

血铅水平测定分析方法 法简要指南

第二版



世界卫生组织

血铅水平测定分析方法 简要指南

第二版



世界卫生组织

血铅水平测定分析方 法简要指南, 第二版

[Brief guide to analytical methods for measuring lead in blood, second edition]

ISBN 978-92-4-001678-1 (网络版)

ISBN 978-92-4-001679-8 (印刷版)

© 世界卫生组织 2020年

保留部分版权。本作品可在知识共享署名——非商业性使用——相同方式共享 3.0 政府间组织 (CC BY-NC-SA 3.0 IGO; <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo/deed.zh>) 许可协议下使用。

根据该许可协议条款, 可为非商业目的复制、重新分发和改写本作品, 但须按以下说明妥善引用。在对本作品进行任何使用时, 均不得暗示世卫组织认可任何特定组织、产品或服务。不允许使用世卫组织的标识。如果改写本作品, 则必须根据相同或同等的知识共享许可协议对改写后的作品发放许可。如果对本作品进行翻译, 则应与建议的引用格式一道添加下述免责声明: “本译文不由世界卫生组织 (世卫组织) 翻译, 世卫组织不对此译文的内容或准确性负责。原始英文版本为应遵守的正本。”

与许可协议下出现的争端有关的任何调解应根据世界知识产权组织调解规则进行 (<http://www.wipo.int/amc/en/mediation/rules>)。

建议的引用格式。血铅水平测定分析方 法简要指南, 第二版 [Brief guide to analytical methods for measuring lead in blood, second edition]。日内瓦: 世界卫生组织, 2020年。
许可协议: [CC BY-NC-SA 3.0 IGO](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo)。

在版编目 (CIP) 数据。在版编目数据可查阅 <http://apps.who.int/iris>。

销售、版权和许可。购买世卫组织出版物, 参见 <http://apps.who.int/bookorders>。提交商业使用请求和查询版权及许可情况, 参见 <http://www.who.int/about/licensing>。

第三方材料。如果希望重新使用本作品中属于第三方的材料, 如表格、图形或图像等, 应自行决定这种重新使用是否需要获得许可, 并相应从版权所有方获取这一许可。因侵犯本作品中任何属于第三方所有的内容而导致的索赔风险完全由使用者承担。

般免责声明。本出版物采用的名称和陈述的材料并不代表世卫组织对任何国家、领地、城市或地区或其当局的合法地位, 或关于边界或分界线的规定有任何意见。地图上的虚线表示可能尚未完全达成一致的大致边界线。

凡提及某些公司或某些制造商的产品时, 并不意味着它们已为世卫组织所认可或推荐, 或比其它未提及的同类公司或产品更好。除差错和疏忽外, 凡专利产品名称均冠以大写字母, 以示区别。

世卫组织已采取一切合理的预防措施来核实本出版物中包含的信息。但是, 已出版材料的分发无任何明确或含蓄的保证。解释和使用材料的责任取决于读者。世卫组织对于因使用这些材料造成的损失不承担责任。

中文翻译由联 Tradas S.A. 若英文版与中文版有任何出入, 应以英文原版为准。

由 Lushomo 设计

目录

致谢	iv
缩略语	v
1.目的和范围	1
2.背景	1
3.血铅水平的测定	2
3.1 单位	2
3.2 血样采集	3
4.用于测定血铅水平的分析方法	4
4.1 实验室方法	4
4.1.1 原子吸收光谱法 (AAS)	4
4.1.2 火焰原子吸收光谱法 (FAAS)	4
4.1.3 电热原子吸收光谱法 (ETAAS) 或石墨炉原子吸收光谱法 (GFAAS)	5
4.1.4 电感耦合等离子体质谱法 (ICP-MS)	5
4.2 阴极溶出伏安法 (ASV)	5
4.2.1 ASV 技术	5
4.2.2 便携式 ASV 仪器	6
4.3 选择适当仪器	7
5. 选择实验室	9
5.1 查找实验室	9
5.2 提供实验室服务以测定血铅浓度	10
6.实验室操作的重要事项	11
6.1 防止外部污染	11
6.2 质量保证和质量控制	12
6.2.1 内部质量控制	12
6.2.2 外部质量评估	12
6.3 质量标准、认证和认可	12
7.案例	13
7.1 铅中毒诊治	13
7.2 暴露和风险评估	14
7.3 筛查和监测	14
7.4 职业健康	14
8.伦理考量	15
9.结论	16
参考文献	17
附录：血铅浓度分析实验室外部质量评估计划	21

致谢

本文件第一版由 Pascal Haefliger 博士编写。世界卫生组织环境、气候变化与健康司 Elena Jordan 和 Joanna Tempowski 进行了修改。以下人员审阅了文件草案, 并提供了宝贵意见, 在此对他们做出的贡献深表感谢:

