

双向情感障碍患者 T 淋巴细胞亚群组成变化及线粒体损伤的临床价值

朱佳填

(厦门市仙岳医院·厦门医学院附属仙岳医院·福建省精神医学中心·福建省精神疾病临床医学研究中心医学检验科, 福建厦门 361012)

【摘要】目的: 探讨双向情感障碍(BD)患者 T 淋巴细胞亚群及线粒体损伤的临床价值。**方法:** 选取 102 例 BD 患者为观察组, 根据病情分为轻度组($n=41$)、中度组($n=35$)、重度组($n=26$); 根据患者对治疗的反应分为治疗有效组($n=81$)、治疗无效组($n=21$); 另选 90 名同期体检健康志愿者为对照组。比较各组对象 T 淋巴细胞亚群(CD45⁺ 淋巴细胞百分比、CD3⁺ T 细胞百分比)和辅助 T 淋巴细胞(Th)、杀伤 T 淋巴细胞(Ts)细胞线粒体损伤指数; 受试者工作特征(ROC)曲线分析 T 淋巴细胞亚群、线粒体损伤指数对 BD 患者病情及治疗反应的预测价值。**结果:** 与对照组相比, 观察组患者 CD45⁺ 淋巴细胞百分比、CD3⁺ T 细胞百分比更低($P<0.05$); Th/Ts 细胞线粒体损伤指数阳性率更高($P<0.05$)。与轻度组比较, 中度组、重度组患者 CD45⁺ 淋巴细胞百分比、CD3⁺ T 细胞百分比依次更低($P<0.05$); Th 及 Ts 细胞线粒体损伤指数阳性率依次更高($P<0.05$)。ROC 曲线分析显示, CD45⁺ 淋巴细胞百分比、CD3⁺ T 细胞百分比、Th 及 Ts 细胞线粒体损伤指数预测 BD 患者重度病情的曲线下面积(AUC)分别为 0.672(95%CI: 0.536~0.807)、0.628(95%CI: 0.492~0.763)、0.706(95%CI: 0.595~0.818)、0.700(95%CI: 0.586~0.815); 四者联合预测的 AUC 为 0.846(95%CI: 0.761~0.931)。与治疗有效组相比, 治疗无效组患者 CD45⁺ 淋巴细胞百分比、CD3⁺ T 细胞百分比更低($P<0.05$); Th 及 Ts 细胞线粒体损伤指数阳性率更高($P<0.05$)。ROC 曲线分析显示, CD45⁺ 淋巴细胞百分比、CD3⁺ T 细胞百分比、Th 及 Ts 细胞线粒体损伤指数预测 BD 治疗无效的 AUC 分别为 0.892(95%CI: 0.803~0.982)、0.858(95%CI: 0.759~0.956)、0.785(95%CI: 0.691~0.879)、0.773(95%CI: 0.672~0.875), 且四者联合预测 AUC 为 0.981(95%CI: 0.727~0.989)。**结论:** BD 患者存在免疫功能紊乱, T 淋巴细胞亚群及线粒体损伤指数可作为预测其重度病情和治疗反应的有效指标。

【关键词】 双向情感障碍; T 淋巴细胞亚群; 线粒体损伤; 病情程度; 治疗反应

【中图分类号】 R749.4 **【文献标志码】** A

The clinical predictive value of T lymphocyte subset composition changes and mitochondrial damage in patients with bipolar disorder

ZHU Jia-tian

(Department of Medical Laboratory, Xiamen Xianyue Hospital, Xianyue Hospital Affiliated with Xiamen Medical College, Fujian Psychiatric Center, Fujian Clinical Research Center for Mental Disorders, Xiamen 361012, Fujian, China)

