

本文引用: 胡书梅, 谢鸿荣, 袁月, 等. 重症急性胰腺炎患者血浆致动脉粥样硬化指数的动态变化及与预后的关系[J]. 中国动脉硬化杂志, 2026, 34(5): 418-430. DOI: 10.20039/j.cnki.1007-3949.2026.05.005.

· 临床研究 ·

[文章编号] 1007-3949(2026)34-05-0418-13

重症急性胰腺炎患者血浆致动脉粥样硬化指数的动态变化及其与预后的关系

胡书梅¹, 谢鸿荣¹, 袁月², 杨智传¹, 陈信非¹, 杨明¹, 江峰¹

三六三医院 1. 急诊科, 2. 重症医学科, 四川省成都市 610041

[摘要] **[目的]** 分析血浆致动脉粥样硬化指数(AIP)在重症急性胰腺炎(SAP)患者病程中的动态变化及其对患者预后的预测效能。**[方法]** 收集并分析2020年6月—2024年6月三六三医院150例SAP患者的临床数据,且按照患者入院28天随访期内的预后进行分组,其中112例纳入生存组,38例纳入死亡组。采用重复测量方差分析,探究两组患者在治疗前(T0)、治疗后第5天(T5)、治疗后第10天(T10)的甘油三酯(TG)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL)、AIP及炎症指标的变化情况;多元线性回归分析不同时间点AIP与炎症指标的关系;Logistic回归模型分析不同时间点AIP与SAP患者死亡风险的独立相关性;受试者工作特征(ROC)曲线分析不同时间点AIP、TG、HDL及炎症指标与SAP患者死亡风险的关系;限制性立方样条模型(RCS)分析AIP与SAP患者死亡风险的关系;多维度分层分析AIP水平与SAP患者死亡风险的关联性;Kaplan-Meier生存曲线分析SAP患者生存率;亚组分析不同病因患者T5、T10时AIP与SAP患者死亡风险的关联;采用DeLong检验进一步分析剔除脂源性患者后AIP对SAP的预测效能。**[结果]** 死亡组患者的年龄、多器官功能衰竭、白细胞计数(WBC)、急性生理与慢性健康评分II(APACHE II)及序贯器官衰竭评分(SOFA)均高于生存组;白蛋白(ALB)、总胆固醇(TC)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL)水平均低于生存组,差异有统计学意义(均 $P<0.05$)。生存组TG、AIP、C反应蛋白(CRP)、降钙素原(PCT)及白细胞介素6(IL-6)在T0、T5、T10依次下降,而死亡组AIP和CRP、PCT、IL-6呈先升高、后下降趋势;生存组HDL上升,而死亡组呈先下降后上升趋势,差异有统计学意义(均 $P<0.05$)。重复测量方差分析对两组患者的TG、HDL、AIP、CRP、PCT、IL-6进行统计检验,结果显示两组患者在时间、组间和时间×组间上的差异均有统计学意义($P<0.05$)。T0、T5、T10时AIP分别与CRP、PCT、IL-6呈正向线性回归关系($P<0.001$)。Logistic回归分析表明T5、T10时AIP与SAP患者死亡风险均具有独立相关性($P<0.05$)。ROC曲线分析结果显示,AIP在T5($AUC:0.922,95\%CI:0.873\sim0.965$)、T10($AUC:0.951,95\%CI:0.914\sim0.993$)预测效能均佳,且T10时预测效能最高,灵敏度(99.5%)、精确度(88.7%)最高。RCS分析结果表明T5、T10时AIP与SAP患者死亡风险呈非线性剂量-反应关系($P<0.05$)。多维度分层分析结果显示T5、T10时,AIP与SAP患者死亡风险在APACHE II ≥ 20 分、SOFA ≥ 8 分、CRP ≥ 200 mg/L、PCT ≥ 10 mg/L及IL-6 ≥ 300 ng/L亚组内存在关联性,且SAP患者伴有器官衰竭时死亡风险更高。生存曲线分析显示,T5时AIP >0.20 组与AIP ≤ 0.20 组比较,差异具有统计学意义($\chi^2=6.437,P<0.001$);T10时AIP >0.10 组与AIP ≤ 0.10 组比较,差异具有统计学意义($\chi^2=5.831,P<0.001$)。亚组分析显示不同病因中T5、T10时AIP与死亡风险均存在独立相关性,且高AIP水平组相关性更明显,且均具有良好的区分能力;剔除脂源性患者后,ROC结果显示AIP在非脂源性SAP患者中仍具有预测效能,且T10时预测效能较高($AUC:0.928,95\%CI:0.880\sim0.971$)。**[结论]** AIP在SAP患者病程中呈动态变化,T5、T10时AIP与死亡风险独立相关,且与CRP、PCT、IL-6呈线性相关;T10时AIP预测效能最高,且剔除脂源性患者后AIP仍具有良好的预测效能。将AIP的动态监测纳入临床评估体系,有助于早期识别高危患者,改善预后评估效能。

[关键词] 急性胰腺炎; 血浆致动脉粥样硬化指数; 炎症指标; 预后

[中图分类号] R5

[文献标识码] A

[收稿日期] 2025-12-15

[修回日期] 2026-04-13

[基金项目] 四川省卫生健康委员会科研项目(2021SZSF-YF-027)

[作者简介] 胡书梅,主管护师,研究方向为急救护理,E-mail:10245597@qq.com。通信作者江峰,副主任医师,研究方向为急诊医学,E-mail:Mei1003@163cn.com.cn。

Dynamic changes of the atherogenic index of plasma in patients with severe acute pancreatitis and its association with prognosis

HU Shumei¹, XIE Hongrong¹, YUAN Yue², YANG Zhichuan¹, CHEN Xinfei¹, YANG Ming¹, JIANG Feng¹

1. Emergency Department, 2. Department of Critical Care Medicine, 363 Hospital, Chengdu, Sichuan 610041, China

[**ABSTRACT**] **Aim** To analyze the dynamic changes of the atherogenic index of plasma (AIP) during the course of severe acute pancreatitis (SAP) and its predictive efficacy for patient prognosis. **Methods** We collected and analyzed clinical data from 150 patients with SAP at 363 Hospital from June 2020 to June 2024, and patients were grouped based on their prognosis outcomes during the 28-day follow-up period after admission, with 112 patients assigned to the survival group and 38 patients to the mortality group. Repeated-measures analysis of variance (ANOVA) was used to compare changes in triglyceride (TG), high density lipoprotein cholesterol (HDL), AIP and inflammatory markers between the two groups at baseline (T0), day 5 post-treatment (T5), and day 10 post-treatment (T10). Multiple linear regression analysis was performed to examine the relationship between AIP and inflammatory markers at different time points; Logistic regression models were used to analyze the independent association between AIP and SAP patient mortality risk at different time points; Receiver operating characteristic (ROC) curve analysis was used to evaluate the relationship between AIP, TG, HDL, inflammatory markers and SAP patient mortality risk at different time points; Restricted cubic spline (RCS) analysis was used to analyze the relationship between AIP and SAP patient mortality risk; Multidimensional stratified analysis was used to analyze the association between AIP levels and SAP patient mortality risk; Kaplan-Meier survival curve analysis was used to analyze SAP patients' survival rates; Subgroup analysis was performed to examine the association between AIP and SAP mortality risk at T5 and T10 in patients with different etiologies. DeLong's test was further used to analyze the predictive efficacy of AIP for SAP after excluding lipidogenic patients. **Results** The age, multiple organ failure, white blood cell count (WBC), acute physiological and chronic health score II (APACHE II), and sequential organ failure assessment (SOFA) scores of patients in the death group were significantly higher than those in the survival group. Conversely, albumin (ALB), total cholesterol (TC), and low density lipoprotein cholesterol (LDL) levels were significantly lower in the death group than those in the survival group ($P < 0.05$). In the survival group, TG, AIP, C-reactive protein (CRP), procalcitonin (PCT), and interleukin-6 (IL-6) levels decreased sequentially at time points T0, T5, and T10, whereas in the death group, AIP, CRP, PCT, and IL-6 exhibited an initial increase followed by a decline. HDL levels increased in the survival group but decreased first and then increased in the death group, with statistically significant differences ($P < 0.05$). Repeated measures ANOVA on TG, HDL, AIP, CRP, PCT, and IL-6 in both groups revealed statistically significant differences in time, between groups, and time \times group interaction ($P < 0.05$). At T0, T5, and T10, AIP showed a positive linear correlation with CRP, PCT and IL-6 ($P < 0.05$). Logistic regression analysis indicated that AIP at stages T5 and T10 was independently associated with mortality risk in SAP patients ($P < 0.05$). ROC curve analysis revealed that AIP exhibited optimal predictive efficacy at T5 ($AUC: 0.922, 95\% CI: 0.873 \sim 0.965$) and T10 ($AUC: 0.951, 95\% CI: 0.914 \sim 0.993$), with the highest predictive efficacy at T10, accompanied by the highest sensitivity (99.5%) and accuracy (88.7%). RCS analysis indicated a nonlinear dose-response relationship between AIP and SAP mortality risk at T5 and T10 ($P < 0.05$). Multidimensional stratified analysis revealed associations between AIP and SAP mortality risk at T5 and T10 in subgroups with APACHE II ≥ 20 , SOFA ≥ 8 , CRP ≥ 200 mg/L, PCT ≥ 10 mg/L, and IL-6 ≥ 300 ng/L, with higher mortality risk observed in SAP patients with organ failure. Survival curve analysis revealed statistically significant differences between the AIP > 0.20 group and the AIP ≤ 0.20 group at T5 ($\chi^2 = 6.437, P < 0.001$) and between the AIP > 0.10 group and the AIP ≤ 0.10 group at T10 ($\chi^2 = 5.831, P < 0.001$). Subgroup analysis revealed independent associations between AIP and mortality risk at T5 and T10 in different etiologies, with more pronounced correlations observed in the high AIP level group, and both demonstrated good discriminatory ability. After excluding lipid-derived patients, ROC curve analysis indicated that AIP still retained predictive efficacy in non-lipid-derived SAP patients, with higher predictive performance at T10 ($AUC: 0.928, 95\% CI: 0.880 \sim 0.971$). **Conclusions** AIP exhibits dynamic changes during the disease course in SAP patients. At T5 and T10, AIP shows independent correlation with mortality risk, and exhibits linear correlations with CRP, PCT, and IL-6. The predictive efficacy of AIP is highest at T10, and it maintains robust predictive performance even after excluding lipid-derived patients. Incorporating dynamic AIP monitoring into clinical evaluation systems helps identify high-risk patients at an early stage and improves the efficacy of prognosis assessment.