Kamal Al Hadidi, 国家毒品和毒物信息中心主任(约旦安曼)

Zahra Bayrami, 德黑兰医科大学药学研究所(伊朗伊斯兰共和国德黑兰)

Milena Horvat, Jožef Stefan 研究所环境科学学院院长(斯洛文尼亚卢布尔雅那)

Jan Kuta, 马萨里克大学自然科学学院国家有毒化合物中心和斯德哥尔摩公约区域中心(捷克布尔诺)

Patrick J. Parsons, 纽约州卫生部 Wadsworth 中心环境健康科学部主任和无机化学和核化学实验室主任, (美国奥尔巴尼)

V.V. Pillay, 甘露医学科学研究所分析毒理学和法医 DNA 分型学院院长(印度科钦)

Katerina Sebkova, 国家有毒化合物中心和斯德哥尔摩公约中心主任。马萨里克大学自然科学学院(捷克布尔诺)

以下世界卫生组织工作人员参与了文件的审阅: Irina Zastenskaya, 世界卫生组织欧洲环境与健康中心欧洲区域办公室技术官。

本文件由 John Dawson (肯尼亚内罗毕) 编辑。

支持单位:



世界卫生组织更新本文件的依据为全球环境基金 (GEF) 全面项目 9771: 根据《国际化学品管理战略方针》(SAICM) 关注的新兴化学品政策问题方面的全球最佳实践。该项目由全球环境基金会资助、由联合国环境署实施并由国际化学品管理战略方针秘书处执行。世界卫生组织衷心感谢全球环境基金会为本文件的制定、编辑和设计提供的财政支持。

缩略语

AAS	原子吸收光谱法
ASV	阳极溶出伏安法
CLIA	临床实验室改进修正案
DALY	残疾调整生命年
dL	分升
ETAAS	电热原子吸收光谱法
FAAS	火焰原子吸收光谱法
GFAAS	石墨炉原子吸收光谱法
HEPA	高效微粒空气
ICP-MS	电感耦合等离子体质谱法
ILAC	国际实验室认可合作组织
ISO	国际标准化组织
L	升
μg	微克
μL	微升
μmol	微摩尔
mL	毫升
WHO	世界卫生组织

1.目的和范围

本文件对测定血铅浓度的常用分析方法进行了简要概述。本文件的主要目的是为不是实验室专家但可能需要制定计划以进行人类生物监测研究、开展血铅水平普查和与人类铅暴露评估有关的其它公共卫生行动的公共卫生人员、科研机构和政策制定者提供相关信息。

对每种分析方法的特征,包括其优势和局限性,进行了介绍。本文件重点介绍各类应用和案例,以及选择分析方法时的考虑因素。同时介绍了决定是建立血铅测定实验室服务体系还是进行外包服务时的考虑因素。

本文件的目的是为了对分析方法和操作规程进行详尽的说明,也不是就方法或特定仪器提供具体的建议。可通过其他资源获取关于该课题的详细技术信息 (1)。

2.背景

铅是一种有毒金属,其广泛使用已经在世界很多地方造成了严重的环境污染和健康问题。铅是一种蓄积性有毒物质,对人体多个系统(包括神经系统、血液系统、胃肠系统、心血管、肌肉骨骼和肾脏系统)均有影响。长期影响包括增加罹患高血压、缺血性心脏病和肾脏疾病的风险。儿童尤其容易受到铅的神经毒性影响,即使低水平暴露量也会影响认知发展并导致行为障碍 (2)。这些影响可能会持续终身 (3)。据估计,2017年由于铅暴露带来的长期健康影响造成全球 106 万死亡人数和 2440 万残疾调整生命年 (DALY) 损失,低收入和中等收入国家面临的负担最重 (4)。

近年来,尽管铅在汽油、管道设备和焊料中的使用量有所减少,但仍然存在大量的铅暴露源。包括住宅、学校和其他建筑内部和外部使用的含铅涂料、涂漆玩具、家具、运动场设施及其它尤其是儿童可能接触到的物品。含铅涂料会导致产生受铅污染的室内粉尘,这是导致儿童体内总体铅水

平的主要来源 (5)。其它铅暴露源包括使用含铅的传统疗法;食品掺假或污染;食品容器中使用的含铅陶瓷釉;配水系统中的铅管及其它含铅元件;以及工业排放、采矿、电子废弃物处置及弹药的使用所造成的环境污染。

年幼儿童特别容易受到铅暴露的影响, 因为他们的吸收率约为摄入量的 50% (2)。单次暴露造成的急性铅中毒相对比较罕见, 更常见的是慢性中毒; 但是两种病例的临床中毒症状比较类似。中毒迹象和症状表现不一, 包括厌食、便秘、腹部绞痛、贫血、易怒、嗜睡、肌无力、运动失调、震颤、抽搐和死亡 (2)。