【Abstract】 Objective: To investigate the changes and clinical significance of T lymphocyte subsets and mitochondrial damage in patients with bipolar disorder (BD). **Methods:** 102 BD patients were retrospectively selected as the observation group. According to the evaluation results of clinical global impression scale-severity scale at admission, the patients were classified into mild group ($n=41$), moderate group ($n=35$) and severe group ($n=26$). All patients received standardized treatment with quetiapine fumarate tablets combined with amitriptyline hydrochloride tablets for 8 weeks after admission, and were categorized into effective treatment group ($n=81$) and ineffective treatment group ($n=21$) by means of treatment response results. 90 healthy subjects with physical examination were included in the control group. T lymphocyte subsets (percentage of CD45⁺ lymphocytes, percentage of CD3⁺ T cells) and mitochondrial damage indexes of helper T lymphocytes (Th) and cytotoxic T lymphocyte (Ts) were detected and compared. Receiver operating characteristic (ROC) curve was drawn to analyze the predictive value of related indicators. **Results:** Compared with the control group, the percentages of CD45⁺ lymphocytes and CD3⁺ T cells in the observation group were lower while the positive rates of Th and Ts mitochondrial damage indexes were higher ($P<0.05$). Compared with the mild group, the percentage of CD45⁺ lymphocytes and percentage of CD3⁺ T cells in the

moderate group and the severe group were lower in turn, while the positive rate of Th cell mitochondrial damage index and positive rate of Ts cell mitochondrial damage index were higher in turn ($P < 0.05$). ROC curve analysis revealed that the areas under the curves (95% CI) of the above indicators for predicting severe BD were 0.672 (0.536~0.807), 0.628 (0.492~0.763), 0.706 (0.595~0.818) and 0.700 (0.586~0.815) respectively, and the area under the curve (95% CI) of the combined prediction of the four indicators was higher at 0.846 (0.761~0.931). The percentage of CD45⁺ lymphocytes and percentage of CD3⁺ T cells in the ineffective treatment group were lower compared with those in the effective treatment group, while the positive rates of Th and Ts cell mitochondrial damage indexes were higher ($P < 0.05$). ROC curve analysis showed that the areas under the curves (95% CI) of the above indicators for predicting BD treatment ineffectiveness were 0.892 (0.803~0.982), 0.858 (0.759~0.956), 0.785 (0.691~0.879) and 0.773 (0.672~0.875), respectively, and the combined prediction value of the four indicators was higher, with area under the curve (95% CI) of 0.981 (0.727~0.989). **Conclusion:** BD patients have immune dysfunction. T lymphocyte subsets and mitochondrial damage index can be used as effective indicators to evaluate the disease condition and treatment response.

【Key words】 Bipolar disorder; T lymphocyte subsets; Mitochondrial damage; Disease severity; Treatment response

双向情感障碍(bipolar disorder, BD)是一种以情绪极端波动为特征的精神疾病,临床表现为躁狂发作与抑郁发作反复交替,严重影响患者的社会功能及生活质量^[1]。据报道,全球 BD 的患病率为 1%~2%,病因及发病机制尚未完全明确^[2]。近年来有研究^[3]发现,免疫系统异常和线粒体功能障碍可能参与 BD 的病理生理过程。T 淋巴细胞作为适应性免疫的核心组成部分,其功能状态与神经炎症、氧化应激密切相关;而线粒体作为细胞能量代谢和凋亡调控的关键细胞器,当其发生损伤后可能会进一步加剧免疫细胞功能障碍,从而影响疾病进程^[4]。Madireddy 等^[5]研究表明,BD 患者淋巴细胞的线粒体形态和功能存在异常,提示线粒体损伤可能是 BD 的重要生物学标志。还有研究^[6]发现,BD 患者外周血中 CD3⁺ T 细胞的亚群分布及活化异常可能参与神经炎症过程,可能与 BD 的情绪发作相关,而这一过程也可能受到线粒体代谢重编程的调控。但目前关于 BD 患者的 T 淋巴细胞亚群线粒体损伤的具体特征及临床意义的研究仍较为有限。本研究旨在探讨 BD 患者 T 淋巴细胞亚群、线粒体损伤的临床价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取 2023 年 1 月至 2024 年 12 月厦门市仙岳医院收治的 102 例 BD 患者为观察组;同期 90 名体检健康志愿者为对照组。观察组中男性 59 例,女性 43 例;年龄(46.14±7.36)岁。对照组中男性 55 例,女性 35 例;年龄(45.82±6.81)岁。本研究经医院医学伦理委员会审批,参与对象或其家属知情同意。两组对象年龄、性别等一般资料比较,差异无统计学意义($P > 0.05$)。BD 患者再根据病情分为轻度组($n=41$)、中度组($n=35$)、重度组($n=26$);根据患者对治疗的反应分为治疗有效组($n=81$)、治