[**KEY WORDS**] acute pancreatitis; atherogenic index of plasma; inflammatory indicators; prognosis

急性胰腺炎(acute pancreatitis, AP)是一种因胰腺酶异常激活导致胰腺组织水肿、坏死的急腹症。重症急性胰腺炎(severe acute pancreatitis, SAP)患者甚至出现全身或局部并发症,如机体组织损伤、多器官功能衰竭(multiple organ failure, MOF)、严重代谢紊乱等,死亡率较高^[1-3]。有研究发现^[4], SAP患者若出现感染,受损的胰腺组织会刺激炎症因子释放,激活炎症反应。过度激活的炎症反应会释放大细胞因子,形成细胞因子风暴,进一步加重全身炎症反应,导致SAP病情恶化^[5]。因此,SAP的发生与炎症反应密切相关,及时监控炎症指标的变化对预防疾病恶化至关重要。血浆致动脉粥样硬化指数^[6](atherogenic index of plasma, AIP)是指血浆中甘油三酯(triglyceride, TG)与高密度脂蛋白胆固醇(high density lipoprotein cholesterol, HDLC)比值的对数转换值即 $\log_{10}(TG/HDLC)$,它是一个反映机体脂质代谢水平和炎症反应的综合脂质指标,可作为炎症和脂质代谢受损的合理标志物^[7-9]。研究显示^[10], AIP每增加一个单位,重症心血管患者住院时间更长,病情更严重。然而, AIP的动态变化与SAP患者预后的相关性尚未明确。本研究旨在探讨治疗前后不同时间点AIP与SAP患者预后的关系,评估其对SAP患者预后的预测价值,以期为SAP的临床诊疗工作提供新的预测指标。

1 资料和方法

1.1 样本量计算

本研究事件终点为入院28天全因死亡率。参考既往文献^[11], SAP患者28天死亡率约为26%。为检测AIP(作为连续变量)对死亡风险的影响,设定预期优势比(odds ratio, OR)为2.5, 检验水准 $\alpha=0.05$ (双侧), 把握度 $(1-\beta)=0.80$ 。利用PASS 15.0软件进行Logistic回归样本量估算 $N=(Z_{1-\alpha/2}+Z_{1-\beta})^2/\{P \times (1-P) \times [\ln(OR)]^2\}$, 所需总样本量为140~160例。结合医院和患者实际情况, 本研究共纳入SAP患者150例。

1.2 研究对象

选取2020年6月—2024年6月于本院就诊的SAP患者150例作为研究对象, 其中男性94例, 女性56例; 年龄52~73岁, 平均 (61.28 ± 5.47) 岁。根据患者入院28天的生存结局, 将研究对象分为生存组($n=112$)和死亡组($n=38$)。其中生存组男性68例, 女性44例, 年龄52~69岁, 平均 $(60.39 \pm$

5.33)岁; 死亡组男性26例, 女性12例, 年龄54~73岁, 平均 (63.89 ± 5.10) 岁。

纳入标准:(1)年龄满18周岁及以上;(2)符合SAP诊断标准^[12];(3)发病就诊时间 <48 h;(4)检查相关的影像学资料、实验室数据完整;(5)基于《中国急性胰腺炎诊治指南(2021)》^[13]给予治疗方案。排除标准:(1)入院即存在其他系统感染;(2)慢性胰腺炎患者;(3)胰腺肿瘤患者;(4)临床资料不全者;(5)入院10天内死亡患者。本研究已获得三六三医院伦理委员会批准(批准号:L04711128), 回顾性研究豁免知情同意。

1.3 资料收集

1.3.1 临床资料 所有研究对象入院后24h内收集如下资料:年龄、性别、空腹血糖(fasting plasma glucose, FPG)、血压、基础疾病、体重指数(body mass index, BMI)、胰腺炎类型、是否发生MOF情况等。同时记录患者入院28天生存结局作为预后判断依据。采用全自动化临床分析仪(迈瑞)检测患者静脉血, 以葡萄糖氧化酶法测定FPG; BMI计算公式为 $\text{体重(kg)}/\text{身高(m)}^2$ 。

基础疾病界定标准:(1)高血压:依据《中国高血压防治指南(2024年修订版)》诊断标准^[14], 即收缩压 ≥ 140 mmHg和/或舒张压 ≥ 90 mmHg, 或既往确诊史;(2)糖尿病:依据《中国2型糖尿病防治指南(2024版)(节选二)》^[15], 即FPG ≥ 7.0 mmol/L和/或餐后2h血糖 ≥ 11.1 mmol/L, 或既往确诊史;(3)冠心病:依据临床症状、心电图及冠状动脉造影结果确诊;(4)脑卒中:依据头颅CT或MRI影像学结果及神经系统定位体征确诊。

胰腺炎类型^[16]:(1)胆源性:影像学检查显示存在胆囊结石、胆总管结石或胆泥淤积, 或伴有胆红素/转氨酶升高;(2)脂源性:入院24h内血清TG ≥ 11.3 mmol/L; 或TG在5.65~11.3 mmol/L之间, 但血清呈乳糜状且排除其他病因;(3)其他:包括酒精性(长期饮酒史, 并在症状发作前48h内大量饮酒)、特发性(经过完整病史调查和影像学检查后仍无法明确病因)、药物性及自身免疫性。

MOF为SAP病程中出现 ≥ 2 个器官系统的序贯或同时功能障碍^[17]。各器官系统功能障碍如下:(1)呼吸系统中氧合指数 ≤ 300 , 或需机械通气;(2)心血管系统需血管活性药物维持血压(平均动脉压 ≥ 65 mmHg);(3)肾脏系统中血肌酐 ≥ 171 $\mu\text{mol/L}$, 或需肾脏替代治疗;(4)凝血系统中血小板计数 $<100 \times 10^9$ L^{-1} ;(5)肝脏系统中总胆红素 >34 $\mu\text{mol/L}$;(6)神经系统评分 <15 分。

1.3.2 实验室指标 收集所有患者入院 24 h 空腹外周血 3 mL, 经离心 10 min (离心转速 3 500 r/min, 半径 8 cm) 后取上层血清用于检测。采用全自动临床分析仪 (迈瑞) 检测白蛋白 (albumin, ALB)、总胆固醇 (total cholesterol, TC)、低密度脂蛋白胆固醇 (low density lipoprotein cholesterol, LDLC) 水平; 采用全自动血常规分析仪 (希森美康) 测定白细胞计数 (white blood cell, WBC)、红细胞计数 (red blood cell, RBC) 和血小板计数 (platelet count, PLT)。此外记录患者在治疗前 (T0)、治疗后第 5 天 (T5)、治疗后第 10 天 (T10) 的 TG 和 HDLC。AIP 计算公式为: $AIP = \log_{10}(TG/HDLC)$, 其中 TG 和 HDLC 的单位均为 mmol/L。

1.3.3 评分资料 急性生理学及慢性健康评分 II (acute physiology and chronic health evaluation II, APACHE II) 用于评估危重症患者病情严重程度^[18]。主要包括急性生理评分、年龄评分及慢性健康评分, 分值越高表明病情越危重, 死亡风险越高。

序贯器官衰竭评分 (sequential organ failure assessment, SOFA) 用于反映器官功能衰竭程度^[19]。主要通过呼吸、凝血、肝脏、心血管、神经、肾脏 6 个器官系统进行量化评分, 总分越高提示器官衰竭越严重, 死亡风险越高。

APACHE II 评分和 SOFA 评分均由经过培训的两位医师独立完成, 一致性良好。

1.3.4 炎症指标 收集所有患者 T0、T5、T10 时空腹外周血 3 mL, 经离心 10 min (离心转速 3 500 r/min, 半径 8 cm) 后取上层血清用于检测。采用全自动免疫荧光分析仪 (中翰盛泰) 测定降钙素原 (procalcitonin, PCT)、白细胞介素 6 (interleukin-6, IL-6) 水平; 采用全自动生物化学分析仪 (贝克曼) 测定 C 反应蛋白 (C-reaction protein, CRP) 水平。