如果没有明确的暴露史, 临床诊断时很难判定是否为铅中毒, 因为中毒的个体可能无任何症状, 且体征和症状 (即使出现) 也相对不明确。血铅浓度测定是诊断铅暴露个体的唯一可靠方法,

因此, 该方法在铅中毒的识别和诊治以及职业性和环境性铅暴露评估方面发挥了重要作用(6)。

尽管其他人体组织和液体, 如毛发、牙齿、骨骼和尿液, 也会反映铅暴露水平, 但是量化全血铅浓度已被广泛视为最有用的筛查和诊断测试工具 (1, 7)。这是因为现有完备的样品采集和分析方法, 以及将血铅浓度与临床疗效和治疗效果挂钩的大量信息。此外, 还可使用经过验证的分析方法以及可靠的血液质量控制措施和参照物质。

3. 血铅水平的测定

最常见的测定血铅浓度的原因包括:

- 例如, 为了确定是否需要针对铅暴露展开积极治疗 识别和隔离暴露源或螯合治疗;
- 确定降低风险措施的有效性;
- 作为健康筛查或监测计划的一部分, 用于识别铅中毒儿童;
- 用于暴露和风险评估, 例如, 与含铅涂料或其他暴露源有关的铅暴露患病率研究;
- 用于职业性监测。

分析目的会影响分析方法的选择, 详见第 7 节。

3.1 单位

报告血铅浓度时常用单位是微克铅每分升血液 ($\mu\text{g}/\text{dL}$)、微克每升 ($\mu\text{g}/\text{L}$) 和微摩尔每升 ($\mu\text{mol}/\text{L}$)。质量单位和摩尔单位之间的换算因数是铅的原子质量: 207.19。换算时一定要注意分母单位——即, 分升还是升。

- 从质量单位到摩尔单位换算时, 所得的值应除以原子质量。
- 从摩尔单位到质量单位换算时, 所得的值应乘以原子质量。

表 1 中列出了一些换算示例。

表 1.在血铅浓度的质量单位与摩尔单位之间换算

微克/分升	微克/升	微摩尔/升
5	50	0.24
45	450	2.17
70	700	3.38

3.2 血样采集

建立样本采集和实验室转移制度时,必须满足特定要求,以确保采集到正确的样本并且样本以完好状态送至实验室。

铅成分普遍存在意味着样本污染风险较高,并且污染可发生在任一阶段:样本采集、存储、运输和处理。因此,应指定一个干净的位置以用于采集和存储样本——在现场采集样本时此点尤为重要。抽血之前必须彻底清洁穿刺部位,以清除任

何受铅污染的表面。样本采集设备和容器,包括针头和封盖必须保持干净。理想情况下,应通过血铅检测认证或至少应进行预筛查,以测量其铅含量 (1, 8)。

可测定静脉或毛细血管血样的血铅浓度。静脉血样采集相对创伤较大,但能更准确地量化体负荷水平。分析静脉血铅水平更加有利于确定暴露情况、诊断病情及决定铅中毒和预后治疗方案。从手指上采集毛细血管血样(或若为婴儿,从足跟采血)相对方便快捷且创伤较小,但是可能会因污染而受到影响(出现假阳性情况)。初次筛查时,可采用毛细血管血样 (1)。因为手指或足跟极有可能接触到被铅污染的媒介,所以彻底清洁血样采集部位尤为重要。

要求经过培训的医疗护理人员进行样本采集。在各种血样采集过程中,均应采取全面防护措施,以防止血源性感染传播。世界卫生组织 (WHO) 的出版物《静脉采血最佳操作指南》为血样采集提供了最佳操作和设备要求相关通用指南 (9)。

4. 用于测定血铅水平的分析方法

测定血铅浓度时, 可采用实验室方法和即时或现场检测方法。这些方法在分析能力(检测限值、准确度和精确度)、成本(购买和维护成本、所需的实验室基础设施、试剂和实验用品)及技术要求(样本制备、校准和技术人员)方面有很大区别。这些因素以及实验室的环境和资源, 将影响方法的选择。有关其它信息, 见下文表 2。

4.1 实验室方法

确定血铅浓度最常用的参考方法是电热原子吸收光谱法(ETAAS)和电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)。也可使用火焰原子吸收光谱法(FAAS), 但是有一些局限性。本文件并未介绍其它临床上不常使用的方法, 如电感耦合等离子体发射光谱法。

4.1.1 原子吸收光谱法(AAS)

