

# Study on the influencing factors of blood alcohol concentration and the solution technology of difficult problems in forensic toxicology

Zhousheng Yao

Guangxi Shengbang Judicial Appraisal Center, Wuzhou, Guangxi, 543000, China

## Abstract

This paper focuses on the field of forensic toxicology, specifically exploring the influencing factors of blood alcohol concentration (BAC) and their technical theoretical issues in complex case appraisals. The study finds that individual physiological differences such as age, gender, weight, alcohol metabolism characteristics, and sample preservation conditions significantly impact BAC test results. Additionally, the paper combines advanced detection methods like gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) and headspace sampling techniques, detailing their principles and advantages in BAC testing. New detection standards play a crucial role in resolving complex forensic toxicology issues by standardizing procedures and optimizing technology applications. This research aims to provide scientific theoretical foundations and technical references for forensic toxicologists, effectively enhancing the accuracy and reliability of BAC testing in complex cases, ensuring the fairness of judicial decisions, and promoting significant development in the field of forensic toxicology.

## Keywords

forensic toxicology; blood alcohol concentration; gas chromatography-mass spectrometry; headspace sampling

# 法医毒物鉴定中血液酒精浓度影响因素及疑难问题解决技术研究

姚周盛

广西盛邦司法鉴定中心, 中国·广西梧州 543000

## 摘要

本论文围绕法医毒物鉴定领域,着重探究血液酒精浓度(BAC)的影响因素及其在疑难案件鉴定中的技术理论问题。研究发现,个体生理差异如年龄、性别、体重,酒精代谢特性以及检测样本保存条件等,均会对BAC检测结果产生显著影响。同时,论文结合气相色谱-质谱联用(GC-MS)、顶空进样技术等先进检测手段,详细阐述其在BAC检测中的原理与优势。新检测标准通过规范检测流程、优化技术应用,在解决法医毒物鉴定疑难问题中发挥关键作用。本研究致力于为法医毒物鉴定人员提供科学的理论依据与技术参考,有效提升复杂案件中BAC检测的准确性和可靠性,为司法裁决的公正性提供有力保障,对推动法医毒物鉴定领域的发展具有重要意义。

## 关键词

法医毒物鉴定;血液酒精浓度;气相色谱-质谱联用;顶空进样技术

## 1 引言

在法医毒物鉴定实践中,血液酒精浓度(BAC)的准确测定是判定酒驾、醉驾刑事案件,以及分析酒精相关死亡、昏迷等疑难案件的核心依据。然而,实际鉴定工作常面临复杂情况:如尸体解剖时血液样本酒精浓度的真实性判定、药物与酒精相互作用导致的代谢异常、微量酒精样本的准确检测等。这些问题不仅涉及个体生理差异、酒精代谢机制等生

物学因素,还与检测技术的敏感性、特异性密切相关。新的酒精含量检测标准(如气相色谱-质谱联用技术的应用)为解决这些疑难问题提供了技术支持,但同时也对法医鉴定人员的理论知识和实践能力提出了更高要求。本文将从法医毒物鉴定的实际需求出发,系统分析影响BAC的关键因素,并探讨疑难案件中的技术解决方案。

## 2 法医毒物鉴定中影响血液酒精浓度的关键因素

### 2.1 个体生理差异与代谢异常

#### 2.1.1 遗传因素导致的代谢酶变异

在法医毒物鉴定中,遗传因素对酒精代谢酶的影响是

【作者简介】姚周盛(1979-),男,中国广西北流人,本科,从事法医毒物检测研究。

造成 BAC 差异的重要原因。乙醇脱氢酶 (ADH) 和乙醛脱氢酶 (ALDH) 基因的多态性可导致酶活性显著不同。例如, 东亚人群中常见的 ALDH2\*2 突变型, 其编码的乙醛脱氢酶活性几乎缺失, 饮酒后血液中乙醛大量积累, 导致 BAC 升高速度更快且代谢延迟。在涉及酒后猝死或昏迷的案件中, 若未考虑基因多态性对代谢的影响, 可能导致 BAC 检测结果误判。

### 2.1.2 病理状态下的代谢紊乱

肝脏疾病 (如肝硬化、肝炎)、胃肠道疾病 (如胃溃疡、胃炎) 等病理状态会显著影响酒精代谢。肝硬化患者因肝实质细胞减少, ADH 和 ALDH 活性降低, 导致酒精代谢能力下降 50% 以上。在涉及长期饮酒史的死亡案件中, 若忽视病理因素对 BAC 的影响, 可能错误判断死亡原因与酒精的关联程度。此外, 糖尿病患者因糖代谢异常, 可能通过影响胰岛素-葡萄糖代谢途径间接影响酒精代谢<sup>[1]</sup>。

