

血清Caspase-1、IL-1 β 与高血压患者冠状动脉病变的相关性研究

李 东¹, 白海岩¹, 张 露¹, 仲宇彤¹, 贾玉哲¹, 杨 丽^{2*}

¹内蒙古科技大学包头医学院, 内蒙古 包头

²包头医学院第一附属医院检验科, 内蒙古 包头

收稿日期: 2025年3月10日; 录用日期: 2025年4月3日; 发布日期: 2025年4月14日

摘 要

目的: 探讨高血压患者血清含半胱氨酸的天冬氨酸蛋白水解酶-1 (Caspase-1)、白细胞介素-1 β (IL-1 β)水平与冠状动脉病变的关系。方法: 选取2022年11月至2024年11月期间在包头医学院第一附属医院进行冠状动脉造影检查的高血压患者121例(高血压组)和同时段体检健康人群40例(对照组)。比较两组患者一般资料, 通过酶联免疫吸附测定法检测两组血清Caspase-1、IL-1 β 水平, 通过多元无序Logistic回归分析模型分析其对高血压患者冠状动脉病变的诊断价值。结果: 与对照组相比, 高血压组患者血清Caspase-1、IL-1 β 水平升高($P < 0.05$)。冠心病组血清Caspase-1、IL-1 β 水平高于冠状动脉粥样硬化组和造影正常组, 冠状动脉粥样硬化组血清Caspase-1、IL-1 β 水平高于造影正常组($P < 0.05$)。多元无序Logistic回归分析模型分析后显示, 高血压组患者中年龄增加是冠心病及冠状动脉粥样硬化的独立危险因素($P < 0.05$); Caspase-1降低、IL-1 β 降低为冠心病及冠状动脉粥样硬化的独立保护因素($P < 0.05$)。结论: 高血压病人血清Caspase-1、IL-1 β 水平, 与冠状动脉病变具有一定诊断价值, 高血压病人血清Caspase-1、IL-1 β 水平升高与患者冠脉病变发生密切相关。

关键词

Caspase-1, IL-1 β , 高血压, 冠状动脉病变

Study on the Correlation between Serum Caspase-1, IL-1 β and Coronary Artery Disease in Hypertensive Patients

Dong Li¹, Haiyan Bai¹, Lu Zhang¹, Yutong Zhong¹, Yuzhe Jia¹, Li Yang^{2*}

¹Baotou Medical College of Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou Inner Mongolia

²Department of Laboratory Medicine, First Affiliated Hospital of Baotou Medical College, Baotou Inner Mongolia

*通讯作者。

文章引用: 李东, 白海岩, 张露, 仲宇彤, 贾玉哲, 杨丽. 血清 Caspase-1、IL-1 β 与高血压患者冠状动脉病变的相关性研究[J]. 临床医学进展, 2025, 15(4): 1511-1517. DOI: 10.12677/acm.2025.1541086

Abstract

Objective: To investigate the relationship between serum levels of cysteine containing aspartic acid protease-1 (Caspase-1) and interleukin-1 β (IL-1 β) and coronary artery disease in patients with hypertension. **Method:** 121 hypertensive patients (hypertensive group) and 40 healthy individuals (control group) who underwent coronary angiography at the First Affiliated Hospital of Baotou Medical College from November 2022 to November 2024 were selected. The general data of the two groups of patients were compared. Serum levels of Caspase-1 and IL-1 β were measured using enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA). The diagnostic value of these biomarkers for coronary artery lesions in hypertensive patients was analyzed through a multinomial logistic regression analysis model. **Results:** Compared with the control group, the levels of serum Caspase-1 and IL-1 β in patients with hypertension were increased ($P < 0.05$). The levels of serum Caspase-1 and IL-1 β in coronary artery disease group were higher than those in coronary artery atherosclerosis group and angiographic normal group, and the levels of serum Caspase-1 and IL-1 β in coronary artery atherosclerosis group were higher than those in angiographic normal group ($P < 0.05$). Multivariate random logistic regression analysis model showed that the increase of age in patients with hypertension was an independent risk factor for coronary heart disease and coronary atherosclerosis ($P < 0.05$); The decrease of Caspase-1 and IL-1 β were independent protective factors for coronary heart disease and coronary atherosclerosis ($P < 0.05$). **Conclusion:** The levels of serum Caspase-1 and IL-1 β in hypertensive patients have certain diagnostic value for coronary artery disease. Elevated levels of serum Caspase-1 and IL-1 β in hypertensive patients are closely related to the occurrence of coronary artery disease.