原子吸收光谱法(AAS)的原理是不带电的自由气态原子的外层电子与被测元素产生的紫外线或可见光之间相互作用。涂有铅的空心阴极灯发出的光来自激发态铅原子, 其具有可被样本中铅原子吸收的特征波长。光穿过原子化样本, 铅原子吸收一些能量, 从而减少传输到检测器的量。光吸收量(或吸光度)与样本中被分析物的浓度呈线性关系(10)。

进行AAS测定时, 必须先用仪器对含铅样品进行预处理, 从而在仪器光路中产生基态原子的蒸气。这个过程称为原子化, 可通过使用火焰(火焰原子吸收光谱法或FAAS)或电热设备(电热原子

吸收光谱法或ETAAS)实现(11)。尽管FAAS和ETAAS的检测原理比较类似, 但这两个方法在血铅水平测定的适用性方面存在很大区别(例如检测限值、样本规格和样本制备复杂性方面)。

4.1.2 火焰原子吸收光谱法(FAAS)

FAAS通常使用空气-乙炔火焰在2100-2400°C左右的温度条件下将铅原子化(10)。

使用FAAS时所需样本规格和检测限值取决于样本的制备方式和将样本送至火焰中进行原子化的方法。通常, FAAS需要毫升(mL)样本量, 但是较老的微量取样方法, 德尔夫斯取样杯AAS, 则使用50-100微升(μL)的样本规格。其检测限值可达到5微克/分升左右(12, 13)。这种方法已不适用于在低背景血铅浓度低于5微克/分升的情况下的人群筛查。

一些实验室会选择进行双重甚至三重血铅水平分析, 以降低分析的不确定性(8)。这种操作会延长血铅分析的周期。如果结果显示血铅浓度较高, 则至少应使用另一份血样通过二次分析进行验证(1)。

FAAS 已被 ETAAS 广泛替代, ETAAS 仅需使用较少的血样即可确定更低的血铅浓度水平 (8, 10, 11, 14)。

4.1.3 电热原子吸收光谱法 (ETAAS) 或石墨炉原子吸收光谱法 (GFAAS)

大多数 ETAAS 系统采用电加热石墨管进行血样基体热解和铅原子化, 因此该方法也称为石墨炉原子吸收分光光度法 (GFAAS)。热解后的样本被加热到大约 1700°C 以进行铅原子化 (11)。

ETAAS 测定可能会因基体组分导致的光散射和分子吸收而受到严重干扰, 但是通过使用各种方法可减轻此类影响, 包括使用化学改性剂和塞曼背景校正技术 (1, 10, 13)。ETAAS 设备必须由接受过培训的实验室技术人员进行操作。

目前广泛使用 ETAAS 仪器。该类仪器仅需少量样本, 通常为 50-100 微升 (10, 11)。铅成分检测限值以数值偏低的十亿分率表示 (测量单位采用微克/升), 例如, 已介绍一种检测限值为 0.65 微克/升 (0.065 微克/分升) 的方法 (15)。该类仪器可在无人值守下运转。使用自动取样器可提高精确度且样本处理量为每两至四分钟即可处理一份样本 (8, 11, 14)。最初的仪器成本处于中等水平, 但维护和耗材成本相当高 (11)。

4.1.4 电感耦合等离子体质谱法 (ICP-MS)

电感耦合等离子体质谱法 (ICP-MS) 是一项采用电感耦合等离子体源 (一种由电子和正离子构成的极高温电离气体) 将样品离解为其组成原子或离子的多元素技术。从等离子体中提取出离子, 然后将离子送至质谱仪中进行分离并根据质荷比进行测定。电感耦合等离子体通过雾化样本中的相关原子生成离子的效率较高、加上质谱仪的可选择性较高 (通常为可过滤离子的四极质谱仪)、撞击检测器的离子信号大幅扩

增和检测器的背景噪音较低, 导致仪器检测限值非常低 (大多数元素以十亿分率甚至数值偏低的万亿分率表示) (10, 11)。已介绍了一种检测限值为 0.15 微克/升 (0.015 微克/分升) 的方法 (16), 该方法符合临床和人类生物监测需求。

ICP-MS 设备通常需要由经验丰富的实验室技术人员在最高标准要求下进行操作 (1, 11)。

其它方法一次仅可测定一种或少量几种元素, 但 ICP-MS 可通过单个血样 (仅需 50-100 微升) 测定多种元素。对希望测定除铅以外的其他元素的实验室来说, 这是重要的考虑因素。一些 ICP-MS 仪器还可测定样本中铅的同位素比, 这可能有助于确定铅是否来自特定来源。

4.2 阴极溶出伏安法 (ASV)