## 2.2 死后酒精扩散与腐败干扰

### 2.2.1 尸体中酒精的死后扩散现象

法医毒物鉴定中, 尸体血液样本的 BAC 检测常受死后酒精扩散的干扰。研究表明, 胃内容物中的酒精可在死后通过渗透作用扩散至血液, 导致 BAC 检测值虚高。一项针对交通事故死亡案例的研究发现, 死后 6 小时内, 胃内酒精浓度超过 200mg/100mL 时, 血液样本 BAC 可能因扩散效应升高 30% - 50%。此外, 死后微生物发酵也可能产生内源性酒精, 尤其是在肠道菌群活跃的情况下, 可能导致 BAC 检测出现假阳性。

### 2.2.2 腐败过程对样本的影响

尸体腐败过程中, 微生物分解组织产生的挥发性物质 (如醇类、醛类) 可能干扰 BAC 检测。腐败产生的正丙醇、异丙醇等物质与乙醇在气相色谱中具有相似的保留时间, 易造成假阳性结果。通过分析正丙醇/乙醇比值可辅助判断样本是否受腐败干扰, 当比值超过 0.1 时, 提示可能存在腐败影响。此外, 腐败导致的样本 pH 值变化、蛋白降解等也会影响检测方法的准确性。

## 2.3 药物 - 酒精相互作用

### 2.3.1 酶抑制与诱导作用

多种药物可通过抑制或诱导酒精代谢酶影响 BAC。例如, 头孢类抗生素与酒精发生双硫仑样反应, 通过抑制 ALDH 活性使乙醛蓄积, 导致 BAC 异常升高。抗癫痫药苯巴比妥可诱导细胞色素 P450 酶系, 加速酒精代谢, 使 BAC 降低。在涉及药物滥用与酒驾的案件中, 需综合分析药物种类、剂量及服药时间与饮酒时间的关系, 才能准确判断 BAC 的真实水平<sup>[2]</sup>。

### 2.3.2 协同毒性效应

药物与酒精的协同作用可能加剧中毒症状, 影响死亡原因判定。苯二氮草类药物 (如地西洋) 与酒精联合使用时, 可增强中枢神经系统抑制作用, 导致呼吸衰竭风险显著增

加。在法医鉴定中, 不仅需检测 BAC, 还需同时分析药物浓度, 通过药代动力学模型评估协同毒性效应。

## 3 法医毒物鉴定疑难问题的技术解决方案

### 3.1 高灵敏度检测技术的应用

#### 3.1.1 气相色谱 - 质谱联用 (GC - MS) 技术

GC - MS 技术是法医毒物鉴定的金标准, 其通过质谱的碎片离子分析实现乙醇的高特异性定性和定量。在微量样本检测中, GC - MS 的检测限可达 0.1mg/100mL, 显著高于传统气相色谱法。例如, 在火灾现场尸体的碳化血液样本中, GC - MS 可通过优化色谱条件 (如选择极性固定相、降低柱温程序), 有效分离乙醇与干扰物质, 确保检测结果的准确性。

#### 3.1.2 顶空进样技术的改进

顶空进样技术通过提取样本中的挥发性成分, 避免基质干扰, 尤其适用于腐败样本或复杂生物基质。新国标采用的静态顶空 - 气相色谱法, 通过优化顶空平衡温度 (60 - 80°C) 和时间 (30 - 45 分钟), 可显著提高乙醇的提取效率。在涉及溺亡尸体的酒精检测中, 顶空进样技术可有效排除水样稀释和盐析效应的干扰, 确保 BAC 检测的可靠性。

### 3.2 样本保存与质量控制

#### 3.2.1 抗凝剂与防腐剂的选择

法医鉴定中, 血液样本的保存条件直接影响 BAC 稳定性。肝素抗凝剂因不影响酒精代谢, 是首选抗凝剂; 而氟化钠 - 草酸钾混合防腐剂可抑制微生物生长和糖酵解, 适用于长期保存。研究表明, 未添加防腐剂的血液样本在室温下存放 24 小时, BAC 可能因糖酵解升高 10% - 20%。

#### 3.2.2 样本溯源与交叉污染控制

在多样本同时检测时, 交叉污染是导致结果偏差的重要原因。实验室需严格执行样本编号、分区操作和空白对照制度。例如, 采用独立的移液枪头、样本预处理区与检测区分隔等措施, 避免不同样本间的乙醇残留污染。

### 3.3 多因素综合分析模型

#### 3.3.1 药代动力学模型的应用

在药物 - 酒精联合中毒案件中, 通过药代动力学模型 (如房室模型) 可模拟 BAC 随时间的变化趋势。结合饮酒量、饮酒时间、药物剂量、服药时间等参数, 可推算中毒时刻的 BAC, 为案件定性提供科学依据。

#### 3.3.2 统计分析与专家系统

建立法医毒物鉴定数据库, 通过大数据分析不同因素对 BAC 的影响权重。结合专家经验构建决策支持系统, 辅助鉴定人员在复杂案件中综合判断检测结果的可靠性。

## 4 法医毒物鉴定标准化建设与质量控制体系完善

### 4.1 标准化操作流程的制定与更新

标准化操作流程 (SOP) 是保证法医毒物鉴定结果准

确性和可靠性的关键。目前,我国已制定了一系列关于血液酒精浓度检测的国家标准和行业规范,但随着检测技术的不断发展和新问题的出现,需要及时对 SOP 进行更新和完善。