Keywords

Caspase-1, IL-1 β , Hypertension, Coronary Artery Disease

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着社会经济的发展,我国居民生活水平大幅提升,人口老龄化加速,冠状动脉粥样硬化性心脏病(冠心病)的发病率也不断攀升,截至 2023 年患病人数约为 1139 万[1],已成为我国家庭和社会的沉重负担。而高血压作为我国最常见的慢性病,是长期主要不良心血管事件的主要原因,有研究表明,收缩压每降低 10 mmHg (1 mmHg = 0.133 kPa),或舒张压每降低 5 mmHg,冠心病发病风险就会降低 20% [2],相比血压正常患者,高血压病人的冠心病发病风险大大增加[3];所以有必要对高血压患者冠状动脉病变情况进行评估。冠心病的冠脉粥样硬化(coronary atherosclerosis, CAS)形成特征是贯穿整个疾病的血管炎症,血管中会产生大量炎症因子,促使斑块变薄易破裂,破坏其稳定性[4],最终导致脂质沉积和斑块形成。研究发现,焦亡作为一种新的程序性细胞死亡方式,可能在冠状动脉斑块破裂及血管炎症的产生中发挥重要作用[5],含半胱氨酸的天冬氨酸蛋白水解酶(Caspase-1)作为焦亡最经典研究最广泛的标志因子,其被认为与 CAS 的发生发展过程高度相关[6]。白细胞介素-1 β (IL-1 β)是焦亡细胞接受相关刺激激活后,经过一系列级联放大反应后释放到细胞外的炎症因子[7]。研究报道,血清 Caspase-1 和 IL-1 β 水平与冠心

病患者冠脉病变程度有关[8] [9]，但两者关系尚不十分清楚。故本研究结合高血压患者的冠脉病变情况，通过评估患者一般资料，血清 Caspase-1 和 IL-1 β 水平，探讨上述因素对高血压患者冠脉病变的影响。

2. 资料与方法

2.1. 研究对象

选取 2022 年 11 月至 2024 年 11 月期间在包头医学院第一附属医院进行冠状动脉造影检查的高血压患者 121 例为高血压组，根据高血压组患者冠脉造影结果将高血压组(121 例)分为正常组(冠状动脉无狭窄 27 例)、冠状动脉粥样硬化(CAS)组(冠状动脉直径狭窄 0%~50% 41 例)及冠心病组(冠状动脉直径狭窄 > 50% 53 例)；另选取同时段体检健康人群 40 例为对照组。纳入标准：① 符合《国家基层高血压防治管理指南 2020 版》[2]高血压诊断标准；② 年龄 ≥ 18 岁；③ 首次完善冠脉造影；④ 影像资料及临床资料完整；排除标准：① 既往已确诊冠心病；② 合并脏器功能不全；③ 伴有恶性肿瘤、感染性疾病、免疫系统疾病者。

2.2. 收集患者临床资料

收集高血压组及对照组患者年龄、性别、血压、体质指数(BMI)、糖化血红蛋白(HbA1c)、血脂四项及基础病史等资料。

2.3. 血清 Caspase-1 和 IL-1 β 水平检测

采集所有受检者晨起空腹静脉血 4 ml，以 3000 转每分钟离心 10 分钟，离心半径 15 cm，后取上层血清用宝如亿(北京)生物技术有限公司提供的 ELISA 试剂盒检测 Caspase-1 (货号：RE12067-96T)和 IL-1 β (货号：RE10160-96T)水平。