4.2.1 ASV 技术

阴极溶出伏安法 (ASV) 是一项用于测定血铅浓度的电热技术。进行 ASV 测定时, 必须首先对血样进行处理, 以离子形式释放出红细胞和蛋白质中的铅。在已处理的血样中放入参比电极和汞薄膜石墨电极。然后向汞膜电极施加负电势并持续一段时间, 使样本中的铅和其它阳离子聚集在带负电汞膜电极表面。然后将电势方向逆转以产生不断增强的电荷, 保持该状态几分钟。随着电压达到特定特性的铅电压, 所有铅离子将从电极中释放出来 (溶出), 从而产生可测定的电流。所产生的电流与所释放的铅离子数成正比, 可与校准方案进行比较, 以确定样本中的铅浓度 (1, 10)。

目前已不常使用实验室 ASV 进行血铅浓度的测定。然而, 便携式 ASV 仪器既可在即时和现场检测时使用, 也可安装于实验室中。

4.2.2 便携式 ASV 仪器

采用一次性丝网印刷电极的便携式仪器可用于现场血铅浓度检测。这种可在实验室外开展的测试方式被称为即时或近患者检测或者快速诊断或快速筛查试验。便携式 ASV 仪器可用于铅暴露的筛查(例如, 在儿童健康诊所和移动诊所)以及在难以将血样送至适当参比实验室的场所开展流行病学研究或疫情应对活动(17, 18)。

如第 3.2 节所述, 在实验室以外的环境下使用便携式设备和采集毛细血管血样时, 谨慎避免样本污染非常重要。毛细血管血样的测定结果显示血铅浓度较高(≥ 5 微克/分升)时, 通常建议经认证的实验室开展重复分析以进行验证(1, 17)。因为使用便携式仪器时可快速获得测定结果, 可直接采集静脉血样进行验证性实验室分析。

美国疾病控制与预防中心联合一家私人公司开发了一种被命名为 LeadCare II 的便携式 ASV 仪器, 目前可在市场上购得该仪器。该仪器不需要经验丰富的实验室人员进行操作, 并被美国食品药品监督管理局认定为 CLIA 豁免产品¹(也就是说, 该仪器的复杂程度较低且需要遵循的监管要求也较少)。

通过使用 50 微升毛细血管血样(指尖采集)或静脉血样, LeadCare II 即可在三分钟内测定血铅浓度。提供的一次性使用感应器、样本容器、试剂和校准设备应为生产商提前校准好的一次性用品。可报告的血铅浓度范围是 3.3–65 微克/分升(1, 17)。已使用适当的样本稀释技术成功测定高于操作范围的血铅浓度(19)。

研究表明采用 LeadCare II 设备开展的分析和采用 GFAAS 开展的分析之间有较高的关联性(17)。但是需注意, 据报告, 由于橡皮塞中的化学成分和样本中的铅成分发生反应, 一些真空采集管中采集的静脉血样的血铅浓度测定值低于正常值(20)。因此建议与仪器生产商核实有关样本容器的信息。

也有一些其它的便携式 ASV 品牌, 但在编写文件时尚未确定。

1 美国食品药品监督管理局负责根据其可能导致的公众健康风险将商业市场上出现的体外诊断测试分为三种 CLIA (1988 年临床实验室改进修正案) 监管类别: 高复杂性测试、中等复杂性测试和豁免测试。

4.3 选择适当仪器

仪器的选择取决于分析原因(例如,暴露评估、诊断或筛查)、检测样本的数量、成本限制、精确测量要求以及接受过培训的人员和分析设备的可用性。

实验室方法需要接受过培训的人员,尽管培训程度和所需技能因仪器不同而各不相同。FAAS 系统通常相对容易设置和操作,但是需要一些实验室专业技术。需要测定较低的血铅浓度时尤为如此,因为在这种情况下将会需要更加复杂的操作方案。ETAAS 系统的设置和维护难度相对更高,需要实验室专业技术。ICP-MS 通常需要经验丰富的实验室人员进行操作,以获取更佳的结果和可靠的高质量数据。

即时检测方法操作非常简单,无需接受过培训的实验室人员即可操作。在现场使用以上方法时,需要考虑可能会影响实验可靠性的环境条件并降低其影响。包括环境污染风险、寻找干净场所进行取样和检测的必要性、用于充分清洁测试对象皮肤的清水和肥皂的可用性、分析仪器的温度要求以及电源的可用性和质量。

