

血浆单采术中枸橼酸盐反应预警指标构建研究

李亚涛

华兰生物石柱县单采血浆有限公司 重庆

【摘要】血浆单采术作为临床采供血的重要技术手段，在应用过程中普遍使用枸橼酸盐作为抗凝剂，其引发的不良应对受术者安全构成潜在风险。枸橼酸盐反应具有发生突然、早期症状不典型等特点，增加了术中监测与干预的难度。围绕血浆单采术中枸橼酸盐反应的发生机制与临床表现，对相关生理参数、操作因素及反应特征进行系统分析，筛选具有预测意义的关键指标，并在此基础上构建预警指标体系。通过对预警指标敏感性与可行性的综合评估，探索术中风险识别的量化路径，为枸橼酸盐反应的早期预警提供理论依据与实践参考，进而推动血浆单采术安全管理向精细化与前移化发展。

【关键词】血浆单采术；枸橼酸盐反应；预警指标；风险预测

【收稿日期】2026年2月17日 **【出刊日期】**2026年3月31日 **【DOI】**10.12208/j.ijmd.20260036

Study on the construction of citrate reaction early warning index in plasmapheresis

Yatao Li

Hualan Biotechnology Shizhu County Single Plasma Collection Co., Ltd, Chongqing

【Abstract】 As a critical technique in clinical blood collection and supply, plasmapheresis commonly employs citrate as an anticoagulant, which poses potential safety risks to recipients due to its adverse reactions. Citrate reactions are characterized by sudden onset and atypical early symptoms, increasing the difficulty of intraoperative monitoring and intervention. This study systematically analyzes the pathogenesis and clinical manifestations of citrate reactions during plasmapheresis, evaluates relevant physiological parameters, procedural factors, and reaction features, identifies key predictive indicators, and establishes a warning indicator system. Through comprehensive assessment of the sensitivity and feasibility of these warning indicators, the study explores quantitative pathways for intraoperative risk identification, providing theoretical and practical references for early warning of citrate reactions. This advancement aims to promote the refinement and proactive management of safety in plasmapheresis.

【Keywords】 Plasmapheresis; Citrate reaction; Warning indicators; Risk prediction

引言

随着血浆单采技术的广泛开展，术中安全问题逐渐受到关注。枸橼酸盐作为常用抗凝剂，在保障单采顺利进行的同时，也可能诱发一系列不良反应。部分反应起始隐匿，进展迅速，若未能及时识别，易对受术者生理状态造成干扰。当前临床监测多依赖主观经验与症状出现后的被动处理，缺乏基于客观指标的提前判断方式。如何在反应发生前捕捉风险信号，成为提升血浆单采术安全性的关键切入点。围绕这一问题，对枸橼酸盐反应相关指标进行系统梳理与整合，为构建科学的预警体系奠定基础。

1 血浆单采术中枸橼酸盐反应的识别困境

血浆单采术过程中，枸橼酸盐作为体外循环抗凝的常用药物，在维持采集顺利进行的同时，其代谢特点决定了受术者在短时间内需承受一定的生理负荷。枸橼酸盐通过与血液中钙离子结合发挥抗凝作用，当回输速度与机体代谢能力之间出现失衡时，易引发低钙相关反应^[1]。该类反应在早期多表现为口周麻木、肢端感觉异常、轻度肌肉震颤等非特异性症状，极易与紧张、疲劳或体位改变引起的不适混淆。部分受术者主观感受不明显，或因个体耐受差异而延迟表达，导致医护人员难以及时捕捉反应信号，使识别过程具有明显的滞后性和不确定性。

在实际操作中，枸橼酸盐反应的判断高度依赖临

床经验与即时观察,尚缺乏统一、客观的量化标准。多数监测集中于心率、血压等常规生命体征,而这些指标在反应早期往往变化不显著,难以作为敏感信号。部分采供血机构虽关注血钙水平变化,但受限于检测条件,难以实现术中动态监测,进一步削弱了风险识别的及时性。单采设备运行参数如抗凝剂比例、回输速度、采集流量等对枸橼酸盐负荷具有直接影响,但相关数据更多用于设备调控,未被系统纳入反应识别框架之中,造成大量潜在信息未得到有效利用。