2.4. 统计学分析

所有数据均采用 SPSS 27.0 统计学软件分析。连续变量的测量数据用 $\bar{x} \pm s$ 表示，组间比较采用 t 检验；计数资料用例数表示，组间比较用 χ^2 检验或 Fisher 精确检验，多元无序 Logistic 回归分析高血压患者冠状动脉病变的因素。P < 0.05 代表差异有统计学意义。

3. 结果

3.1. 高血压组与对照组一般资料、血清 Caspase-1 和 IL-1 β 水平比较

高血压组和对照组患者的年龄、性别分别比较，无统计学差异(P > 0.05)，高血压组患者血清 Caspase-1 和 IL-1 β 水平高于对照组(P < 0.05) (表 1)。

Table 1. Comparison of general information, serum Caspase-1, and IL-1 β levels of participants

表 1. 纳入者一般资料、血清 Caspase-1 和 IL-1 β 水平比较

组别	男性(n, %)	年龄(岁)	Caspase-1 (pmol/L)	IL-1 β (ng/L)
对照组 (n = 40)	20 (50.00)	63.33 $\pm$ 8.12	2.55 $\pm$ 1.13	10.38 $\pm$ 4.24
高血压组 (n = 121)	70 (57.85)	63.13 $\pm$ 7.85	4.31 $\pm$ 2.01	21.83 $\pm$ 6.72
p 值	0.628	0.392	<0.001	<0.001

注：Caspase-1：含半胱氨酸的天冬氨酸蛋白水解酶-1；IL-1 β ：白细胞介素-1 β 。

3.2. 高血压不同患者冠脉病变组血清 Caspase-1、IL-1 β 水平和一般资料比较

本研究发现冠心病组患者年龄大于冠状动脉粥样硬化(CAS)组及造影正常组,收缩压及舒张压高于冠状动脉粥样硬化(CAS)组、造影正常组,差异有统计学意义($P < 0.05$)。冠心病组患者血清 Caspase-1 和 IL-1 β 水平高于冠状动脉粥样硬化(CAS)组及造影正常组,差异有统计学意义($P < 0.05$)。冠状动脉粥样硬化(CAS)组患者年龄大于造影正常组,收缩压及舒张压高于造影正常组,差异有统计学意义($P < 0.05$)。冠状动脉粥样硬化(CAS)组患者血清 Caspase-1 和 IL-1 β 水平高于造影正常组,差异有统计学意义($P < 0.05$) (表 2)。

Table 2. Comparison of serum Caspase-1, IL-1 β levels and general information in patients with different coronary artery lesions in the hypertension group