1.4 统计学方法

采用 SPSS 26.0 软件进行统计学分析。计量资料符合正态分布以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 采用 *t* 检验进行组间比较; 非正态分布以中位数和四分位数表示, 采用 Friedman 检验进行多组间比较, Mann-Whitney *U* 检验进行两组间比较; 计数资料以例数和百分比表示, 采用 χ^2 检验进行组间比较。采用重复测量方差分析 AIP 及炎症指标的变化; 多元线性回归分析不同时间点 AIP 与炎症指标间的关系; Logistic 回归模型分析不同时间点 AIP 与 SAP 患者死亡风险的关联, C 统计量评估模型对死亡风险的区分能力; 受试者工作特征 (receiver operating characteristic, ROC) 曲线分析不同时间点 AIP、TG、HDLC 及炎症指标与

SAP 患者死亡风险的关系; 限制性立方样条 (restricted cubic spline, RCS) 模型评估不同时间点 AIP 水平与 SAP 患者死亡风险的关系; 多维度分层分析 AIP 与 SAP 患者死亡风险的关联性; Kaplan-Meier 生存曲线评估 SAP 患者的生存率; 亚组分析不同病因患者 T5、T10 时 AIP 与 SAP 死亡风险的关联; 采用 DeLong 检验进一步分析剔除脂源性患者后 AIP 对 SAP 的预测效能。 $P < 0.05$ 表示差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 两组患者临床资料比较

比较两组患者入院后 24 h 的基线数据, 结果显示, 生存组与死亡组男性占比、BMI、血压、基础疾病等差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。死亡组的年龄、MOF 情况、WBC、APACHE II 评分和 SOFA 评分显著高于生存组 ($P < 0.001$); 而 ALB、TC 和 LDLC 显著低于生存组 ($P < 0.05$; 表 1)。

表 1. 生存组与死亡组一般资料分析

一般指标	生存组 (<i>n</i> = 112)	死亡组 (<i>n</i> = 38)	<i>t</i> / χ^2 值	<i>P</i>
男性/[例(%)]	68(60.71)	26(68.42)	0.720	0.396
年龄/岁	60.39±5.33	63.89±5.10	3.537	<0.001
BMI/(kg/m ²)	23.76±2.34	24.08±2.26	0.746	0.457
收缩压/mmHg	105±6	105±6	0.540	0.590
舒张压/mmHg	74±5	75±6	0.901	0.369
基础疾病/[例(%)]				
高血压	58(51.79)	21(55.26)	0.139	0.709
糖尿病	41(36.61)	14(36.84)	0.001	0.978
冠心病	24(21.43)	11(28.95)	0.899	0.343
脑卒中	16(14.29)	5(13.16)	0.003	0.863
胰腺炎类型/[例(%)]				
胆源性	28(25.00)	9(23.68)	0.036	0.982
脂源性	31(27.68)	11(28.95)		
其他	53(47.32)	18(47.37)		
MOF/[例(%)]	15(13.39)	15(39.47)	12.063	<0.001
FPG/(mmol/L)	8.82±2.50	8.57±3.26	0.498	0.620
ALB/(g/L)	36.22±1.38	32.88±1.33	12.996	<0.001
TC/(mmol/L)	5.02±1.06	4.09±0.98	2.731	0.007
LDLC/(mmol/L)	1.89±0.52	1.65±0.34	2.641	0.009
WBC/(×10 ⁹ L ⁻¹)	12.41±1.66	13.52±2.02	3.351	0.001

续表

一般指标	生存组 (n=112)	死亡组 (n=38)	t/χ^2 值	P
RBC/($\times 10^{12} L^{-1}$)	4.84 \pm 0.35	4.93 \pm 0.36	1.285	0.201
PLT/($\times 10^9 L^{-1}$)	188.88 \pm 28.66	193.57 \pm 22.19	0.919	0.359
APACHE II 评分/分	16.50 \pm 3.78	23.02 \pm 4.46	8.755	<0.001
SOFA 评分/分	9.85 \pm 1.90	11.81 \pm 1.96	8.221	<0.001

2.2 两组患者不同时间点 TG、HDLc、AIP 和炎症指标比较及重复测量方差分析

分别对生存组与死亡组患者 T0、T5、T10 三个时间点的 TG、HDLc、AIP 及炎症指标 (CRP、PCT、IL-6) 进行对比分析。结果显示,生存组 TG、AIP、CRP、PCT、IL-6 在 T0、T5、T10 依次下降,而死亡组 AIP 和 CRP、PCT、IL-6 呈先升高、后下降趋势;生存组 HDLc 上升,而死亡组呈先下降后上升趋势,且在

T5 时各指标达到峰值。死亡组患者 AIP 在 T5 时显著高于生存组,为其 3.67 倍;T10 时显著高于生存组,为其 5.20 倍。CRP 在 T5 时显著高于生存组,为其 5.04 倍;T10 时显著高于生存组,为其 13.50 倍。PCT 在 T5 时显著高于生存组,为其 14.91 倍;T10 时显著高于生存组,为其 32.67 倍。IL-6 在 T5 时显著高于生存组,为其 10.50 倍;T10 时显著高于生存组,为其 19.28 倍。TG 在 T5 时显著高于生存组,为其 1.04 倍;T10 时显著高于生存组,为其 1.06 倍。HDLc 在 T5 时显著低于生存组,为其 57.69%;T10 时显著低于生存组,为其 61.61% (均 $P < 0.05$; 表 2)。重复测量方差分析结果显示,两组患者在不同时间点时, TG、HDLc、AIP 与炎症指标水平在时间、组间、时间 \times 组间方面均具有统计学意义 (均 $P < 0.001$; 表 3)。

表 2. 生存组与死亡组不同时间点 TG、HDLc、AIP 及炎症指标比较

Table 2. Comparison of TG, HDLc, AIP and inflammatory indexes between the survival group and the death group at different time points

指标	时间点	生存组 (n=112)	死亡组 (n=38)	Z 值	P
AIP	T0	0.12(0.10,0.14)	0.14(0.12,0.16)	2.750	0.006
	T5	0.09(0.05,0.12) ^a	0.33(0.28,0.36) ^a	25.007	<0.001
	T10	0.05(0.03,0.07) ^{ab}	0.26(0.21,0.30) ^{ab}	29.393	<0.001
	χ^2 值	186.452	72.318		
	P	<0.001	<0.001		
CRP/(mg/L)	T0	182(120,240)	233(160,320)	2.457	0.014
	T5	47(25,70) ^a	237(157,317) ^a	6.779	<0.001
	T10	12(5,20) ^{ab}	162(110,230) ^{ab}	7.197	<0.001
	χ^2 值	201.337	68.924		
	P	<0.001	<0.001		
PCT/(mg/L)	T0	8.7(5.2,12.0)	13.0(7.1,19.3)	2.145	0.032
	T5	1.1(0.5,1.5) ^a	16.4(10.3,22.0) ^a	7.053	<0.001
	T10	0.3(0.1,0.4) ^{ab}	9.8(5.0,14.0) ^{ab}	6.928	<0.001
	χ^2 值	194.285	70.116		
	P	<0.001	<0.001		
IL-6/(ng/L)	T0	292(180,400)	380(230,530)	2.307	0.021
	T5	48(25,70) ^a	504(350,650) ^a	7.601	<0.001
	T10	18(10,30) ^{ab}	347(220,500) ^{ab}	7.350	<0.001
	χ^2 值	197.643	69.873		
	P	<0.001	<0.001		
TG/(mmol/L)	T0	1.32(1.14,1.57)	1.33(1.10,1.62)	2.148	0.032
	T5	1.23(1.05,1.48) ^a	1.28(1.07,1.49) ^a	2.210	0.027
	T10	1.18(0.98,1.36) ^{ab}	1.25(1.06,1.44) ^{ab}	3.876	<0.001
	χ^2 值	112.576	41.259		

续表

指标	时间点	生存组 (n=112)	死亡组 (n=38)	Z 值	P
	P	<0.001	<0.001		
HDLc/(mmol/L)	T0	0.95(0.85,1.05)	0.91(0.89,0.98)	2.520	0.012
	T5	1.04(0.93,1.17) ^a	0.60(0.52,0.68) ^a	9.112	<0.001
	T10	1.12(1.07,1.23) ^{ab}	0.69(0.56,0.82) ^{ab}	9.843	<0.001
	χ ² 值	135.208	58.437		
	P	<0.001	<0.001		

注:a 为 P<0.05,与同组 T0 相比;b 为 P<0.05,与同组 T5 相比。

表 3. AIP 与炎症指标的重复测量方差分析结果及各时间点 Cohen's d 效应量
 Table 3. Results of repeated-measures ANOVA for AIP and inflammatory marker levels, and Cohen's d effect sizes at each time point