疗无效组($n=21$)。纳入标准:(1)符合 BD 的诊断标准^[7];(2)年龄>18 岁;(3)处于疾病发作期;(4)临床资料完整。排除标准:(1)合并严重免疫系统疾病,如自身免疫病、艾滋病;(2)近 1 个月使用糖皮质激素、生物制剂、免疫调节药物;(3)合并其他精神疾病;(4)肝肾功能不全;(5)合并心脑血管疾病;(6)合并恶性肿瘤;(7)合并感染;(8)妊娠期及哺乳期妇女;(9)对本研究药物过敏者;(10)线粒体疾病史。

1.2 方法

1.2.1 T 淋巴细胞亚群及线粒体损伤指数检测 采集所有清晨空腹静脉血 2 mL,按照样本信息标记 96 孔板,取 20 μ L 的“预混合试剂”置于对应的孔中;取上下颠倒 ≥ 7 次的 50 μ L 抗凝人外周血样本置于 96 孔板中,使用混匀器混匀,室温下避光孵育 15 min;加入 450 μ L 溶血素工作液于 96 孔板管中,使用混匀器混匀,室温下避光孵育 15 min;使用混匀器混匀 96 孔板,上机检测 CD45⁺ 淋巴细胞百分比、CD3⁺ T 细胞百分比、Th 细胞线粒体损伤指数、Ts 细胞线粒体损伤指数。

1.2.2 治疗方法 BD 患者均给予富马酸喹硫平片治疗,治疗起始剂量通常为第 1 天 100 mg,睡前口服;之后根据患者的耐受性和临床反应,每日增加剂量,递增幅度通常为 100~200 mg/d。目标是在治疗后的 7~14 d 达到治疗剂量范围。治疗时间均为 8 周。

1.2.3 BD 的病情程度分级及对治疗反应的判定标准 采用临床总体印象量表-严重程度量表^[8]对 BD 患者病情严重程度进行分级,总分为 7 分,其中 1~2 分为“轻度”,3~4 分为“中度”,5~7 分为“重度”。采用躁狂量表^[9]和汉密尔顿抑郁量表^[10]评分评估 BD 患者对治疗的反应。其中评分减少 $\geq 50\%$ 为显效,评分减少 25%~49%为有效;评分减少 $< 25\%$ 为无效。

1.3 观察指标

(1)观察组患者与对照组 T 淋巴细胞亚群及线粒体损伤指数;(2)不同病情程度 BD 患者 T 淋巴细胞亚群及线粒体损伤指数;(3)T 淋巴细胞亚群、线粒体损伤指数对 BD 患者重度病情的预测价值;(4)不同治疗反应 BD 患者 T 淋巴细胞亚群及线粒体损伤指数;(5)T 淋巴细胞亚群、线粒体损伤指数对 BD 患者治疗反应的预测价值。

1.4 统计学分析

采用 SPSS27.0 软件对数据进行处理与分析。计量资料符合正态分布且方差齐性,以($\bar{x} \pm s$)表示,两组间比较行独立样本 t 检验,多组间比较行单因素方差分析,进一步两两比较采用 SNK 检验;计数资料以 $[n(\%)]$ 表示,组间比较行独立样本 χ^2 检验;预测价值采用受试者工作特征(ROC)曲线分析。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 观察组与对照组 T 淋巴细胞亚群及线粒体损伤指数比较