表 2. 高血压组患者不同冠状动脉病变血清 Caspase-1、IL-1 β 水平和一般资料比较

项目	正常组(n = 27)	CAS 组(n = 41)	冠心病组(n = 53)	P 值
男性(n, %)	14 (51.85)	24 (58.54)	32 (60.38)	0.761
年龄(岁, $\bar{x} \pm s$)	57.32 $\pm$ 10.21	64.01 $\pm$ 11.86	72.20 $\pm$ 9.34	<0.001
收缩压(mmHg, $\bar{x} \pm s$)	132.14 $\pm$ 12.96	139.02 $\pm$ 13.24	142.41 $\pm$ 9.35	<0.001
舒张压(mmHg, $\bar{x} \pm s$)	83.71 $\pm$ 8.46	85.39 $\pm$ 10.21	93.86 $\pm$ 9.87	<0.001
BMI (kg/m ² , $\bar{x} \pm s$)	25.64 $\pm$ 2.11	26.18 $\pm$ 2.26	26.35 $\pm$ 2.13	0.211
HbA1c (% , $\bar{x} \pm s$)	5.98 $\pm$ 0.79	5.87 $\pm$ 0.66	6.21 $\pm$ 1.01	0.074
脑卒中(n, %)	1 (3.70)	2 (4.88)	3 (5.66)	0.930
糖尿病(n, %)	3 (11.11)	6 (14.63)	8 (15.09)	0.881
TC (mmol/L, $\bar{x} \pm s$)	4.66 $\pm$ 0.61	4.72 $\pm$ 0.81	4.78 $\pm$ 0.87	0.691
TG (mmol/L, $\bar{x} \pm s$)	1.48 $\pm$ 0.41	1.42 $\pm$ 0.26	1.62 $\pm$ 0.32	0.249
HDL-C (mmol/L, $\bar{x} \pm s$)	1.11 $\pm$ 0.28	1.13 $\pm$ 0.23	1.01 $\pm$ 0.26	0.159
LDL-C (mmol/L, $\bar{x} \pm s$)	2.83 $\pm$ 0.85	2.99 $\pm$ 0.87	3.19 $\pm$ 0.93	0.109
Caspase-1 (pmol/L, $\bar{x} \pm s$)	2.86 $\pm$ 1.51	4.23 $\pm$ 1.56	5.64 $\pm$ 1.49	<0.001
IL-1 β (ng/L, $\bar{x} \pm s$)	14.71 $\pm$ 6.86	21.34 $\pm$ 6.56	28.84 $\pm$ 6.21	<0.001

注: BMI: 身体质量指数; HbA1c: 糖化血红蛋白; TC: 总胆固醇; TG: 三酰甘油; HDL-C: 高密度脂蛋白胆固醇; LDL-C: 低密度脂蛋白胆固醇; Caspase-1: 含半胱氨酸的天冬氨酸蛋白水解酶-1; IL-1 β : 白细胞介素-1 β 。

3.3. 不同冠状动脉病变高血压患者多元无序 Logistic 回归分析

选取表 2 中差异有统计学意义的项目(年龄、舒张压、收缩压、Caspase-1 和 IL-1 β)作为自变量,以高血压组不同冠状动脉病变为因变量(造影正常组作参考),建立多元无序 Logistic 回归模型。结果可见,高血压组患者中年龄增加是冠心病及冠状动脉粥样硬化的独立危险因素; Caspase-1 降低、IL-1 β 降低为冠状动脉病变的独立保护因素($P < 0.05$) (表 3)。

Table 3. Multivariate unordered logistic regression analysis of hypertensive patients with different coronary artery lesions

表 3. 不同冠状动脉病变高血压患者多元无序 Logistic 回归分析

状态变量	β	SE	WaldX2	OR 值	95%CI	P 值
CAS						
截距	6.345	8.357	0.551	-	-	0.437
年龄增加	0.103	0.051	5.318	0.991	1.006~1.175	0.018

续表

收缩压升高	0.039	0.043	0.840	1.042	0.968~1.138	0.381
舒张压升高	0.092	0.049	2.584	1.086	0.984~1.198	0.109
Caspase-1 降低	-0.526	0.139	17.129	0.636	0.513~0.792	<0.001
IL-1 β 降低	-0.602	0.087	37.123	0.532	0.443~0.649	<0.001
冠心病						
截距	6.241	6.473	0.897	-	-	0.321
年龄增加	0.049	0.021	3.468	1.046	0.987~1.114	0.041
收缩压升高	0.031	0.042	0.601	1.041	0.965~1.123	0.452
舒张压升高	0.036	0.127	1.372	1.034	0.957~1.097	0.226
Caspase-1 降低	-0.252	0.088	7.938	0.721	0.603~0.884	0.003
IL-1 β 降低	-0.366	0.071	22.569	0.679	0.589~0.784	<0.001