指标	时间效应		组间效应		交互效应		Cohen's d 效应量(95% CI)	
	F	P	F	P	F	P	T5	T10
AIP	215.637	<0.001	312.494	<0.001	625.007	<0.001	-3.826(-4.524,-3.117) ^a	-4.211(-4.947,-3.465) ^a
CRP	198.325	<0.001	287.651	<0.001	459.786	<0.001	-2.984(-3.615,-2.344) ^a	-3.242(-3.897,-2.566) ^a
PCT	185.742	<0.001	305.819	<0.001	497.652	<0.001	-3.126(-3.781,-2.456) ^a	-3.050(-3.695,-2.399) ^a
IL-6	203.418	<0.001	294.576	<0.001	478.215	<0.001	-3.411(-4.096,-2.722) ^a	-3.318(-3.997,-2.641) ^a
TG	189.452	<0.001	298.761	<0.001	512.334	<0.001	-3.012(-3.589,-2.435) ^a	-3.445(-4.112,-2.778) ^a
HDLc	176.884	<0.001	405.629	<0.001	487.951	<0.001	3.568(2.951,4.185)	3.987(3.345,4.629)

注:a 为 P<0.05。

2.3 不同时间点 AIP 与炎症指标的线性回归分析
 对所有患者 (n=150) 在 T0、T5、T10 三个时间点的 AIP 与 CRP、PCT、IL-6 分别进行线性回归分

析。在 T0、T5、T10 时,AIP 与 CRP、PCT、IL-6 均呈正向线性回归关系(均 P<0.001;表 4)。

表 4. 多元线性回归分析 T0、T5、T10 时间点 AIP 与炎症指标的关系

Table 4. Multiple linear regression analysis of the associations between AIP and inflammatory markers at T0, T5, and T10

变量	T0 时 AIP		T5 时 AIP		T10 时 AIP	
	β(95% CI)	P	β(95% CI)	P	β(95% CI)	P
CRP	12.345(9.815,14.875)	<0.001	20.872(17.352,24.392)	<0.001	21.156(17.812,24.500)	<0.001
PCT	9.792(6.173,13.427)	<0.001	17.825(14.215,21.435)	<0.001	18.103(14.807,21.399)	<0.001
IL-6	11.234(8.517,13.951)	<0.001	19.573(16.258,22.888)	<0.001	19.854(16.612,23.096)	<0.001

2.4 不同时间点 AIP 与 SAP 患者死亡风险的独立相关性

Logistic 回归分析表明,T10 时 AIP 与 SAP 患者死亡风险存在独立相关性 (OR = 2.695,95% CI: 2.401 ~ 3.024,P<0.001),而在 T0 时趋势性检验无统计学意义 (P>0.05),T5 时相关性最高 (OR = 2.841,95% CI:2.525 ~ 3.197,P<0.001)。根据 AIP 中位数分为 AIP ≤ 0.12 组和 AIP > 0.12 组两组,与 AIP ≤ 0.12 组比较,AIP > 0.12 时与死亡风险仍存在相关性,且 T5 时相关性最明显 (OR = 3.128,95% CI:

2.830 ~ 3.454,P<0.001),明显高于 T0 时 (OR = 1.422,95% CI:1.210 ~ 1.671,P<0.001) 和 T10 时 (OR = 2.945,95% CI:2.672 ~ 3.247,P<0.001)。

根据患者 AIP 进行五分位分组,分别为 Q₁(AIP ≤ 0.08)、Q₂(0.08 < AIP ≤ 0.11)、Q₃(0.11 < AIP ≤ 0.14)、Q₄(0.14 < AIP ≤ 0.18) 和 Q₅(AIP > 0.18)。与 Q₁ 组比较,随着 AIP 值逐渐增大(Q₂ ~ Q₅),相关性效应值在 T5 时分别为 (OR = 2.912,95% CI:2.621 ~ 3.235,P<0.001)、(OR = 2.945,95% CI:2.652 ~ 3.270,P<0.001)、(OR = 2.987,95% CI:2.692 ~

3.314, $P < 0.001$)、($OR = 3.071$, 95% CI : 2.774 ~ 3.403, $P < 0.001$); 在 T10 时分别为 ($OR = 2.791$, 95% CI : 2.517 ~ 3.092, $P < 0.001$)、($OR = 2.805$, 95% CI : 2.533 ~ 3.106, $P < 0.001$)、($OR = 2.845$, 95% CI : 2.577 ~ 3.142, $P < 0.001$)、($OR = 2.922$, 95% CI : 2.656 ~ 3.217, $P < 0.001$), 均具有统计学意

义的趋势性差异 ($P < 0.001$)。T5、T10 时 AIP 与 SAP 患者死亡风险均存在相关性, 且 T5 时独立相关性最明显。C 统计量 (T0、T5 和 T10 时分别为 0.728、0.845、0.864) 显示各模型均具有良好的区分能力 (表 5)。

表 5. 不同时间点 AIP 与 SAP 患者死亡风险的相关性分析

Table 5. Analysis of the association between AIP and mortality risk in SAP patients at different time points

变量		T0	T5	T10
AIP		1.105 (0.923 ~ 1.322)	2.841 (2.525 ~ 3.197)	2.695 (2.401 ~ 3.024)
AIP 二分类	AIP ≤ 0.12 组	1	1	1
	AIP > 0.12 组	1.422 (1.210 ~ 1.671)	3.128 (2.830 ~ 3.454)	2.945 (2.672 ~ 3.247)
AIP 五分位数组	Q ₁ (≤ 0.08)	1	1	1
	Q ₂ (0.08 < AIP ≤ 0.11)	1.521 (1.310 ~ 1.766)	2.912 (2.621 ~ 3.235)	2.791 (2.517 ~ 3.092)
	Q ₃ (0.11 < AIP ≤ 0.14)	1.580 (1.363 ~ 1.832)	2.945 (2.652 ~ 3.270)	2.805 (2.533 ~ 3.106)
	Q ₄ (0.14 < AIP ≤ 0.18)	1.624 (1.402 ~ 1.881)	2.987 (2.692 ~ 3.314)	2.845 (2.577 ~ 3.142)
	Q ₅ (> 0.18)	1.685 (1.456 ~ 1.950)	3.071 (2.774 ~ 3.403)	2.922 (2.656 ~ 3.217)
	$P_{趋势}$	0.072	< 0.001	< 0.001
C 统计量		0.728 (0.649 ~ 0.808)	0.845 (0.783 ~ 0.897)	0.951 (0.902 ~ 0.981)

注: T0、T5、T10 模型均统一调整年龄、性别、BMI、WBC、ALB、TC、LDLC、MOF、APACHE-II 评分和 SOFA 评分等因素。 $P_{趋势}$ 基于 AIP 五分位分组作为等级变量纳入 Logistic 回归模型计算所得; C 统计量为包含连续 AIP 变量及全部协变量的 Logistic 回归模型的 ROC 曲线下面积, 用于评价模型的整体区分能力。

2.5 ROC 曲线分析不同时间点 AIP、TG、HDLC 及炎症指标与 SAP 患者死亡风险的相关性

ROC 曲线分析结果显示, AIP、TG、HDLC 及炎症指标均对 SAP 患者死亡风险具有一定预测效能。

AIP 在 T5 (AUC : 0.922, 95% CI : 0.873 ~ 0.965)、T10 (AUC : 0.951, 95% CI : 0.914 ~ 0.993) 时预测效能均佳, 且 T10 时预测效能最高, 灵敏度 (99.5%)、精确度 (88.7%) 最高 (表 6 和图 1)。

表 6. AIP 在不同时间点的 ROC 曲线分析结果

Table 6. Results of ROC curve analysis for AIP at different time points

时间点	指标	AUC (95% CI)	特异度/%	灵敏度/%	精确度/%	最佳截断值	P
T5	AIP	0.922 (0.873 ~ 0.965)	98.2	97.4	86.5	0.20	< 0.001
	TG	0.815 (0.745 ~ 0.885)	75.9	84.2	78.0	4.8 mmol/L	< 0.001
	HDLC	0.798 (0.720 ~ 0.876)	70.5	86.8	74.7	0.65 mmol/L	< 0.001
	CRP	0.861 (0.799 ~ 0.923)	83.1	89.5	84.3	180 mg/L	< 0.001
	PCT	0.878 (0.820 ~ 0.936)	85.7	92.1	87.6	12 mg/L	< 0.001
	IL-6	0.849 (0.783 ~ 0.915)	81.3	86.8	82.1	350 ng/L	< 0.001
T10	AIP	0.951 (0.914 ~ 0.993)	98.2	99.5	88.7	0.10	< 0.001
	TG	0.832 (0.765 ~ 0.899)	78.6	81.6	79.3	4.5 mmol/L	< 0.001
	HDLC	0.812 (0.739 ~ 0.881)	73.2	84.2	76.0	0.70 mmol/L	< 0.001
	CRP	0.893 (0.838 ~ 0.948)	86.6	92.1	88.2	150 mg/L	< 0.001
	PCT	0.902 (0.847 ~ 0.953)	88.4	94.7	90.0	8 mg/L	< 0.001
	IL-6	0.882 (0.824 ~ 0.937)	84.8	89.5	86.4	300 ng/L	< 0.001