受术者个体差异显著增加了识别难度。年龄、体质量指数、基础代谢水平、肝肾功能状态以及既往献血史等因素,均可能影响枸橼酸盐的代谢清除能力和耐受阈值。在相同操作条件下,不同受术者对枸橼酸盐的反应程度存在明显差异,单一症状或指标难以准确反映真实风险水平^[2]。部分反应呈现渐进性发展特征,在短时间内累积加重,若缺乏连续性评估手段,极易错失干预窗口。上述多重因素交织,使血浆单采术中枸橼酸盐反应的识别长期处于经验主导、判断分散的状态,也凸显出构建系统化、前瞻性预警指标的现实必要性。

2 枸橼酸盐反应相关影响因素的系统分析

血浆单采术中枸橼酸盐反应的发生并非由单一因素触发,而是多种生理条件与操作参数相互作用的结果。枸橼酸盐在体内主要依赖肝脏代谢并通过肾脏排泄,其清除速度受机体代谢能力直接制约。当抗凝剂输入量在短时间内超过机体代谢负荷时,游离钙离子浓度迅速下降,进而影响神经肌肉兴奋性和心肌传导功能^[3]。血钙水平的动态变化被认为是反应发生的核心生理基础,但在临床实践中,血钙并非孤立变化,其波动常伴随血液酸碱状态、血容量变化及内环境稳定性的调整。呼吸频率、血氧饱和度以及心率变异性等指标在这一过程中呈现一定的联动特征,为反应风险的判断提供了多维度参考。

个体特征在枸橼酸盐反应风险中占据重要位置。体质量指数偏低者体内分布容积有限,在相同抗凝剂输入条件下更易出现相对过量负荷。年龄增长伴随肝血流量下降及代谢酶活性变化,使枸橼酸盐清除效率降低,增加低钙反应发生概率。既往多次单采史可在一定程度上提高耐受性,但并非绝对保护因素,部分受术者在连续采集过程中仍可能出现累积效应。基础疾病状态同样不可忽视,轻度肝功能异常、肾小球滤过率下降或存在电解质紊乱倾向者,其内

环境调节能力相对减弱,枸橼酸盐输入后更易引发生理失衡。这些差异决定了反应风险具有明显的个体异质性,也对影响因素的系统分析提出更高要求。

操作层面的因素对枸橼酸盐反应的影响同样显著。抗凝剂与全血比例直接决定枸橼酸盐负荷强度,比例调节不当可在短时间内放大低钙风险。采集流量和回输速度影响抗凝剂在体内的分布节律,过快回输可能导致瞬时血钙下降,而过慢采集则延长暴露时间,加重代谢压力。单采设备参数设置、管路有效体积及回输间隔方式均会改变枸橼酸盐进入体循环的模式^[4]。采集中体位变化、环境温度及受术者心理紧张程度亦可能通过影响外周循环状态和神经内分泌反应,间接放大不良反应表现。这些操作相关变量往往同时存在,彼此之间呈现叠加或放大效应,使枸橼酸盐反应的发生呈现复杂的多因素耦合特征,为后续预警指标的筛选与组合提供了丰富但具有挑战性的分析基础。

3 血浆单采术中枸橼酸盐反应预警指标的构建路径

血浆单采术中枸橼酸盐反应预警指标的构建,需要在多源信息整合的基础上实现对风险信号的提前捕捉。预警指标的筛选应立足于术中可连续获取的数据,兼顾生理指标与设备运行参数的同步变化特征。围绕枸橼酸盐负荷与机体代谢能力之间的动态平衡,将血钙相关参数作为核心参考,同时引入心率变异性、呼吸频率、血氧饱和度等反映自主神经调节状态的指标,有助于增强预警体系对早期变化的敏感性^[5]。采集过程中抗凝剂输入速率、回输节律及采集流量的实时记录,为评估枸橼酸盐体内累积趋势提供了量化基础,使预警判断不再局限于单一时间点的静态观察。

在指标组合层面,单项参数难以全面反映反应风险,多指标协同分析成为构建预警体系的关键。通过对不同指标变化幅度、变化速率及相互关系进行建模,可形成具有区分度的风险判别模式。血钙下降速率与抗凝剂输入速率之间的匹配程度,可用于评估代谢负荷是否超出个体耐受范围;心率与呼吸节律的同步波动,则可反映神经肌肉兴奋性改变的早期征象。个体基础特征参数的引入,使预警指标具备一定的个体化校正能力,在统一框架下体现差异化风险水平。通过对多维数据进行标准化处理和权重分配,预警模型能够在复杂变量环境中保持