注: Caspase-1: 含半胱氨酸的天冬氨酸蛋白水解酶-1; IL-1 β : 白细胞介素-1 β 。

4. 讨论

随着我国经济不断的发展, 人民物质生活水平得以不断提高, 各种慢性病发病率也在不断攀升, 其中最常见的慢性病当属高血压, 其是一种以体循环动脉压长期在升高状态为主要特征的慢性疾病, 人体血压长期持续的升高, 可引起血管内血流动力学改变、神经内分泌紊乱, 使动脉血管内膜遭受机械性损伤, 后脂质得以沉积在血管壁形成附壁血栓, 其中危害最大后果最严重的当以冠状动脉血管损伤[10][11]。慢性高血压病人交感神经易于兴奋, 可释放儿茶酚胺等直接造成冠脉血管壁损伤, 甚至引起冠脉血管痉挛损害内皮的功能, 加速 CAS 进程继而导致不同程度的冠脉病变, 导致众多心血管事件的发生[12]。对于高血压患者, 延缓或者预防其冠脉病变至关重要, 这就需要早期精准的管理和筛选与之相关的危险因素和相关保护因素。本研究通过选取不同程度冠脉病变的高血压人群进行一般资料及相关生化指标比较, 对影响高血压患者冠脉病变风险因素进行筛选, 指导临床更好地调控血压, 预防心血管疾病。

CAS 作为一种大动脉无菌性炎症疾病, 炎症反应在血管病变的整个过程都存在, 局部脂质和泡沫细胞的增多, 粥样斑块的崩解和有序坏死, 纤维组织的钙化和不规则增生都有炎症反应的存在[13]。近些年, 细胞焦亡作为一种以炎症性细胞死亡为特征的新的死亡方式逐渐进入大家视野[14]。研究表明, 包括巨噬细胞、内皮细胞等在内的细胞发生焦亡或是导致 CAS 的重要因素[15][16]。焦亡经典途径发生中最为重要的是各种炎症小体的组装激活, 众多炎症体中目前研究最广泛热度最高的当属 NLRP3 炎症体[17][18], 其是由 NLRP3、含半胱氨酸的天冬氨酸蛋白水解酶-1 前体(Pro-caspase-1)和衔接蛋白(ASC)组装而成, 接受病原或损伤等相关刺激后被激活, 产生有活性成熟的 caspase-1, 参与调节多种疾病中的炎症级联反应, 主要有两方面作用, 一方面通过影响成孔蛋白消皮素 D (GSDMD)在细胞膜上形成微孔破裂细胞发挥作用[19], 另一方面激活促炎细胞因子 IL-1 β 和 IL-18, 最后使炎症因子释放到细胞外发生级联炎症反应[20], 不排除该炎症反应导致血管内皮细胞正常屏障受损, 诱发或加速冠脉粥样硬化的发生, 加剧斑块的不稳定。故本研究选取 Caspase-1 和 IL-1 β 两个因子作为候选指标评估影响高血压患者冠脉病变的因素。

本研究收集 40 例健康对照组及 121 例完善冠脉造影的高血压组患者, 根据冠脉造影结果将高血压组分为造影正常组、CAS 组及冠心病组, 比较各组一般资料, 采用酶联免疫吸附测定法检测血清 Caspase-1、IL-1 β 水平。结果显示: 与健康对照组相比, 高血压组患者血清 Caspase-1 和 IL-1 β 水平升高, 差异有统计学意义($P < 0.05$)。在高血压患者中, 冠心病组血清 Caspase-1、IL-1 β 水平高于 CAS 组和造影正常组, CAS 组血清 Caspase-1、IL-1 β 水平高于造影正常组, 差异均有统计学意义($P < 0.05$)。我们看到高血压组