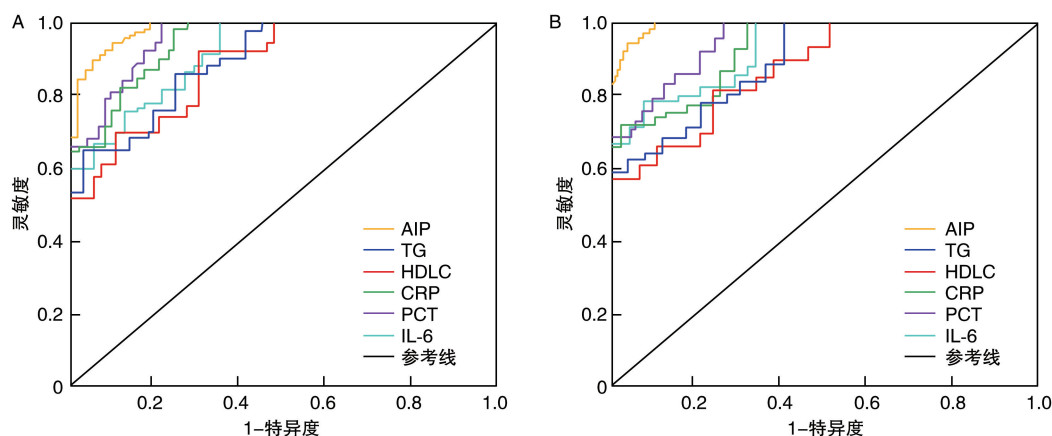


图 1. 不同时间点 AIP 与 SAP 患者死亡风险相关性的 ROC 曲线

A 为 T5 时期, B 为 T10 时期。

Figure 1. ROC curves for the association between AIP and mortality risk in SAP patients at different time points

2.6 RCS 分析 AIP 与 SAP 患者死亡风险的相关性

RCS 模型分析 AIP 与 SAP 患者死亡风险的剂量-反应关系,以 T5、T10 时期为主要分析时间点。AIP 与死亡风险存在时间依赖性非线性关系。T5 时曲线呈阈值效应(临界值 0.20),当 $AIP \leq 0.20$

时,死亡风险保持低位平稳;当 $AIP > 0.20$ 时,风险急剧增加($P < 0.05$)。T10 时呈指数增长(临界值 0.10), $AIP > 0.10$ 时,死亡风险随 AIP 升高加速上升($P < 0.05$)。AIP 与 SAP 患者的死亡风险呈非线性剂量-反应关系,且随时间动态变化(图 2)。

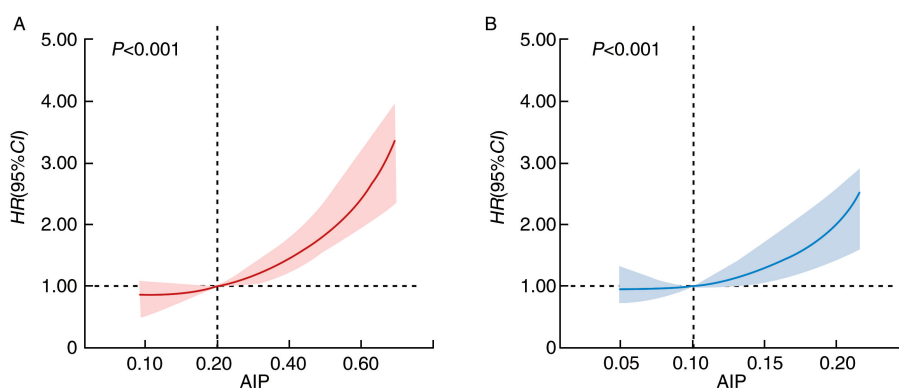


图 2. AIP 与 SAP 患者死亡风险的剂量-反应关系

A 为 T5 时期, B 为 T10 时期。

Figure 2. Dose-response relationship between AIP and mortality risk in SAP patients

2.7 AIP 水平与 SAP 患者死亡风险关联性分层分析

以 APACHE II、SOFA 评分评价疾病情况,判断多器官功能是否衰竭,以 TG、HDLC 分析血脂情况,ALB 分析营养状况,WBC、CRP、PCT、IL-6 指标分析炎症情况。T5、T10 时期 AIP 与 SAP 患者的死亡风险均存在关联性,且 T5 时 APACHE II ≥ 20 分和 SOFA ≥ 8 分患者,HR 值随着 AIP 值升高不断增大,相关性更明显($P_{交互} < 0.05$);存在器官衰竭情况时,关联性更明显,差异具有统计学意义($P_{交互} < 0.001$)。T10 时 APACHE II ≥ 20 分和 SOFA ≥ 8 分患者,HR 值随着 AIP 值升高不断增大,相关性更明

显,且存在器官衰竭时死亡风险更高,差异具有统计学意义($P_{交互} < 0.001$)。T5、T10 时,TG、HDLC、WBC、ALB 水平对 AIP 与 SAP 死亡风险的关联强度无明显交互作用($P_{交互} > 0.05$)。CRP ≥ 200 mg/L、PCT ≥ 10 mg/L、IL-6 ≥ 300 ng/L 时,AIP 与 SAP 患者的死亡风险关联更明显($P_{交互} < 0.05$;表 7 和表 8)。

2.8 Kaplan-Meier 生存曲线分析

Kaplan-Meier 生存分析显示,对比 T5 时 $AIP \leq 0.20$ 组与 $AIP > 0.20$ 组的生存率,两组差异具有统计学意义($\chi^2 = 6.437, P < 0.001$);对比 T10 时 $AIP \leq 0.10$ 组与 $AIP > 0.10$ 组的生存率,两组差异具有统

计学意义($\chi^2=5.831, P<0.001$;图3)。

表 7. T5 时 AIP 与 SAP 患者死亡风险的关联强度

Table 7. Strength of the association between AIP and mortality risk in SAP patients at T5

亚组	AIP 五分位数组					$P_{趋势}$	$P_{交互}$
	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₄	Q ₅		
疾病情况							
APACHE II <20 分	1	1.683(1.422 ~ 1.938)	1.705(1.537 ~ 1.956)	1.747(1.578 ~ 2.001)	1.698(1.437 ~ 1.961)	0.029	0.025
APACHE II ≥20 分	1	3.142(2.845 ~ 3.439)	3.264(2.960 ~ 3.568)	3.186(2.889 ~ 3.483)	3.379(3.072 ~ 3.686)	<0.001	
SOFA <8 分	1	1.581(1.356 ~ 1.823)	1.610(1.367 ~ 1.846)	1.634(1.407 ~ 1.900)	1.602(1.354 ~ 1.957)	0.039	0.015
SOFA ≥8 分	1	2.374(2.012 ~ 2.794)	2.505(2.139 ~ 2.974)	2.653(2.270 ~ 3.099)	2.813(2.446 ~ 3.383)	<0.001	
器官衰竭情况							
有 MOF	1	2.132(1.817 ~ 2.476)	2.310(1.987 ~ 2.684)	2.412(2.037 ~ 2.826)	2.605(2.231 ~ 3.048)	0.012	<0.001
无 MOF	1	1.415(1.023 ~ 1.850)	1.427(1.109 ~ 1.889)	1.379(1.005 ~ 1.847)	1.475(1.131 ~ 1.937)	0.598	
血脂情况							
TG <4.5 mmol/L	1	1.651(1.384 ~ 1.866)	1.668(1.414 ~ 1.965)	1.673(1.430 ~ 1.907)	1.702(1.456 ~ 1.978)	0.002	0.387
TG ≥4.5 mmol/L	1	2.051(1.736 ~ 2.397)	2.181(1.807 ~ 2.534)	2.225(1.903 ~ 2.612)	2.308(2.047 ~ 2.782)	0.043	
HDLC ≥1.0 mmol/L	1	1.578(1.360 ~ 1.832)	1.603(1.400 ~ 1.901)	1.610(1.376 ~ 1.856)	1.568(1.424 ~ 1.963)	0.046	0.215
HDLC <1.0 mmol/L	1	1.522(1.311 ~ 1.706)	1.558(1.326 ~ 1.847)	1.547(1.319 ~ 1.809)	1.562(1.379 ~ 1.882)	0.005	
营养情况							
ALB ≥35 g/L	1	1.347(1.028 ~ 1.678)	1.391(1.148 ~ 1.743)	1.464(1.174 ~ 1.963)	1.375(1.151 ~ 1.603)	0.002	0.685
ALB <35 g/L	1	1.638(1.402 ~ 1.931)	1.707(1.486 ~ 2.003)	1.687(1.404 ~ 1.957)	1.731(1.501 ~ 2.033)	0.001	
炎症指标							
WBC ≥13.0 × 10 ⁹ L ⁻¹	1	1.375(1.063 ~ 1.780)	1.538(1.315 ~ 1.842)	1.451(1.143 ~ 1.693)	1.562(1.379 ~ 1.980)	0.002	0.712
WBC <13.0 × 10 ⁹ L ⁻¹	1	1.465(1.142 ~ 1.891)	1.452(1.107 ~ 1.783)	1.368(1.044 ~ 1.796)	1.412(1.173 ~ 1.792)	0.002	
CRP ≥200 mg/L	1	2.235(1.893 ~ 2.562)	2.472(2.037 ~ 2.820)	2.562(2.166 ~ 2.943)	2.753(2.351 ~ 3.228)	<0.001	0.026
CRP <200 mg/L	1	1.583(1.364 ~ 1.849)	1.645(1.419 ~ 1.939)	1.657(1.349 ~ 1.892)	1.706(1.462 ~ 1.898)	0.019	
PCT ≥10 mg/L	1	2.086(1.738 ~ 2.415)	2.253(1.938 ~ 2.620)	2.374(2.023 ~ 2.769)	2.523(2.186 ~ 2.934)	<0.001	0.016
PCT <10 mg/L	1	1.672(1.472 ~ 1.894)	1.663(1.425 ~ 1.983)	1.678(1.481 ~ 1.907)	1.711(1.489 ~ 2.007)	0.030	
IL-6 ≥300 ng/L	1	2.136(1.751 ~ 2.583)	2.693(2.141 ~ 3.073)	2.961(2.352 ~ 3.572)	3.115(2.742 ~ 3.492)	<0.001	0.013
IL-6 <300 ng/L	1	1.669(1.403 ~ 1.962)	1.730(1.528 ~ 2.104)	1.703(1.513 ~ 1.964)	1.788(1.541 ~ 2.073)	0.024	

