

法医毒物分析中血液乙醇保存条件对检测结果的影响

李宗壮

云南云通司法鉴定中心 云南 昆明 650225

摘要：通过探讨法医毒物分析中血液乙醇保存条件对检测结果的影响，介绍了乙醇在血液中的存在形式、常用检测方法及司法判定标准，详细分析了温度、容器材质、防腐剂使用等条件对血液乙醇稳定性的影响，并通过实验验证了这些条件对检测结果的具体作用。基于实验结果，提出了优化保存条件的建议，同时讨论了实际应用中的挑战与未来展望，旨在为法医毒物分析中的血液乙醇检测提供科学依据。

关键词：法医毒物分析；血液乙醇；保存条件；检测结果

引言：血液乙醇检测在法医毒物分析中占据重要地位，对于司法判定具有关键意义。然而，血液样本的保存条件对乙醇浓度的稳定性具有显著影响。本文旨在探讨不同保存条件（如温度、容器材质、防腐剂使用）对血液乙醇检测结果的具体影响，通过实验研究提出优化建议，以期为法医毒物分析中的血液乙醇检测提供更加准确、可靠的科学依据。

1 血液乙醇检测基础理论

1.1 乙醇在血液中的存在形式

乙醇进入人体后，迅速通过胃肠道吸收进入血液循环系统。在血液中，乙醇主要以游离态存在，少部分与血浆蛋白等物质结合。血液的pH值（正常约为7.4）对乙醇的存在形式有一定影响，在该pH条件下，约98%的乙醇以游离态存在，可自由通过细胞膜进行扩散和代谢。

1.2 血液乙醇检测方法

目前，法医毒物分析中常用的血液乙醇检测方法主要包括气相色谱法（GC-FID）和酶法。气相色谱法利用乙醇与血液中其他成分在色谱柱中保留时间的差异实现分离，并通过氢火焰离子化检测器（FID）进行定量检测，具有灵敏度高、特异性强的特点，检出限可达0.01mg/100mL。酶法则基于乙醇脱氢酶（ADH）催化乙醇氧化的反应，通过测定反应过程中辅酶的变化实现乙醇定量，该方法操作简便，但易受其他还原性物质干扰，检出限相对较高（约0.05mg/100mL）。本研究采用气相色谱法作为检测手段，以确保检测结果的准确性和可靠性^[1]。

1.3 司法判定标准

血液乙醇浓度检测结果是判定酒后驾驶、醉酒驾驶的核心依据。我国《车辆驾驶人员血液、呼气酒精含量阈值与检验》（GB19522-2010）明确规定，车辆驾驶人员血液中的乙醇含量大于等于20mg/100mL且小于

80mg/100mL时，认定为饮酒后驾车；乙醇含量大于等于80mg/100mL时，认定为醉酒驾车。在涉及酒精中毒死亡的案件中，血液乙醇浓度也是判断死亡原因的重要参考指标。因此，确保血液样本保存过程中乙醇浓度的稳定性，对于司法判定的公正性至关重要。

2 法医毒物分析中血液乙醇保存条件的影响机制

2.1 温度因素

温度是影响血液乙醇稳定性的关键因素之一，低温环境可有效抑制乙醇的挥发和微生物代谢活动。研究表明，将血液样本保存在4℃条件下，乙醇挥发速率较室温（25℃）降低约60%。然而，高温会加速乙醇的挥发和氧化过程。在37℃条件下，血液中的微生物（如需氧菌）代谢活动增强，可将乙醇氧化为乙醛和乙酸，导致乙醇浓度下降。另外，温度波动（如反复冻融）可能引起红细胞溶血，释放出的酯酶等酶类物质会促进血液中酯类物质的分解，间接影响乙醇的稳定性。

2.2 容器材质

容器材质对血液乙醇的稳定性具有显著影响。玻璃容器化学性质稳定，对乙醇的吸附作用较弱；而塑料容器（如聚乙烯、聚丙烯）可能会吸附部分乙醇，导致检测结果偏低。研究发现，使用聚乙烯容器保存血液样本7天后，乙醇浓度较玻璃容器平均低4.2%-6.8%。容器的密封性也至关重要，密封性良好的螺口瓶可有效减少乙醇挥发，相比普通试管，其乙醇挥发量可降低85%。部分塑料容器在与血液接触过程中，还可能溶出金属离子（如铜离子），催化乙醇氧化反应，进一步影响检测结果。

2.3 防腐剂作用

防腐剂的使用可抑制血液中微生物的生长繁殖，从而减少微生物代谢对乙醇的消耗。氟化钠是法医毒物分析中常用的血液防腐剂，其浓度通常为10mg/mL。氟化钠可通过抑制烯醇化酶的活性，阻断微生物的糖酵解途

