA 量表评分的相关性[J].中华神经医学杂志,2013,12(7):719-722.
- [29] Yuan Y, Pan X, Wang R. Biophysical mechanism of the interaction between default mode network and working memory network[J]. Cogn Neurodyn, 2021, 15(6): 1101-1124.
- [30] Letzen JE, Craggs JG, Perlstein WM, et al. Functional connectivity of the default mode network and its association with pain networks in irritable bowel patients assessed via lidocaine treatment [J]. J Pain, 2013, 14(10): 1077-1087.
- [31] Qi R, Ke J, Schoepf UJ, et al. Topological reorganization of the default mode Network in irritable bowel syndrome[J]. Mol Neurobiol, 2016, 53(10): 6585-6593.
- [32] Sriprada RK, Swain JE, Evans GW, et al. Childhood poverty and stress reactivity are associated with aberrant functional connectivity in default mode network[J]. Neuropsychopharmacology, 2014, 39(9): 2244-2251.
- [33] 叶郭锡,徐凡,熊玉超,等.首发重度抑郁症脑功能变化:基于静息态 fMRI 的低频振幅和局部一致性分析[J].放射学实践,2024,39(2):164-168.
- [34] 陈苑,程敬亮,张勇,等.首发早发性抑郁症患者脑自发活动改变与临床特征及认知功能的相关性[J].放射学实践,2021,36(4):440-446.
- [35] 秦贺,刘波,喻大华.慢性失眠患者大脑灰质结构变化的磁共振影像学研究[J].中华神经科杂志,2021,54(2):125-130.
- [36] Teng C, Zhou J, Ma H, et al. Abnormal resting state activity of left middle occipital gyrus and its functional connectivity in female patients with major depressive disorder[J]. BMC Psychiatry, 2018, 18(1): 370.
- [37] 袁文欢,罗琳,王云玲,等.轻度创伤性脑损伤急性期及亚急性期局部自发脑活动改变的元分析[J].磁共振成像,2022,13(9):13-17,24.

(收稿日期:2023-09-13 修回日期:2024-05-07)