表 8. T10 时 AIP 与 SAP 患者死亡风险的关联强度

Table 8. Strength of the association between AIP and mortality risk in SAP patients at T10

亚组	AIP 五分位数组					$P_{趋势}$	$P_{交互}$
	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₄	Q ₅		
疾病情况							
APACHE II <20 分	1	1.602(1.422 ~ 1.806)	1.624(1.537 ~ 1.794)	1.663(1.578 ~ 1.874)	1.617(1.437 ~ 1.818)	0.025	0.032
APACHE II ≥20 分	1	2.992(2.845 ~ 3.152)	3.107(2.960 ~ 3.259)	3.033(2.889 ~ 3.187)	3.218(3.072 ~ 3.370)	<0.001	
SOFA <8 分	1	1.505(1.356 ~ 1.671)	1.533(1.367 ~ 1.719)	1.556(1.407 ~ 1.720)	1.525(1.354 ~ 1.718)	0.027	0.018
SOFA ≥8 分	1	2.260(2.012 ~ 2.538)	2.385(2.139 ~ 2.660)	2.526(2.270 ~ 2.812)	2.678(2.446 ~ 2.932)	<0.001	
器官衰竭情况							
有 MOF	1	2.030(1.817 ~ 2.269)	2.199(1.987 ~ 2.435)	2.296(2.037 ~ 2.588)	2.480(2.231 ~ 2.757)	<0.001	<0.001
无 MOF	1	1.347(1.023 ~ 1.774)	1.359(1.109 ~ 1.666)	1.313(1.005 ~ 1.715)	1.405(1.131 ~ 1.745)	0.439	
血脂情况							
TG <4.5 mmol/L	1	1.572(1.384 ~ 1.786)	1.588(1.414 ~ 1.784)	1.593(1.430 ~ 1.774)	1.621(1.456 ~ 1.805)	0.016	0.431
TG ≥4.5 mmol/L	1	1.953(1.736 ~ 2.197)	2.076(1.807 ~ 2.384)	2.118(1.903 ~ 2.358)	2.197(2.047 ~ 2.359)	<0.001	
HDLC ≥1.0 mmol/L	1	1.502(1.360 ~ 1.660)	1.526(1.400 ~ 1.664)	1.533(1.376 ~ 1.709)	1.493(1.424 ~ 1.566)	0.007	0.327
HDLC <1.0 mmol/L	1	1.449(1.311 ~ 1.601)	1.483(1.326 ~ 1.659)	1.473(1.319 ~ 1.645)	1.487(1.379 ~ 1.604)	<0.001	

续表

亚组	AIP 五分位数组					<i>P</i> 趋势	<i>P</i> 交互
	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₄	Q ₅		
营养情况							
ALB ≥ 35 g/L	1	1.282(1.028 ~ 1.599)	1.324(1.148 ~ 1.527)	1.394(1.174 ~ 1.656)	1.309(1.151 ~ 1.489)	0.012	0.733
ALB < 35 g/L	1	1.559(1.402 ~ 1.734)	1.625(1.486 ~ 1.777)	1.606(1.404 ~ 1.837)	1.648(1.501 ~ 1.810)	0.005	
炎症指标							
WBC ≥ 13.0 × 10 ⁹ L ⁻¹	1	1.309(1.063 ~ 1.612)	1.464(1.315 ~ 1.630)	1.381(1.143 ~ 1.669)	1.487(1.379 ~ 1.604)	0.018	0.675
WBC < 13.0 × 10 ⁹ L ⁻¹	1	1.395(1.142 ~ 1.704)	1.382(1.107 ~ 1.725)	1.302(1.044 ~ 1.624)	1.344(1.173 ~ 1.540)	0.021	
CRP ≥ 200 mg/L	1	2.128(1.893 ~ 2.392)	2.353(2.037 ~ 2.718)	2.439(2.166 ~ 2.745)	2.621(2.351 ~ 2.923)	<0.001	0.032
CRP < 200 mg/L	1	1.507(1.364 ~ 1.665)	1.566(1.419 ~ 1.728)	1.578(1.349 ~ 1.845)	1.625(1.462 ~ 1.806)	0.015	
PCT ≥ 10 mg/L	1	1.986(1.738 ~ 2.270)	2.145(1.938 ~ 2.374)	2.260(2.023 ~ 2.525)	2.402(2.186 ~ 2.640)	<0.001	0.019
PCT < 10 mg/L	1	1.592(1.472 ~ 1.721)	1.583(1.425 ~ 1.758)	1.597(1.481 ~ 1.722)	1.629(1.489 ~ 1.782)	0.031	
IL-6 ≥ 300 ng/L	1	2.033(1.751 ~ 2.361)	2.564(2.141 ~ 3.071)	2.819(2.352 ~ 3.380)	2.966(2.742 ~ 3.209)	<0.001	0.017
IL-6 < 300 ng/L	1	1.437(1.215 ~ 1.701)	1.582(1.389 ~ 1.792)	1.715(1.486 ~ 1.988)	1.801(1.627 ~ 2.022)	0.029	

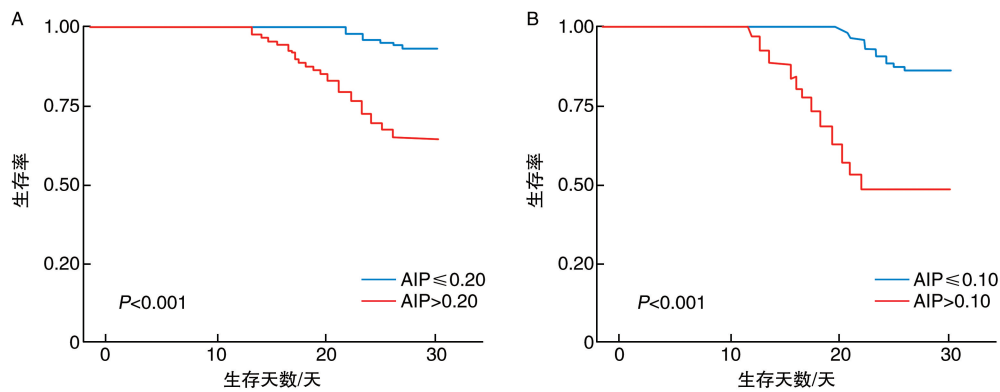


图 3. Kaplan-Meier 法生存率比较

A 为 T5 时期, B 为 T10 时期。

Figure 3. Comparison of survival rates using the Kaplan-Meier method

2.9 基于胰腺炎病因的关联性分析与敏感性分析

2.9.1 不同病因患者 T5、T10 时 AIP 与 SAP 死亡风险的关联 结果显示, 不同病因中 T5、T10 时

AIP 与死亡风险均存在独立相关性, 且高 AIP 水平组相关性更明显。C 统计量显示在不同病因下均具有良好的区分能力(表 9)。

表 9. 不同病因患者 AIP 与 SAP 死亡风险的关联分析

Table 9. Analysis of the association between AIP and SAP mortality risk in patients with different etiologies

变量	时间点	脂源性胰腺炎 (n=42)	非脂源性胰腺炎 (n=108)
AIP	T5	2.851(2.517 ~ 3.220)	2.813(2.496 ~ 3.151)
	T10	2.723(2.408 ~ 3.065)	2.682(2.378 ~ 3.023)
AIP 二分类	AIP ≤ 0.12 组	T5	1
		AIP > 0.12 组	3.101(2.796 ~ 3.432)
	AIP ≤ 0.12 组	T10	1
		AIP > 0.12 组	2.951(2.663 ~ 3.270)
<i>P</i> 趋势		0.784	0.812
C 统计量	T5	0.873(0.814 ~ 0.937)	0.869(0.806 ~ 0.928)
	T10	0.906(0.862 ~ 0.953)	0.891(0.853 ~ 0.944)