观察组的 CD45⁺ 淋巴细胞百分比、CD3⁺ T 细胞百分比低于对照组($P < 0.05$),Th、Ts 细胞线粒体损伤指数阳性率高于对照组($P < 0.05$),见表 1。

表 1 观察组与对照组 T 淋巴细胞亚群及线粒体损伤指数比较 $[\bar{x} \pm s, n(\%)]$

组别	CD45 ⁺ 淋巴细胞百分比	CD3 ⁺ T 细胞百分比	Th 细胞线粒体损伤指数阳性	Ts 细胞线粒体损伤指数阳性
观察组($n=102$)	36.28±3.51	68.64±4.33	51(50.00)	48(47.06)
对照组($n=90$)	42.43±3.22	73.19±4.82	17(18.89)	14(15.56)
t/χ^2 值	12.591	6.890	20.232	21.703
P 值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

2.2 不同病情程度 BD 患者 T 淋巴细胞亚群及线粒体损伤指数比较

不同病情 BD 患者 CD45⁺ 淋巴细胞百分比、CD3⁺ T 细胞百分比随着病情加重依次降低($P < 0.05$)。BD 患者 Th 及 Ts 细胞线粒体损伤指数阳性率随病情加重依次升高,差异均有统计学意义($P < 0.05$)。见表 2。

表 2 不同病情程度 BD 患者 T 淋巴细胞亚群及线粒体损伤指数比较 $[\bar{x} \pm s, n(\%)]$

组别	CD45 ⁺ 淋巴细胞比	CD3 ⁺ T 细胞百分比	Th 细胞线粒体损伤指数阳性	Ts 细胞线粒体损伤指数阳性
轻度组($n=41$)	39.37±3.82	71.98±3.95	12(29.27)	10(24.39)
中度组($n=35$)	36.01±3.21 ^①	68.11±3.47 ^①	18(51.43) ^①	18(51.43) ^①
重度组($n=26$)	31.77±3.03 ^{①②}	64.09±3.03 ^②	21(80.77) ^②	20(76.92) ^②
F/χ^2 值	39.264	39.415	16.924	18.033
P 值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

① $P < 0.05$,与轻度组比较;② $P < 0.05$,与中度组比较。

2.3 T 淋巴细胞亚群及线粒体损伤指数对 BD 患者重度病情的预测价值

CD45⁺ 淋巴细胞百分比、CD3⁺ T 细胞百分比、Th 及 Ts 细胞线粒体损伤指数对预测 BD 重度病情均有价值($P < 0.05$),且四者联合的预测价值更高($P < 0.05$)。见表 3 及图 1。

表 3 T 淋巴细胞亚群及线粒体损伤指数对 BD 患者重度病情的预测价值

指标	截点值	AUC 值	95%CI	P 值	敏感度(%)	特异度(%)
CD45 ⁺ 淋巴细胞百分比	34.22%	0.672	0.536~0.807	0.009	0.654	0.632
CD3 ⁺ T 细胞百分比	66.69%	0.628	0.492~0.763	0.043	0.586	0.716
Th 细胞线粒体损伤指数	-	0.706	0.595~0.818	0.002	0.808	0.605
Ts 细胞线粒体损伤指数	-	0.700	0.586~0.815	0.002	0.769	0.632
四者联合	-	0.846	0.761~0.931	<0.001	0.962	0.605