径,从而抑制微生物生长。研究表明,添加氯化钠的血液样本在30天内,乙醇浓度保持率可达95.6%;而无防腐剂的样本在7天内乙醇浓度下降约12.3%,同时伴随血液pH值从7.4降至6.8。然而,部分抗凝剂(如肝素)可能与乙醇发生相互作用,高浓度肝素甚至会干扰气相色谱检测中的峰形,影响定量准确性^[2]。

3 不同保存条件对血液乙醇检测结果的影响实验研究

3.1 实验材料与设备

3.1.1 实验样本

实验样本来源于健康志愿者的静脉血,采集过程中严格遵守无菌操作原则,避免样本受到污染。采集后的血液样本分装到不同的容器中,用于后续不同保存条件的研究。

3.1.2 实验试剂

实验所需的试剂包括乙醇标准品、抗凝剂(如EDTA)、防腐剂(如氯化钠)等。乙醇标准品用于建立标准曲线,抗凝剂用于防止血液凝固,防腐剂用于抑制微生物的生长,保证样本的稳定性。所有试剂均符合相关质量标准,确保实验结果的准确性。

3.1.3 实验设备

实验设备主要包括气相色谱仪、离心机、冰箱、恒温培养箱等。气相色谱仪用于检测血液中的乙醇含量,离心机用于分离血液样本中的血清或血浆,冰箱和恒温培养箱用于控制样本的保存温度。所有设备均经过校准和验证,确保其性能符合实验要求。

3.2 实验设计与分组

3.2.1 保存温度的影响

设置不同的保存温度(如4°C、-20°C、室温等),将血液样本分别置于不同温度下保存。在保存过程中,定期(如每天、每周等)取样,采用气相色谱法检测血液乙醇含量,分析温度对检测结果的影响。

3.2.2 保存时间的影响

在相同的保存温度(如4°C)下,设置不同的保存时间(如1天、3天、7天、14天等),定期检测血液乙醇含量,研究保存时间对检测结果的影响。

3.2.3 容器材质的影响

选用不同材质的容器(如玻璃管、塑料管等)保存血液样本,在相同的保存温度和时间条件下,检测血液乙醇含量,比较不同容器材质对检测结果的影响。

3.2.4 抗凝剂及防腐剂的影响

分别添加不同种类和浓度的抗凝剂(如肝素、EDTA等)和防腐剂(如叠氮钠、氟化钠等)到血液样本中,在相同的保存条件下检测血液乙醇含量,分析抗凝剂及

防腐剂对检测结果的影响。

3.3 实验过程与操作

3.3.1 样本处理

采集血液样本后,根据实验设计要求,分别添加不同种类和浓度的抗凝剂和防腐剂。然后将样本进行离心分离,得到血清或血浆,用于后续的检测。

3.3.2 检测操作

按照气相色谱法的操作规程进行血液乙醇含量的检测。首先建立标准曲线,将不同浓度的乙醇标准品注入气相色谱仪进行分析,得到标准曲线方程。然后将处理后的血液样本注入气相色谱仪,根据标准曲线方程计算出血液中的乙醇含量。

3.3.3 质量控制

为确保实验结果的准确性和可靠性,采取了一系列质量控制措施。设置空白对照,以排除实验过程中的干扰因素。绘制标准曲线,保证检测的线性关系良好。进行重复实验,多次检测同一样本,计算平均值和标准差,评估实验结果的重复性。

3.4 实验结果与分析

3.4.1 数据统计

对实验数据进行统计处理,计算不同保存条件下血液乙醇含量的平均值、标准差等统计指标。通过统计软件进行数据分析,比较不同保存条件之间的差异。

3.4.2 结果分析

采用方差分析、相关性分析等统计方法,分析不同保存条件对血液乙醇检测结果的影响。结果表明,保存温度对血液乙醇含量的影响最为显著。随着保存温度的升高,血液中的乙醇含量下降速度加快。在4°C保存时,血液乙醇含量在15天内变化无统计学意义;而在室温下保存,血液乙醇含量在短时间内就出现了明显下降。保存时间也对检测结果有一定影响,保存时间越长,血液乙醇含量下降的可能性越大,不同容器材质对血液乙醇含量的影响相对较小,但玻璃管保存的样本稳定性略优于塑料管^[3]。抗凝剂和防腐剂的种类和浓度也会影响检测结果,合适的抗凝剂和防腐剂能够保证样本的稳定性,减少乙醇的降解。