2.9.2 敏感性分析 剔除 42 例脂源性胰腺炎患者后,对 108 例非脂源性 SAP 患者进行 ROC 分析。结果显示 AIP 在非脂源性 SAP 患者中仍具有预测效能,且 T10 时预测效能较高 ($AUC=0.928, 95\% CI: 0.880 \sim 0.971$; 图 4)。

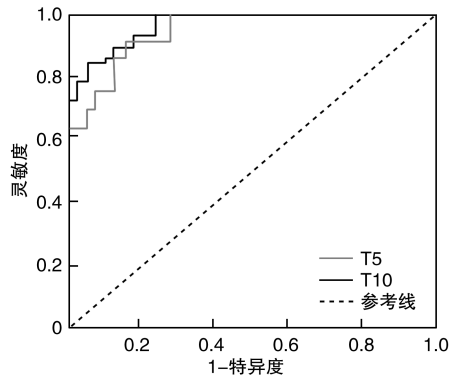


图 4. 不同时间点非脂源性 SAP 患者 AIP 与死亡风险关联性的 ROC 曲线

Figure 4. ROC curves for the association between AIP and mortality risk in non-lipogenic patients at different time points

3 讨论

AP 是一种胰酶异常激活、胰腺突发炎症的消化系统疾病,是一种复杂的临床急症。在全球范围内,该疾病发病率为 34/10 万,且发病率正逐年升高^[20]。根据临床 AP 的严重程度将患者划分为轻症、中重症和重症,其中,多数患者为轻型病症,病程较短且可自愈;但有 15% ~ 20% 患者会发展为 SAP,伴器官功能障碍、胰腺坏死感染等,死亡率达 25% 左右^[21]。因此,早期识别 SAP 患者并及时采取有效干预措施,对临床诊疗具有重要意义^[22]。研究发现^[23],炎症因子与 SAP 的发病机制和并发症的发生密切相关,是疾病恶化的独立危险因素。而传统炎症因子往往出现特异性差、灵敏度低、受混杂因素影响等弊端^[24],干扰诊断。因此,探寻新型预测指标用于评估 SAP 患者预后具有重要意义。

AIP 是反映机体脂质代谢水平和炎症反应的一个综合指标,高 TG 和低水平 HDLC 共同作用易形成“脂毒性-炎症”的恶性循环,目前 AIP 已被用作预测 SAP 严重程度的潜在生物标志物^[25]。研究发现^[26],AIP 是胰岛素抵抗的预测因子,与炎症反应存在相关性。当 SAP 患者合并胰岛素抵抗时,会进一步恶化脂质代谢致使 AIP 升高^[27],继而促进胰腺缺血和器官(如肺、肾)损伤。研究表明^[28],AIP 与高甘

油三酯血症性 AP 的严重程度密切相关,高灵敏度、强特异性的优势使其联合临床评分系统具有较高预测价值。本研究结果与此一致,AIP 水平升高与 AP 严重程度相关,是 SAP 患者预后的独立风险因素。

本研究共收集 150 例患者临床数据,结果发现死亡组患者的 WBC、APACHE II、SOFA 评分和 MOF 情况均高于生存组,ALB、TC 及 LDLC 低于生存组。且生存组 TG、AIP、CRP、PCT 及 IL-6 指标在 T0、T5、T10 依次下降,而死亡组 AIP 和 CRP、PCT、IL-6 呈先升高、后下降趋势;生存组 HDLC 上升,而死亡组呈先下降后上升趋势,在 T5 时各指标达到峰值。在 T0 时,所有 SAP 患者均处于疾病急性期,炎症因子和应激激素大量释放诱发胰岛素抵抗,导致 TG 升高,HDLC 下降,AIP 升高。但死亡组患者炎症反应更剧烈,胰岛素抵抗更严重,AIP 水平更高。生存组 AIP 在 T0、T5、T10 三个阶段均呈下降趋势,而死亡组在 T5 时 AIP 升高,整体趋势与炎症因子变化一致。且 AIP 与炎症因子呈正向线性回归关系,T5 时 AIP 达到峰值。出现上述结果可能因为 AIP 升高伴随的脂质沉积激活单核/巨噬细胞系统,释放促炎因子,进而加剧全身炎症级联反应^[22]。全身炎症反应的严重程度随 AIP 水平升高而加剧,且持续贯穿于整个疾病进程中。有研究表明^[28],炎症因子与 AIP 呈正相关,两者相互影响。本研究 Logistic 回归分析表明,T5、T10 时 AIP 与 SAP 患者死亡风险具有独立相关性。ROC 曲线分析结果显示 T5、T10 时 AIP 预测 SAP 患者死亡风险的 $AUC > 0.9$,具有一定的预测价值,且 T10 时 AUC 最高,灵敏度最高。现有研究表明^[29],AIP 是评估全因死亡和心血管死亡风险的独立影响因素,其机制与促进动脉粥样硬化、炎症和代谢紊乱密切相关。同时剂量-反应关系表明,T5、T10 时 AIP 与 SAP 患者死亡风险呈非线性关系。多维度分层分析结果显示,AIP 与 SAP 患者死亡风险存在相关性,当 APACHE II ≥ 20 分、SOFA ≥ 8 分且 SAP 患者有 MOF 时死亡风险更高;AIP 与 SAP 患者死亡风险的关联不受 TG、HDLC、WBC 和 ALB 的影响,与炎症因子 CRP、PCT 和 IL-6 存在较明显的交互作用,且死亡风险随 AIP 升高而增加。生存曲线结果显示,比较 T5 时 AIP > 0.20 组与 AIP ≤ 0.20 组患者,以及 T10 时 AIP > 0.10 组与 AIP ≤ 0.10 组患者的生存率,差异均具有统计学意义。研究发现^[30],AIP 值升高预后死亡率不断增加,与本研究结果一致。亚组分析显示,不同病因中 T5、T10 时 AIP 与死亡风险均存在独立相关性,且高 AIP 水平组相关性更明显,且均具有良好的区分能力;剔除脂源性患者后,ROC 曲线分析

显示,AIP 在非脂源性 SAP 患者中仍具有预测效能,且 T10 时预测效能较高,提示 AIP 对 SAP 的预测价值受脂源性病因影响较小。本研究将 AIP 指标引入 SAP 预后评估,通过 T0、T5、T10 多时间点监测 AIP 变化轨迹,实现对 SAP 患者预后的有效管理,为临床医生提供一个易于获取、动态监测的新型预测工具,具有较高的临床实用价值。

综上所述,AIP 与 SAP 患者的临床预后关联密切,对 SAP 具有独立预测价值,将 AIP 纳入 SAP 的综合评估体系,有助于更早识别重症患者,改善治疗方案,提高患者生存率。但本研究仍存在一定局限性:首先,本研究为单中心研究,研究对象来源单一,样本量有限;其次,本研究根据多变量分析的事件数准则,对于构建包含全部潜在混杂因素的复杂预测模型把握度有限;最后,本研究侧重于特定时间点的预测分析,缺少 AIP 动态轨迹与死亡风险随时间变化的分析研究。未来可联合不同地区医院,通过分层抽样纳入患者,采用纵向数据联合生存分析模型开展大样本、多中心研究来全面评估 AIP 动态预测价值。同时,应深入探究所有潜在混杂因素(如具体治疗措施、遗传背景等)对 SAP 患者预后影响,构建更科学有效、精准评估的评价体系,为 SAP 患者预后诊疗提供帮助。

[参考文献]