表 2 汇总了不同分析方法的各种特性。

表 2. 血铅水平测定分析方法概述

方法	优势	局限性
火焰原子吸收光谱法 (FAAS) (11, 12, 14, 15)	<ul style="list-style-type: none"> • 分析时间短(几秒) • 相对容易使用 • 相对干预较少 • 相对较低的资本和运转成本 	<ul style="list-style-type: none"> • 通常需要较大样本规格 • 检测限值相对较高 (5 微克/分升) • 不可无人值守(易燃性气体)
火焰原子吸收光谱法 (ETAAS) (8, 11, 14, 15)	<ul style="list-style-type: none"> • 检测限值较低 (< 1 微克/分升) • 可分析较小样本 (50–100 微升) • 可使用自动取样器, 以便处理多个样本 • 良好的应用记录 • 可无人值守 • 无需制备样本 	<ul style="list-style-type: none"> • 分析工作范围有限 • 需要一些实验室专业技术 • 分析时间较长, 所以样本处理量较低
热感电偶等离子体质谱仪 (ICPMS) (10, 11, 14, 16)	<ul style="list-style-type: none"> • 检测限值非常低 (0.02 微克/分升) • 可分析较小样本 (50–100 微升) • 分析时间非常快 (< 1 分钟) • 分析工作范围较大 • 多元素检测能力, 如果用于处理大量样本, 可能非常经济实惠 • 可通过 ICP-MS 的一些形式开展同位素比值分析, 有助于识别铅的来源 	<ul style="list-style-type: none"> • 采购和运行成本高 • 需要经验丰富的实验室人员 • 分析大量样本的成本低于 ETAAS
便携式 ASV (1, 17)	<ul style="list-style-type: none"> • 较小样本规格 (50 微升) • 可在非实验室地点使用 • 采用手指取样(毛细血管样本), 尽管也可使用静脉样本 • 操作简单, 无需经验丰富的实验室人员 • 采购和运行成本低 • 可快速获得结果 • 准确度与实验室方法相当 	<ul style="list-style-type: none"> • 分析工作范围有限 • 超过 5 微克/分升时, 应采用复杂性较高的实验室方法进行验证 • 样本污染风险较高 • 使用一些真空采血管采集的静脉血样存在结果偏差过低的风险 (20)

5. 选择实验室

如上文描述, 血铅浓度可通过实验室方法或即时检测设备进行测定。筛查时即时检测设备非常有用。即时检测设备还可在资源缺乏且没有专业实验室可用的环境下引导诊治中毒人员 (18)。在此情况下, 使用单独的样本操作方案验证结果, 即将部分样本送至参比实验室, 并比较所获得的结果 (19)。

大多数情况下优先采用高复杂度的方法进行参比实验室分析。选择实验室时需注意一些考虑因素。最重要的一点是所提供服务的質量。选择经过国家认可机构认可或参与血铅分析外部质量评估或能力验证项目的实验室(见第 6.2 节)有利于提高所得分析结果的准确度和可靠性。如果需要随着时间的推移或基于不同地理区域比较结果, 则做到此点非常必要。第 6 节中提供了有关实验室质量(包括认可)的更多信息。

另一个因素是实验室使用的仪器以及是否能够基于规定的检测限值提供具有必要准确度和精确度的分析。如果希望通过同位素比值分析检测和识别环境中的暴露源, 则需要可采用 ICP-MS 进行分析并在同位素比值测定方面有工作经验的实验室。

其他重要考虑因素包括:

- 处理规定样本数量的能力
- 分析成本, 包括运输成本
- 周转时间。

5.1 查找实验室

通常可在国家或州认可机构的网站上找到有关认可实验室的信息。国家认可机构的联系方式详见国际实验室认可合作组织 (ILAC) 网站², 该网站还列出了签署 ILAC 相互承认协议的机构。该网站还提供有关区域认可合作机构的信息。

如果认可实验室不可用, 则能够证明符合质量管理体系要求并定期参加能力验证计划的实验室也可提供可靠准确的分析。

如果某个国家并无可按照规定标准操作的实验室, 可能需要将样本送至国外的实验室。但是长期来看, 应考虑在该国至少建立一所经认可的实验室。

2 <https://ilac.org/signatory-search>.

5.2 提供实验室服务以测定血铅浓度

提供实验室服务需要投入大量资源。下文介绍了决定是否建立实验室时需要考虑的几点因素。

- 是否有足够的工作量来证明建立实验室的合理性?
- 国内或国外是否有其他实验室能够在可接受的时间范围内以合理的价格提供此项服务?
- 现有的某个实验室是否可将血铅分析加入其服务项目列表?
- 为了建立实验室, 需要购置哪些类型的仪器(如 ETAAS、ICP-MS)?
- 是否已提供或必须购买必要的分析设备?
- 是否仍然有人为现有设备提供维护和维修支持服务?若否, 则实验室人员需要具备额外技能方可保证设备操作达到所需标准。
- 是否有接受过适当培训的充足实验室人员来操作所选的仪器?
- 是否有足够的资金来购买设备、承担其安装、维护和操作成本, 包括购买经过认证的参照物质和更换耗材(例如灯、管和气体)?
- 是否具有提供可靠、稳定的电力和供水的合适场所来建立实验室?是否可以对现有建筑物进行改造或者是否有必要建立一个新实验室?
- 实验室是否会寻求认可或其他表明其符合质量管理制度的方式, 是否有可用资源提供支持?