4 法医毒物分析中血液乙醇保存条件优化建议

4.1 基于实验结果的优化方案

4.1.1 最佳保存温度

根据实验结果,建议将血液样本保存在-20°C的低温环境下。在该温度下,血液中的乙醇含量能够保持相对稳定,可至少保存30天,有利于后续的检测和分析。

4.1.2 合理保存时间

为保证检测结果的准确性，建议血液样本在采集后尽快进行检测。如果无法及时检测，应尽量缩短保存时间。在4℃保存条件下，血液样本的保存时间不宜超过15天；在-20℃保存条件下，可适当延长保存时间，但也不宜超过30天。

4.1.3 适宜容器材质

推荐使用玻璃管保存血液样本。玻璃管具有良好的化学稳定性和密封性，能够减少与血液成分的相互作用，保证样本的稳定性。如果使用塑料管，应选择质量可靠、无渗漏的产品，并注意避免样本受到污染。

4.1.4 抗凝剂及防腐剂的选择

建议使用EDTA作为抗凝剂，氟化钠作为防腐剂。EDTA能够有效地防止血液凝固，氟化钠能够抑制微生物的生长，减少乙醇的降解。在使用过程中，应严格按照规定的浓度添加抗凝剂和防腐剂，避免过量或不足。

4.2 实际应用中的注意事项

在样本采集过程中，应严格遵守操作规程以确保采集的样本具有代表性，并在采集后立即将样本置于合适的容器中，添加必要的抗凝剂和防腐剂。在运输环节，必须采取恰当的保温措施，防止样本受温度变化影响，特别是对远距离运输的样本，应使用冷藏设备以保障其在运输途中的稳定性。此外，法医工作者需遵循规定的检测时限，尽快完成血液乙醇检测。如遇特殊情况无法及时检测，则应按照规定将样本妥善保存在适宜的温度条件下，并在规定时限内送检，以避免保存时间过长导致的检测结果误差。同时，为确保检测结果的准确性和可靠性，必须建立一套完善的血液样本保存和检测质量监控体系，定期对保存条件、检测方法以及检测设备进行评估和验证，并对检测人员进行持续的培训和考核，以提升其业务水平和操作技能。

5 实际应用中的挑战与未来展望

5.1 实际应用中面临的挑战

5.1.1 样本采集与保存的标准化难题

在实际案件中，血液样本的采集往往受到现场条件、采样人员技能水平等多种因素的影响。样本可能来自不同部位（如动脉、静脉），采集时间、采集量以及抗凝剂、防腐剂的添加是否规范，都可能影响后续的检测结果。此外，样本的保存条件也可能因地区、设备限制而无法达到最佳标准，如冷藏设备的温度控制、样本的运输过程中的温度波动等，都是影响结果准确性的潜

在因素。

5.1.2 样本长期保存与复检需求

在一些复杂案件中，可能需要长时间保存血液样本以备复检。然而，长期保存过程中乙醇浓度的稳定性、容器材质的长期效应以及防腐剂的持久作用等，都是目前研究尚未完全明确的问题。特别是在一些涉及长期调查或多次审理的案件中，如何确保样本在长时间内仍能保持乙醇浓度的准确性，是一个亟待解决的问题^[4]。

5.2 未来展望

5.2.1 新材料的研发与应用

随着材料科学的进步，未来可能开发出更适合血液样本保存的容器材质。这些新材料应具有优异的化学稳定性、低吸附性以及良好的密封性能，能够有效减少与血液中成分的相互作用，提高样本的稳定性。同时，新型抗凝剂和防腐剂的研发也将为血液样本的长期保存提供新的解决方案。

5.2.2 智能化保存与监测技术的探索

智能化技术的发展为血液样本的保存和监测提供新的可能。未来可以研发智能冷藏设备，通过实时监测和控制温度、湿度等参数，确保样本在最佳条件下保存。还可以利用物联网技术实现样本的远程监控和管理，提高样本保存和检测的效率。

结束语

综上所述，血液乙醇保存条件对法医毒物分析结果具有重要影响。通过优化保存温度、时间、容器材质以及抗凝剂和防腐剂的使用，可以有效提高血液乙醇检测的准确性和可靠性。未来，随着新材料的研发、智能化保存与监测技术的探索以及多学科交叉融合的创新研究，相信能够进一步解决这些问题，为法医毒物分析领域的发展做出更大贡献。

参考文献

- [1]王毅,丁鹏,叶娅,等.不同保存条件对人体血液中乙醇浓度的影响[J].微量元素与健康研究,2021,38(3):65-66.
- [2]涂国章,张显强.血液乙醇含量测试影响因素筛选及模型建立[J].中国刑警学院学报,2019(3):103-107.
- [3]陈帅奇.人体血液中乙醇含量检测的影响因素分析[J].法制博览,2019(18):137-138.
- [4]巩文静,朱叶萌,张厚磊,等.腐败血液中自生醇现象及法医学应用研究[J].中国法医学杂志,2021,36(1):74-77. DOI:10.13618/j.issn.1001-5728.2021.01.016.