- [1] DAKKAK T, SILIN N, MAHMOOD R, et al. Impact of prediabetes on in-hospital mortality and clinical outcomes in acute pancreatitis: insights from a nationwide inpatient sample[J]. *J Clin Med*, 2025, 14(12): 4271.
- [2] GLIEM N, AMMER-HERRMENA C, ELLENRIEDER V, et al. Management of severe acute pancreatitis: an update [J]. *Digestion*, 2021, 102(4): 503-507.
- [3] 秦燕,唐凤英,王彩霞. 外周血 miRNA-146a、miRNA-26a 在重症急性胰腺炎预后中的价值探讨[J]. *中国急救复苏与灾害医学杂志*, 2023, 18(1): 82-85.
QIN Y, TANG F Y, WANG C X. The values of miR-146a and miR-26a in peripheral blood of evaluating prognosis of severe acute pancreatitis [J]. *Chin J Emerg Resusc Disaster Med*, 2023, 18(1): 82-85.
- [4] DEMIRTAS E, KORKMAZ İ, CEBECIOĞLU K, et al. Serum TLR9 and NF-κB biochemical markers in patients with acute pancreatitis on admission [J]. *Emerg Med Int*, 2020, 2020: 1264714.
- [5] ARAIZA-RODRÍGUEZ J F, BAUTISTA-BECERRIL B, NÚÑEZ-VENZOR A, et al. Systemic inflammation indices as early predictors of severity in acute pancreatitis[J]. *J Clin Med*, 2025, 14(15): 5465.
- [6] 张晓霞,聂毛晓,王志强,等. 血浆致动脉粥样硬化指数与冠状动脉支架内新生脂质斑块相关性分析[J]. *中国动脉硬化杂志*, 2026, 34(1): 27-32.
ZHANG X X, NIE M X, WANG Z Q, et al. Analysis of the correlation between atherogenic index of plasma and coronary in-stent neoatheroma [J]. *Chin J Arterioscler*, 2026, 34(1): 27-32.
- [7] 房伟,方艳辉,耿巍,等. 冠心病患者血浆致动脉硬化指数及炎症因子水平与冠状动脉钙化严重程度的相关性[J]. *中国医师杂志*, 2022, 24(9): 1368-1372.
FANG W, FANG Y H, GENG W, et al. The relationships among atherogenic index of plasma and inflammatory adipocytokines with the severity of coronary artery calcification in coronary artery disease [J]. *J Chin Physician*, 2022, 24(9): 1368-1372.
- [8] CHEN X, ZHANG X, GONG Z, et al. The link between diabetic retinal and renal microvasculopathy is associated with dyslipidemia and upregulated circulating level of cytokines[J]. *Front Public Health*, 2023, 10: 1040319.
- [9] XIANG Z, LIN S, YANG B, et al. Association between advanced lung cancer inflammation index and atherosclerosis cardiovascular disease in U. S. adults: a population-based investigation[J]. *Front Nutr*, 2025, 12: 1503844.
- [10] GUO Y, WANG F, MA S, et al. Relationship between atherogenic index of plasma and length of stay in critically ill patients with atherosclerotic cardiovascular disease: a retrospective cohort study and predictive modeling based on machine learning[J]. *Cardiovasc Diabetol*, 2025, 24(1): 95.
- [11] LAN Y, CHEN L, YANG Q, et al. Association between wait time of central venous pressure and 28-day mortality in critically patients with acute pancreatitis: a retrospective cohort study[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2024, 103(35): e39438.
- [12] 中华医学会外科学分会胰腺外科学组. 重症急性胰腺炎诊治指南[J]. *中华外科杂志*, 2007, 45(11): 727-729.
Pancreatic Surgery Group, Chinese Society of Surgery, Chinese Medical Association. The guideline of diagnosis and treatment of severe acute pancreatitis [J]. *Chin J Surg*, 2007, 45(11): 727-729.
- [13] 中华医学会外科学分会胰腺外科学组. 中国急性胰腺炎诊治指南(2021)[J]. *中华外科杂志*, 2021, 59(7): 578-587.
Pancreatic Surgery Group, Chinese Society of Surgery, Chinese Medical Association. Guidelines for diagnosis and treatment of acute pancreatitis in China (2021)[J]. *Chin J Surg*, 2021, 59(7): 578-587.
- [14] 中国高血压防治指南修订委员会, 高血压联盟(中国), 中国医疗保健国际交流促进会高血压病学分会, 等. 中国高血压防治指南(2024 年修订版)[J]. *中华高血压杂志(中英文)*, 2024, 32(7): 603-700.
Revision Committee of Chinese Guidelines for the Prevention and Treatment of Hypertension, Hypertension League

- (China), Hypertension Branch, China International Exchange and Promotion Association for Medical and Healthcare, et al. Chinese Guidelines for the Prevention and Treatment of Hypertension (2024 Revision) [J]. *Chin J Hypertens*, 2024, 32(7): 603-700.
- [15] 中华医学会糖尿病学分会. 中国糖尿病防治指南(2024版)(节选二) [J]. *中国实用内科杂志*, 2025, 45(11): 927-951.
Chinese Diabetes Society of Chinese Medical Association. Prevention and treatment guidelines for diabetes mellitus in China (2024 edition) (Excerpt II) [J]. *Chin J Pract Intern Med*, 2025, 45(11): 927-951.
- [16] 纪连栋, 袁洪涛, 魏伟, 等. 2024年《美国胃肠病学学会指南: 急性胰腺炎的管理》更新解读 [J]. *中国普通外科杂志*, 2024, 33(9): 1414-1421.
JI L D, YUAN H T, WEI W, et al. Interpretation of the updates in the 2024 American college of gastroenterology guidelines; management of acute pancreatitis [J]. *Chin J Gen Surg*, 2024, 33(9): 1414-1421.
- [17] 中华医学会急诊分会, 京津冀急诊急救联盟, 北京医学会急诊分会, 等. 急性胰腺炎急诊诊断及治疗专家共识 [J]. *临床肝胆病杂志*, 2021, 37(5): 1034-1041.
Emergency Branch of Chinese Medical Association, Beijing Tianjin Hebei Emergency Alliance, Emergency Branch of Beijing Medical Association, et al. Expert consensus on emergency diagnosis and treatment of acute pancreatitis [J]. *J Clin Hepatol*, 2021, 37(5): 1034-1041.
- [18] 王铮, 赵硕, 仵正, 等. 重症急性胰腺炎早期严重程度评估方法及其临床意义 [J]. *中国实用外科杂志*, 2024, 44(5): 533-537.
WANG Z, ZHAO S, WU Z, et al. Evaluation method and clinical significance of early severity of severe acute pancreatitis [J]. *Chin J Pract Surg*, 2024, 44(5): 533-537.
- [19] 李骏, 王成龙, 谢振林. 参附注射液结合加贝酯方案对老年急性胰腺炎患者胰腺血流动力学指标及HSP70、IL-10表达的影响 [J]. *中国老年学杂志*, 2025, 45(15): 3628-3631.
LI J, WANG C L, XIE Z L. Effects of Shenfu injection combined with gabaxate regimen on pancreatic hemodynamic indexes and expressions of HSP70 and IL-10 in elderly patients with acute pancreatitis [J]. *Chin J Gerontol*, 2025, 45(15): 3628-3631.
- [20] 韩梓莹, 宋锴, 范正阳, 等. 急性胰腺炎患者肠道微生态及其与病情严重程度的相关性: 一项前瞻性横断面研究 [J]. *协和医学杂志*, 2022, 13(5): 800-811.
HAN Z Y, SONG K, FAN Z Y, et al. Correlation between gut microbiome and disease severity in patients with acute pancreatitis: a prospective cross-sectional study [J]. *Med J PUMCH*, 2022, 13(5): 800-811.
- [21] HECKLER M, HACKERT T, HU K, et al. Severe acute pancreatitis; surgical indications and treatment [J]. *Lan-genbecks Arch Surg*, 2021, 406(3): 521-535.
- [22] SHAO M, WU L, HUANG X, et al. Neutrophil CD64 index: a novel biomarker for risk stratification in acute pancreatitis [J]. *Front Immunol*, 2025, 16: 1526122.
- [23] 干德彪, 李军涛, 刘冰, 等. 全身免疫炎症指数与穿支动脉粥样硬化病患者神经功能恶化的相关性 [J]. *中华老年心脑血管病杂志*, 2025, 27(1): 72-75.
GAN D B, LI J T, LIU B, et al. Correlation between SII and early neurological deterioration in patients with branch atheromatous disease [J]. *Chin J Geriatr Heart Brain Vessel Dis*, 2025, 27(1): 72-75.
- [24] XU X Y, ZHOU J, AI Q, et al. Clinical significance of PCT, CRP, IL-6, NLR, and TyG index in early diagnosis and severity assessment of acute pancreatitis: a retrospective analysis [J]. *Sci Rep*, 2025, 15(1): 2924.
- [25] ALTUN Y, DILBER B H, ÇOM A N. Associations of the atherogenic index of plasma with insulin resistance and inflammation [J]. *Rev Assoc Med Bras (1992)*, 2024, 70(11): e20240991.
- [26] ALIZADEH F, MIRZAIE BAVIL F, KEYHANMANESH R, et al. Association of pro-inflammatory cytokines, inflammatory proteins with atherosclerosis index in obese male subjects [J]. *Horm Mol Biol Clin Investig*, 2023, 44(2): 121-126.
- [27] SYED-ABDUL M M, TIAN L, HEGELE R A, et al. Futility of plasmapheresis, insulin in normoglycaemic individuals, or heparin in the treatment of hypertriglyceridaemia-induced acute pancreatitis [J]. *Lancet Diabetes Endocrinol*, 2025, 13(6): 528-536.
- [28] 戢奇, 黄熺, 余琛怡, 等. 血浆致动脉粥样硬化指数联合急性胰腺炎床旁严重程度指数对重症高甘油三酯血症性急性胰腺炎的早期预测价值 [J]. *临床肝胆病杂志*, 2023, 39(6): 1398-1403.
JI Q, HUANG X, SHE C Y, et al. Value of atherogenic index of plasma combined with bedside index for severity in acute pancreatitis in the early prediction of severe hypertriglyceridemic acute pancreatitis [J]. *J Clin Hepatol*, 2023, 39(6): 1398-1403.
- [29] 王美肖, 刘露晴, 刘士贺, 等. 血脂正常人群血浆致动脉粥样硬化指数与动脉粥样硬化性心血管疾病及全因死亡风险的关联性研究 [J]. *中国心血管杂志*, 2025, 30(2): 158-167.
WANG M X, LIU L Q, LIU S H, et al. Association of plasma atherosclerotic index with risks of atherosclerotic cardiovascular diseases and all-cause mortality in normolipidemic individuals [J]. *Chin J Cardiovasc Med*, 2025, 30(2): 158-167.
- [30] CHEN M Q, WANG A, WAN C X, et al. Prognostic value of atherogenic index of plasma in pulmonary hypertension [J]. *Front Med (Lausanne)*, 2024, 11: 1490695.

(此文编辑 许雪梅)