中随着患者年龄增加,其冠脉病变程度也越重。结合多元无序 Logistic 回归分析模型,可得出年龄增加是冠心病及冠状动脉粥样硬化的独立危险因素($P < 0.05$)。说明随着年龄增加高血压患者冠心病和 CAS 发病风险也在上升。近年来也越来越多的研究表明,高糖、氧化应激和炎症等多种易导致冠脉粥样硬化的危险因素可能在血管内皮和巨噬细胞中激活 NLRP3 炎症体[21],在粥样斑块中发生焦亡。在本研究中高血压患者冠脉狭窄程度减低,血清 Caspase-1 和 IL-1 β 水平也显著降低,结合多元无序 Logistic 回归分析模型结果,高血压患者血清 Caspase-1 和 IL-1 β 水平降低是冠心病和 CAS 的独立保护因素,说明血清 Caspase-1 和 IL-1 β 水平降低能降低高血压患者冠心病和 CAS 发病风险。这与潘晓霞等人的研究结果相似[22]。

5. 综述

血清 Caspase-1 和 IL-1 β 升高与高血压患者冠状动脉粥样硬化病变发生有关,且随着冠脉病变狭窄程度加重而升高。定期检测这些指标有助于评估高血压患者冠脉病变程度,对冠状动脉病变具有一定诊断价值。但限于病例数及可提取的信息有限,关于血清 Caspase-1、IL-1 β 水平与高血压患者冠状动脉病变的关系的研究结果仍存在局限性,有待进一步深入研究及多中心验证。

声 明

该病例报道已获得病人的知情同意。

参考文献

- [1] 刘明波,何新叶,杨晓红,等.《中国心血管健康与疾病报告 2023》概要(心血管疾病流行及介入诊疗状况)[J]. 中国介入心脏病学杂志, 2024, 32(10): 541-550.
- [2] 国家心血管病中心国家基本公共卫生服务项目基层高血压管理办公室,国家基层高血压管理专家委员会.国家基层高血压防治管理指南 2020 版[J]. 中国循环杂志, 2021, 36(3): 209-220.
- [3] Tao, S., Yu, L., Li, J., Huang, L., Huang, X., Zhang, W., et al. (2023) Association between the Triglyceride-Glucose Index and 1-Year Major Adverse Cardiovascular Events in Patients with Coronary Heart Disease and Hypertension. *Cardiovascular Diabetology*, 22, Article No. 305. <https://doi.org/10.1186/s12933-023-02018-9>
- [4] Truong, R., Thankam, F.G. and Agrawal, D.K. (2020) Immunological Mechanisms Underlying Sterile Inflammation in the Pathogenesis of Atherosclerosis: Potential Sites for Intervention. *Expert Review of Clinical Immunology*, 17, 37-50. <https://doi.org/10.1080/1744666x.2020.1860757>
- [5] Hoseini, Z., Sepahvand, F., Rashidi, B., Sahebkar, A., Masoudifar, A. and Mirzaei, H. (2017) NLRP3 Inflammasome: Its Regulation and Involvement in Atherosclerosis. *Journal of Cellular Physiology*, 233, 2116-2132. <https://doi.org/10.1002/jcp.25930>
- [6] 曹朝晖,吴颀,胡小波.细胞焦亡参与动脉粥样硬化形成的分子机制新进展[J]. 中国动脉硬化杂志, 2021, 29(7): 560-565.
- [7] Sun, Q. and Scott, M.J. (2016) Caspase-1 as a Multifunctional Inflammatory Mediator: Noncytokine Maturation Roles. *Journal of Leukocyte Biology*, 100, 961-967. <https://doi.org/10.1189/jlb.3mr0516-224r>
- [8] 齐佳昕,范骞,邓锁琴,等.血清 GSDMD、IL-1 β 、IL-18 与冠状动脉粥样硬化斑块稳定性关系研究[J]. 哈尔滨医科大学学报, 2022, 56(6): 598-602.
- [9] 王亚丽,王伟,谭蛟.冠心病患者血清 NLRP3 炎症小体、NF- κ B 的表达及其与 Gensini 评分的关系[J]. 临床医学, 2021, 41(7): 1-4.
- [10] 中国高血压防治指南修订委员会,高血压联盟(中国,中华医学会心血管病学分会中国医师协会高血压专业委员会,等.中国高血压防治指南(2018 年修订版)[J]. 中国心血管杂志, 2019, 24(1): 24-56.
- [11] 王新,李春阳,苏立平,等.动脉粥样硬化发病机制及治疗的研究进展[J]. 实用心脑血管病杂志, 2017, 25(2): 1-4.
- [12] 林艾雯,陈竹君.动脉粥样硬化与内皮细胞损伤机制的研究进展[J]. 岭南心血管病杂志, 2015, 21(4): 580-582.
- [13] 海平,章启勇,梅能,等.老年冠心病伴冠状动脉钙化患者糖脂代谢、血清 GSDMD、IL-18 水平及其风险预警模型的研究[J]. 中国循证心血管医学杂志, 2024, 16(9): 1119-1123.