6. 实验室操作的重要事项

在分析毒理学上, 如果未采取措施防止样本污染、样本处理和存放不当、设备使用不当或未遵守分析操作方案, 即使最精细准确的设备也会出现一些错误结果。可通过实施适当的质量管理制度最大程度减少此类潜在问题, 参见下文讨论。此外, 一些组织 (1, 8) 和政府机构已制定完善的血铅测试相关实验室操作指南 (21)。

6.1 防止外部污染

如前面章节所述, 铅是一种无处不在的金属, 可以通过多种途径污染样本。在样本采集、储存、运输以及样品处理过程中均可发生污染 (8)。因此, 样本采集和处理质量对准确测定血铅水平至关重要。如第 3.2 节所述, 采集样本时需要采取预防措施, 包括使用预筛查或经认证的取样设备。因为在实验室中将样本分量会引起污染风险, 最佳的做法是直接在采血管中分析样本。如果需要进行分量, 建议使用经过预先筛查的塑料管或低温储存管, 不得进行酸洗。如果操作方式不当, 酸洗会引起意外铅污染。³

如果实验室还分析环境样本, 该分析也应在生物样本分析区域以外的单独区域进行。样本制备应在专用于血铅分析的洁净环境中进行。若可能, 应在层流生物学安全工作柜 (如 II 级 B2 类工作柜) 内制备样本。⁴ 如果没有可用的工作柜, 应考虑空气传播污染的可能性并采取周期性控制措施进行检测。任何情况下均应采取措施测定和最大程度降低实验室和分析期间存放开放样本储存管的区域的空气微粒数量 (如灰尘或室外颗粒)。定期使用湿拖把擦地板和使用湿抹布擦拭实验室表面有助于最大程度减少此类污染源。仪器自动取样器应带防尘罩, 并筛查自动取样器试剂瓶是否被铅污染, 以确定不含铅试剂瓶供应商 (8)。

通过采取适当的质量保证措施可显著降低污染风险 (1, 8)。不同的分析方法有各自专门的操作方案, 包括生产商和标准化机构提供的操作方案, 必须严格遵守所有方案。

3 Jan Kuta, 人际传播, 2020 年 4 月。

4 II 级 B2 类工作柜可保护样本、使用者和环境的安全。此类工作柜使用高效微粒空气 (HEPA) 过滤器对空气进行过滤, 然后以每秒 0.5 米的最低流入速度抽送至试验箱中。试验箱中, 空气以层流方式循环, 然后将空气排空, 确保第二个 HEPA 过滤阶段没有空气循环。

6.2 质量保证和质量控制

质量保证和质量控制是质量管理体系的组成部分。质量管理涉及实验室操作各个方面的整合, 包括组织结构、流程、规程和资源, 以确保向用户提供高质量的服务并且实验室结果可靠和具有可重现性 (22)。WHO 已出版实验室质量管理指南和培训资料 (22, 23)。

质量保证涉及流程和规程。其涵盖利用科学和技术上合理的实践进行实验室研究, 包括样品的选择、采集、储存和运输以及结果的记录、报告和对结果的解释。另外, 还包括为提高研究可靠性而进行的培训和管理。质量保证包括对分析方法进行初始评估, 以评估其可操作性能力和真实性, 包括线性、特异性、恢复率、校准标准、空白区域、检测限值和定量及稳健性限制 (24)。

质量控制是指控制检测性能和检测结果验证中的误差。它包括两个部分: 内部质量控制和外部质量评估。

6.2.1 内部质量控制

内部质量控制是实验室工作人员采用的一套规程, 可持续评估产生的结果, 以确定结果是否准确、精确, 并且足以发布可靠的结果。例如, 根据某个质量控制措施, 每日测定铅含量特征明确的对照血样, 以检查分析方法的性能 (1, 8)。另一个示例为使用参照物质 (也称为参照标准), 以验证和校准分析方法并创建质量控制图。可提供经过认证的血铅分析用参照物质。

标准检测用操作规程通常应包括对质量控制措施的描述。

6.2.2 外部质量评估

外部质量评估是指通过外部机构客观评审实验室表现的制度。其涉及的实验室接收铅含量未知的待测“盲”样。然后将分析结果与实际铅浓度进行比较, 直到分析完成后才显示出来。还可将结果与其他以能力验证的方式参与计划的实验室的结果进行比较 (25)。外部质量评估计划通常每年包括几个测试周期。