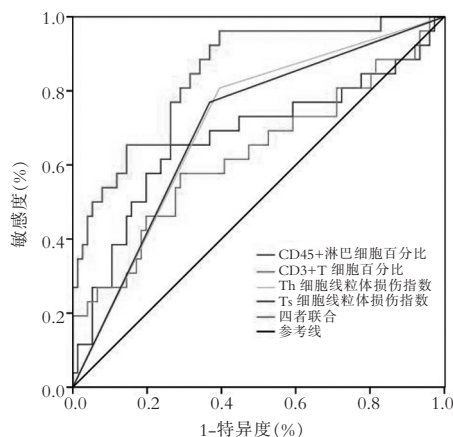


图 1 T 淋巴细胞亚群及线粒体损伤指数预测 BD 患者重度病情价值的 ROC 曲线

2.4 不同治疗反应 BD 患者 T 淋巴细胞亚群及线粒体损伤指数比较

治疗无效组患者 CD45⁺ 淋巴细胞百分比、CD3⁺ T 细胞百分比低于治疗有效组;Th 及 Ts 细胞线粒体损伤指数阳性率高于治疗有效组,差异均有统计学意义($P < 0.05$)。见表 4。

表 4 不同治疗反应 BD 患者 T 淋巴细胞亚群及线粒体损伤指数比较 $[\bar{x} \pm s, n(\%)]$

组别	CD45 ⁺ 淋巴细胞百分比	CD3 ⁺ T 细胞百分比	Th 细胞线粒体损伤指数阳性	Ts 细胞线粒体损伤指数阳性
治疗有效组($n=81$)	37.58±4.21	70.39±5.72	38.27(31/81)	35.80(29/81)
治疗无效组($n=21$)	31.27±4.64	61.89±4.96	95.24(20/21)	90.48(19/21)
t/χ^2 值	5.993	6.224	21.647	20.009
P 值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

2.5 T 淋巴细胞亚群及线粒体损伤指数对 BD 患者治疗反应的预测价值

CD45⁺ 淋巴细胞百分比、CD3⁺ T 细胞百分比、Th/Ts 细胞线粒体损伤指数对预测 BD 患者治疗无效均有价值($P < 0.05$),且四者联合预测的价值更高($P < 0.05$)。见表 5 及图 2。

表 5 T 淋巴细胞亚群及线粒体损伤指数对 BD 患者治疗反应的预测价值

指标	截点值	AUC 值	95%CI	P 值	敏感度(%)	特异度(%)
CD45 ⁺ 淋巴细胞百分比	34.77%	0.892	0.803~0.982	<0.001	0.946	0.556
CD3 ⁺ T 细胞百分比	66.43%	0.858	0.759~0.956	<0.001	0.942	0.609
Th 细胞线粒体损伤指数	-	0.785	0.691~0.879	<0.001	0.939	0.617
Ts 细胞线粒体损伤指数	-	0.773	0.672~0.875	<0.001	0.905	0.642
四者联合	-	0.981	0.727~0.989	<0.001	0.952	0.938