-
- [14] Sun, L., Ma, W., Gao, W., Xing, Y., Chen, L., Xia, Z., *et al.* (2019) Propofol Directly Induces Caspase-1-Dependent Macrophage Pyroptosis through the NLRP3-ASC Inflammasome. *Cell Death & Disease*, **10**, Article No. 542. <https://doi.org/10.1038/s41419-019-1761-4>
- [15] Cypryk, W., Nyman, T.A. and Matikainen, S. (2018) From Inflammasome to Exosome—Does Extracellular Vesicle Secretion Constitute an Inflammasome-Dependent Immune Response? *Frontiers in Immunology*, **9**, Article No. 2188. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2018.02188>
- [16] Tall, A.R. and Bornfeldt, K.E. (2023) Inflammasomes and Atherosclerosis: A Mixed Picture. *Circulation Research*, **132**, 1505-1520. <https://doi.org/10.1161/circresaha.123.321637>
- [17] Xu, Y., Gao, X., Wang, L., Yang, M. and Xie, R. (2021) Bakuchiol Ameliorates Cerebral Ischemia-Reperfusion Injury by Modulating NLRP3 Inflammasome and Nrf2 Signaling. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, **292**, Article ID: 103707. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2021.103707>
- [18] Cai, L., Yao, Z., Yang, L., Xu, X., Luo, M., Dong, M., *et al.* (2022) Mechanism of Electroacupuncture against Cerebral Ischemia-Reperfusion Injury: Reducing Inflammatory Response and Cell Pyroptosis by Inhibiting NLRP3 and Caspase-1. *Frontiers in Molecular Neuroscience*, **15**, Article ID: 822088. <https://doi.org/10.3389/fnmol.2022.822088>
- [19] 李明, 郑思, 王佳音, 等. 姜黄素通过 NLRP3/caspase-1/GSDMD 通路抑制过氧化氢诱导的 RSC96 细胞焦亡[J]. 神经解剖学杂志, 2024, 40(5): 619-625.
- [20] Xue, S., Xue, Y., Dou, D., Wu, H., Zhang, P., Gao, Y., *et al.* (2022) Kui Jie Tong Ameliorates Ulcerative Colitis by Regulating Gut Microbiota and Nlrp3/Caspase-1 Classical Pyroptosis Signaling Pathway. *Disease Markers*, **2022**, Article ID: 2782112. <https://doi.org/10.1155/2022/2782112>
- [21] Grebe, A., Hoss, F. and Latz, E. (2018) NLRP3 Inflammasome and the IL-1 Pathway in Atherosclerosis. *Circulation Research*, **122**, 1722-1740. <https://doi.org/10.1161/circresaha.118.311362>
- [22] 潘晓霞, 咎娜娜, 王建福, 等. 血清 Caspase-1、Vaspin、IL-1 β 和 IL-18 水平与老年糖尿病患者冠状动脉粥样硬化严重程度的相关性及其短期预后[J]. 中国老年学杂志, 2024, 44(20): 4905-4908.