稳定输出,为术中决策提供持续支持。

预警路径的形成还需与血浆单采术流程高度契合,以保证其可操作性与实用性。指标触发阈值的设定应基于大量临床数据分析,避免过度敏感导致频繁干预,同时防止阈值过高而错失风险信号。预警结果的呈现方式需简明直观,便于医护人员在不增加额外操作负担的情况下快速识别风险等级^[6]。与单采设备信息系统的有效对接,使预警判断能够随采集进程实时更新,反映枸橼酸盐负荷的动态变化。通过将指标监测、风险判定与操作调整形成闭环,预警体系逐步融入血浆单采术的常规管理之中,为枸橼酸盐反应的早期干预提供稳定的技术支撑。

4 预警指标体系在术中风险控制中的综合评估

预警指标体系在血浆单采术中的应用效果,需通过多维度风险控制表现进行系统评估。指标体系运行过程中,对枸橼酸盐反应相关信号的捕捉能力直接关系到术中安全水平的稳定性。通过持续监测生理参数与操作变量的同步变化,预警系统能够在受术者出现明显不适之前识别潜在风险状态,使风险控制从事后应对转向过程干预^[7]。预警触发后,医护人员可根据风险等级调整抗凝剂输入比例、回输节律或采集流量,从而降低游离钙快速下降的发生概率。风险控制效果不仅体现在反应发生率的变化,也反映在反应程度和持续时间的调控能力上,体现出预警指标体系在术中动态管理中的实际价值。

在综合评估过程中,预警指标体系的稳定性与一致性是重要考量因素。不同受术者在基础状态、耐受能力及代谢水平方面存在差异,预警模型需在多样化人群中保持可靠输出。通过比较不同个体在相似操作条件下的风险判定结果,可检验指标体系对个体差异的适应程度。连续单采过程中,预警信号的重复性与趋势性有助于判断风险累积情况,为操作调整提供时间维度上的参考。指标体系在不同采集时段、不同设备参数设置下的表现,能够反映其对操作环境变化的敏感度和抗干扰能力,这些因素共同决定了预警体系在实际工作中的可推广性。

风险控制评估还需关注预警指标体系对临床工作流程的影响。术中信息反馈的及时性与准确性直接关系到干预措施的有效实施,过于复杂的判定过程可能增加操作负担,影响采集效率。通过对预警提示频率、干预执行率及采集过程连续性的观察,可评估指标体系与临床实践之间的匹配程度^[8]。预

警结果与实际反应发生情况的符合度,为判断体系判别能力提供依据。指标体系在保障血浆单采术安全运行的同时,需保持对操作流程的最小干扰,使风险控制融入常规管理之中,从而在不改变采集基本模式的前提下实现对枸橼酸盐反应的有效约束。

5 结语

血浆单采术中枸橼酸盐反应的发生具有多因素交互和动态演变特征,对术中安全管理提出了更高要求。围绕反应识别难点、影响因素分析及预警指标构建路径,系统化的预警指标体系为风险控制提供了更为精准的判断依据。将多维指标融入采集流程,有助于提升术中监测的连续性与针对性,使风险干预更加及时、可控,推动血浆单采术安全管理向精细化方向发展。

参考文献

- [1] 郇曼桐. 探究在单采血小板过程中预防枸橼酸盐中毒反应的效果分析[J]. 临床血液学杂志, 2025, 38(04): 303-307.
- [2] 翁郁青, 黄会青, 欧阳江. 不同钙剂干预方式对枸橼酸盐不良反应影响的研究[J]. 黑龙江医药, 2021, 34(06): 1254-1257.
- [3] 贾波, 辛宏杰, 翟红艳, 等. 枸橼酸盐引起献血者、受血者低血钙不良反应的防范措施探讨[J]. 中国输血杂志, 2022, 29(10): 1161-1164.
- [4] 刘捷, 张瑞利, 张王刚, 等. 治疗性血细胞单采及血浆置换在血液肿瘤疾病治疗中的应用研究[J]. 现代肿瘤医学, 2023, 17(02): 330-331.
- [5] 王清改, 韩海心, 胡松, 等. 产前预测结合血浆单采术防治新生儿溶血病效果观察[J]. 职业与健康, 2024, (02): 135-136.
- [6] 叶兵. 自动间歇流式血浆单采术献血者体外血量与预防循环反应的关系[J]. 国外医学. 输血及血液学分册, 2022, (06): 571.
- [7] 陈孔陶, 鄒昭平. 介绍血浆单采术[J]. 皖南医学院学报, 2023, (03): 213.
- [8] 血浆单采术的大规模观察及推广应用. 卫生部成都生物制品研究所, 2024-12-01.

版权声明: ©2026 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

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



OPEN ACCESS