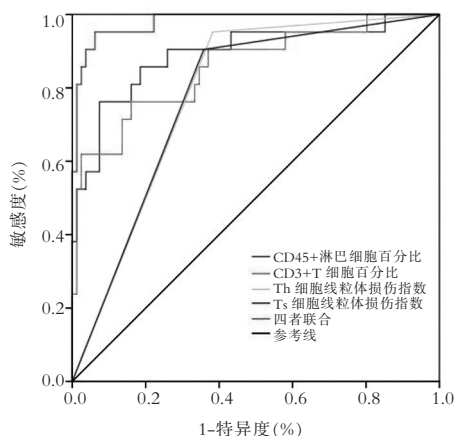


图 2 T 淋巴细胞亚群及线粒体损伤指数预测 BD 患者治疗反应价值的 ROC 曲线

3 讨论

BD 的发病机制涉及神经-内分泌-免疫网络的复杂调控。研究^[11]表明,抑郁和躁狂发作均可通过免疫调节功能异常影响中枢神经系统及神经递质平衡,但与免疫损伤的具体关联机制仍需深入阐明。T 淋巴细胞亚群在免疫调节中具有重要作用,其线粒体功能状态可能通过调控细胞因子分泌参与神经免疫过程。其中,CD45⁺ 表达水平可作为疾病活动度和治疗反应的生物学标志物,CD3⁺ 则能反映机体整体免疫功能状态^[12]。在病理状态下,线粒体损伤可导致活性氧异常累积和腺苷三磷酸合成障碍,进而诱发细胞功能障碍或凋亡。本研究结果显示,BD 患者外周血 CD45⁺ 淋巴细胞和 CD3⁺ T 细胞比例降低,提示存在系统性免疫激活;同时 Th 和 Ts 细胞线粒体损伤阳性率增加,也进一步证实了氧化应激在 BD 发病中的关键作用^[13]。

本研究通过分析不同病情程度 BD 患者 T 淋巴细胞亚群分布及线粒体功能状态情况,结果显示,随着 BD 病情加重,患者外周血 CD45⁺ 淋巴细胞和 CD3⁺ T 细胞百分比呈现下降趋势($P < 0.05$),原因可能与疾病相关的系统性免疫抑制有关。既往研究^[14]表明,慢性炎症状态可导致淋巴细胞耗竭和免疫功能紊乱。本研究结果进一步证实了 BD 患者存在进行性免疫功能障碍的特征。同时,Th 和 Ts 细胞线粒体损伤阳性率随病情加重而逐渐升高,其中重度组分别达到 80.77% 和 76.92%。线粒体作为

细胞能量代谢和氧化应激调控的核心细胞器,其功能损伤可导致活性氧过度积累,进而影响 T 细胞的活化、增殖和细胞因子分泌^[15]。本研究结果也证实了患者 T 细胞亚群线粒体损伤程度与病情重度正相关,侧面支持氧化应激在 BD 发展中的关键作用。ROC 曲线分析显示,上述指标对 BD 重度病情均具有一定的预测价值($P < 0.05$),而四者联合的预测效能更高($P < 0.05$)。这为 BD 的客观病情评估提供了可靠的实验室指标,并提示针对不同病情程度的患者可能需要采取差异化的免疫调节治疗策略,也更为开发基于线粒体保护的靶向治疗提供理论依据。

通过进一步对比分析不同治疗反应的 BD 患者的上述指标,结果显示,T 淋巴细胞亚群分布及线粒体功能状态与 BD 的治疗反应存在密切的关联。治疗无效组的 CD45⁺ 淋巴细胞百分比和 CD3⁺ T 细胞百分比低于治疗有效组($P < 0.05$),提示外周血淋巴细胞比例降低可能是预测治疗抵抗的重要免疫学特征。其降低可能反映了更严重的系统性免疫抑制状态,其免疫耗竭现象可能与慢性炎症微环境导致的淋巴细胞凋亡增加、增殖抑制等有关,进而影响患者对治疗的反应性^[16]。同时治疗无效组 Th、Ts 细胞线粒体损伤阳性率高于治疗有效组($P < 0.05$),也证实了线粒体功能障碍与 BD 治疗抵抗的密切关系。从机制上看,过度的线粒体损伤可能导致 T 细胞能量代谢紊乱、活化异常和细胞因子分泌失调,进而影响药物反应性^[17]。ROC 曲线分析结果显示,CD45⁺ 淋巴细胞百分比和 CD3⁺ T 细胞百分比对治疗反应具有较好的预测价值($P < 0.05$),而 Th 和 Ts 细胞线粒体损伤指数也显示出良好的预测效能($P < 0.05$),四者联合预测效能更高($P < 0.05$)。将该研究结果投射实际应用中,提示 CD45⁺ 淋巴细胞百分比低于 34.77% 或 CD3⁺ T 细胞百分比低于 66.43% 时,临床医生应高度警惕患者治疗无效的风险,并及时指导临床上调整治疗策略。