在样本采集环节,应明确规定采样器具的选择、采样方法、采样量以及样本保存条件等。例如,血液样本应使用含有抗凝剂和防腐剂的专用采血管采集,采样量不少于 5mL,并在采集后立即进行低温保存。在样本运输过程中,需采取防震、防漏、低温等措施,确保样本的完整性和稳定性。

在检测过程中,针对不同的检测技术制定详细的操作步骤和质量控制要求。对于 GC - MS 技术,应规定仪器的校准方法、色谱条件的优化、样本进样体积和进样方式等;对于生物传感器技术,应明确传感器的校准程序、样本预处理方法以及检测结果的验证方法等。同时,建立 SOP 的定期评审和修订机制,根据技术发展和实践经验及时调整和完善操作流程<sup>[1]</sup>。

## 4.2 质量控制体系的构建与实施

质量控制体系是确保法医毒物鉴定实验室检测结果准确可靠的重要保障。实验室应建立完善的质量控制体系,包括人员培训、仪器设备管理、样本管理、方法验证、内部质量控制和外部质量评价等多个方面。

在人员培训方面,定期组织法医鉴定人员参加专业培训和学术交流活动,提高其理论知识和实践操作技能。培训内容应涵盖最新的检测技术、标准规范、质量控制方法等。同时,建立人员考核制度,确保鉴定人员具备相应的资质和能力。

仪器设备管理是质量控制的重要环节。实验室应制定仪器设备的采购、验收、校准、维护和报废等管理制度,定期对仪器设备进行校准和性能验证,确保仪器设备处于良好的运行状态。对于关键仪器设备(如 GC - MS、LC - MS/MS 等),应建立详细的使用记录和维护档案,及时发现和解决仪器设备存在的问题。

样本管理包括样本的接收、登记、存储、处理和销毁等环节。实验室应建立样本管理制度,确保样本的可追溯性和完整性。在样本处理过程中,严格执行样本编号、分区操作和空白对照制度,避免样本交叉污染。

方法验证是确保检测方法准确性和可靠性的重要步骤。实验室在采用新的检测方法或对现有方法进行重大修改时,应进行全面的方法验证,包括方法的精密度、准确度、灵敏

度、特异性等指标的验证。同时,定期对检测方法进行性能评价,确保方法持续满足检测要求。

内部质量控制是实验室自我监督和改进的重要手段。实验室应制定内部质量控制计划,定期开展空白试验、重复试验、加标回收试验等质量控制活动,及时发现和纠正检测过程中存在的问题。外部质量评价是通过参加能力验证、实验室间比对等活动,评估实验室的检测能力和水平。实验室应积极参加国内外权威机构组织的外部质量评价活动,不断提高检测结果的准确性和可靠性。

## 5 典型疑难案例分析

### 5.1 死后酒精扩散争议案例

某交通事故死亡案件中,尸检血液 BAC 为 210mg/100mL,但家属质疑死者生前未饮酒。鉴定人员通过检测胃内容物酒精浓度(450mg/100mL)和正丙醇/乙醇比值(0.05),结合尸体腐败程度,判断血液 BAC 升高主要由死后胃内酒精扩散所致,最终排除生前酒驾嫌疑。

### 5.2 药物 - 酒精协同中毒案例

一名服用地西洋后饮酒的昏迷患者送医死亡,血液检测显示 BAC 为 85mg/100mL,地西洋浓度为 0.3 μg/mL。通过药代动力学模型分析,二者协同作用导致中枢抑制程度超过单一物质中毒阈值,最终认定死亡原因为药物 - 酒精联合中毒。

## 6 结论

法医毒物鉴定中血液酒精浓度的准确测定是一项系统性工程,需综合考虑个体生理差异、样本保存条件、检测技术局限性等多方面因素。新检测标准的实施,尤其是 GC - MS 等技术的应用,显著提升了疑难案件的鉴定能力。未来,随着代谢组学、蛋白质组学等新技术的引入,以及标准化操作流程的完善,法医毒物鉴定将更科学、准确地服务于司法实践,为维护法律公正提供坚实的技术保障。

## 参考文献

- [1] 李莹,汪炜,孟祥志. 人体血液酒精浓度检测的影响因素[J]. 基层医学论坛,2014(22):2993-2995.
- [2] 高庆刚,张高勤,邱玉敏,等. 法医毒理学中死后乙醇检测研究进展[J]. 实验与分析,2024,2(3):22-29.
- [3] 严峻,文静,罗大卿,等. 酒精中毒对交通事故重型颅脑外伤患者炎症反应和预后的影响[J]. 中国现代医学杂志,2018,28(33):57-63.