综上,BD 患者存在免疫紊乱-氧化应激,而检测 T 淋巴细胞亚群及线粒体损伤指数可作为评估 BD 发生、发展及治疗反应的预测指标。

参考文献

- [1] Malhi GS, Jadidi M, Bell E. The diagnosis of bipolar disorder in children and adolescents: Past, present and future[J]. *Bipolar Disorders*, 2023, 25(6): 469-477.
- [2] Miola A, Tondo L, Pinna M, et al. Comparison of bipolar disorder type II and major depressive disorder[J]. *Journal of Affective Disorders*, 2023, 323: 204-212.
- [3] 陆玲娜, 胡希文. 胆碱酯酶在抑郁症与双相情感障碍炎症免疫调节的临床价值[J]. *临床精神医学杂志*, 2024, 34(6): 482-485.
- [4] 王相文, 冯顺康, 陈红, 等. 双相障碍外周血 RNA 测序数据的随机森林与前馈神经网络联合判别模型的构建与分析[J]. *中华精神科杂志*, 2024, 57(4): 213-220.
- [5] Madireddy S, Madireddy S. Therapeutic interventions to miti-

- gate mitochondrial dysfunction and oxidative stress-induced damage in patients with bipolar disorder [J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2022, 23(3): 1844.
- [6] Foiselle M, Lajnef M, Hamdani N, *et al.* Immune cell subsets in patients with bipolar disorder or schizophrenia with history of childhood maltreatment [J]. *Brain, Behavior, and Immunity*, 2023, 112: 42–50.
- [7] Goodwin GM, Haddad PM, Ferrier IN, *et al.* Evidence-based guidelines for treating bipolar disorder: Revised third edition recommendations from the British Association for Psychopharmacology [J]. *Journal of Psychopharmacology*, 2016, 30(6): 495–553.
- [8] Kaul I, Sawchak S, Walling DP, *et al.* Efficacy and safety of xanomeline-trospium chloride in schizophrenia: a randomized clinical trial [J]. *JAMA Psychiatry*, 2024, 81(8): 749–756.
- [9] 潘婵媛. 深部经颅磁刺激辅助治疗双相情感障碍抑郁发作的疗效及对血清 BDNF 的影响 [J]. *精神医学杂志*, 2024, 37(2): 197–200.
- [10] 史心怡, 王一婷, 卢梅. 双相情感障碍患者血清 Hcpidin, LncRNA MIAT 和 CRE 的水平表达及与病情程度关系研究 [J]. *现代检验医学杂志*, 2024, 39(3): 24–28, 36.
- [11] Kasyanova A, Sobolevskaia P, Limankin O, *et al.* Comparison of immune and systemic inflammation parameters in patients with a depressive episode in bipolar disorder and major depressive disorder: a scoping review [J]. *Consortium Psychiatricum*, 2024, 5(4): 64–77.
- [12] Li S, Lv D, Qian C, *et al.* Circulating T-cell subsets discrepancy between bipolar disorder and major depressive disorder during mood episodes: a naturalistic, retrospective study of 1015 cases [J]. *CNS Neuroscience & Therapeutics*, 2024, 30(2): e14361.
- [13] 舒一, 刘德果, 李姿蓉, 等. 复方柴金解郁方调控 AMPK/FOXO3a 信号改善抑郁合并失眠模型大鼠线粒体自噬损伤 [J]. *中国医院药学杂志*, 2025, 45(10): 1112–1123.
- [14] 李彦, 叶璐. 干扰长链非编码 RNA TUG1 上调 miR-26a 缓解 LPS 诱导的脓毒症大鼠线粒体损伤和免疫紊乱 [J]. *免疫学杂志*, 2020, 36(2): 125–131.
- [15] Cyrino LAR, Delwing-de Lima D, Ullmann OM, *et al.* Concepts of neuroinflammation and their relationship with impaired mitochondrial functions in bipolar disorder [J]. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 2021, 15: 609487.
- [16] Lin S, Liu R, Zhang Z, *et al.* Sex-specific immune-inflammatory markers and lipoprotein profile in patients with anhedonia with unipolar and bipolar depression [J]. *BMC Psychiatry*, 2023, 23(1): 879.
- [17] Kageyama Y, Deguchi Y, Kasahara T, *et al.* Intra-individual state-dependent comparison of plasma mitochondrial DNA copy number and IL-6 levels in patients with bipolar disorder [J]. *Journal of Affective Disorders*, 2022, 299: 644–651.
- (收稿日期: 2025-08-24 修回日期: 2025-10-19)

(上接第 243 页)

- [4] 许莉, 刘高全. 2 型糖尿病患者下肢动脉粥样硬化分级与心脑血管病变的相关性 [J]. *临床与病理杂志*, 2020, 40(6): 1420–1427.
- [5] 徐进, 杨波. miR-152-3p 对血管平滑肌细胞的作用及其机制研究 [J]. *川北医学院学报*, 2020, 35(4): 583–587, 615.
- [6] Beek JT, Guskov A, Slotboom DJ. Structural diversity of ABC transporters [J]. *Journal of General Physiology*, 2014, 143(4): 419–435.
- [7] Frambach SJCM, de Haas R, Smeitink JAM, *et al.* Brothers in arms: ABCA1- and ABCG1-mediated cholesterol efflux as promising targets in cardiovascular disease treatment [J]. *Pharmacological Reviews*, 2020, 72(1): 152–190.
- [8] Teixeira MD, Tureck LV, Nascimento GAD, *et al.* Is it possible ABC transporters genetic variants influence the outcomes of a weight-loss diet in obese women? [J]. *Genetics and Molecular Biology*, 2020, 43(3): e20190326.
- [9] Duong M, Uno K, Nankivell V, *et al.* Induction of obesity impairs reverse cholesterol transport in ob/ob mice [J]. *PLoS One*, 2018, 13(9): e0202102.
- [10] 王伟. ABCG1 基因功能调节在动脉粥样硬化及巨噬细胞胆固醇外流中的作用研究 [D]. 北京: 北京协和医学院, 2013.
- [11] Yang S, Jia J, Liu Y, *et al.* Genetic variations in ABCA1/G1 associated with plasma lipid levels and risk of ischemic stroke [J]. *Gene*, 2022, 823: 146343.
- [12] Li Q, Liu X, Zhu R, *et al.* Association of ATP-binding cassette transporter G1 polymorphisms with risk of ischemic stroke in the Chinese Han population [J]. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases*, 2015, 24(6): 1397–1404.
- [13] 李瞿, 张小倩, 刘旭, 等. ABCG1 基因多态性与中国汉族人群缺血性脑卒中的相关性研究 [J]. *中国临床神经科学*, 2016, 24(4): 365–370.
- [14] Wang Y, Li Z, Bie X, *et al.* A promoter polymorphism (Rs 57137919) of ABCG1 gene influence on blood lipoprotein in Chinese Han population [J]. *Annals of Vascular Surgery*, 2020, 68: 460–467.
- [15] 刘芳. ABCG1 基因表达对巨噬细胞功能影响及在动脉粥样硬化中作用的研究 [D]. 北京: 北京协和医学院, 2014.
- [16] 王延风, 陈敬洲, 王曙霞, 等. ABCG1 启动子区基因多态性与心肌梗死有关联 [J]. *心脏杂志*, 2008, 20(3): 309–312.
- [17] 高淑红, 翟晓娟, 李莉, 等. 冠心病 ABCG1 基因启动子区 rs1378577 位点 A/C 多态性对血管内皮功能的影响研究 [J]. *中国预防医学杂志*, 2018, 19(2): 133–136.
- [18] 黄鑫茹, 石晔飞, 李明杰, 等. 血管内皮细胞功能在维持代谢稳态中的作用和机制 [J]. *中华心血管病杂志(网络版)*, 2022, 5(1): 1–6.
- (收稿日期: 2025-06-19 修回日期: 2025-09-22)