也有许多关于血铅水平的外部质量评估或能力验证计划。附录中列出了详细选择清单。

6.3 质量标准、认证和认可

质量标准、认证和认可是确保和体现实验室质量的重要措施 (22)。

标准文件——经协商一致制定并经公认机构批准——提供用于各类活动及其结果的指南或特征, 可用作一般用途也可重复使用, 目的是在给定范围内获得最佳秩序。标准可以为国家标准或国际标准 (22)。与测定血铅水平的实验室相关的国际标准示例为由临床和实验室标准委员会 (1) 和国际标准化组织 (ISO) 制定的标准 (26, 27)。在实验室测定血铅浓度的情况下, 两个关联的 ISO 标准为 ISO 15189:2012 医学实验室质量和能力要求以及 ISO/IEC 17025:2017 实验室检测和校准能力常规要求 (26, 27)。

认证是独立机构以书面形式保证流程或服务符合特定要求的规程。这涉及由认证机构的代表对实验室进行检查,以寻找符合标准、政策、规程、要求和法规的证据。主要评估是为了检查规程和文件是否实际存在 (22)。

认可是权威机构正式承认实验室有能力执行特定任务(例如量化血铅水平)的规程。在这种情况下,将由认可机构的代表对实验室进行检查,除

了寻找符合标准、政策、规程、要求和法规的证据外,该代表还会通过观察实验室工作人员来评估能力。认可机构还可以设定实验室必须遵循的标准,例如 ISO 17025:2017。

7. 案例

本节介绍一些要求进行血铅测定的典型案例,包括对一些影响分析方法选择的考虑因素的建议。

7.1 铅中毒诊治

血铅浓度的测定对疑似铅中毒案例的诊断和指导后续治疗(如螯合治疗的使用)至关重要。可能需要对单独患者(例如,吞下渔坠或含铅涂料碎片的儿童或服用受铅污染中药的成年人)或患者群体(例如,由采矿或冶炼作业带来的环境污染所造成的铅中毒事件)进行血铅浓度测定。

为实现此目的,必须保证快速提供测定结果,尤其是在暴露程度很严重,已构成生命威胁的情况下。通常不要求较低的量化限值,但是必须保证准确度和精确度。因此更适合采用实验室方法。发生集体性中毒事件时,使用便携式 ASV 设备有助于将患者快速分类;但是应采用基于 ETAAS 或 ICP-MS 的方法通过实验室分析验证阳性结果。

经验表明,在资源缺乏且不具备实验室分析条件的环境下发生集体中毒事件时可使用便携式 ASV 仪器帮助诊治患者。在此情况下,应特别注意以避免样本污染,使用静脉样本进行分析,并定期将部分血样送至国外参比实验室以验证结果 (18)。因为血铅浓度通常较高并超出所用设备的操作范围,所以分析前制定了相应的血样稀释方法并进行了验证 (19)。

7.2 暴露和风险评估

作为健康风险评估的一部分, 可能要求可能接触到铅的人群(如铅加工厂附近的社区居民)进行血铅浓度测定。健康风险评估包括实施暴露评估步骤以测定铅暴露程度、频率和周期以及暴露人群的数量和特征。美国疾病控制与预防中心已出版关于开展此类研究的指南(28)。尽管许多生物指标可用于评估人类铅暴露情况, 但血铅浓度测定是经过验证且使用范围最广的最佳方法(7)。

一些国家开展周期性全国人类生物监测调查, 以评估接触一系列化学品(包括铅)的情况。示例包括由加拿大、德国和美国开展的调查。此外, 欧盟当前正在开展人类生物监测项目(29)。通过多轮调查, 发现总体血铅浓度水平有所下降。例如在美国, 最新几何平均值为 1.12 微克/分升(2009/2010 年度)且第 95 个百分位值为 3.34 微克/分升, 相比之下, 1999/2000 年度的这两个值分别为 1.66 微克/分升和 5.0 微克/分升(30)。在加拿大, 最新几何平均值为 0.93 微克/分升(2016/2017 年度)且第 95 个百分位值为 2.5 微克/分升, 相比之下, 2009/2011 年度的这两个值分别为 1.2 微克/分升和 3.2 微克/分升(31)。

执行暴露评估时, 需要采用具有较高准确度和精确度(能够准确比较未来或过去测定结果)和较低检测限值(用于测定较低暴露水平)的分析方法, 如 ETAAS 或 ICP-MS。ICP-MS 还可使用同位素比值分析, 以识别环境中的暴露源(32)。

7.3 筛查和监测

例如在法国和美国, 许多国家公共卫生机构提出了有关筛查和监测儿童铅暴露情况的建议(33, 34)。这些计划可面向特定年龄的全部儿童或仅面向被认为处于危险境地的儿童。这些计划规定了表明发生铅暴露的血铅浓度阈值(例如 5 微克/分升)和为识别并阻断暴露源所应采取的行动。

出于监测目的, 最好采用具有较高准确度和精确度以及较低检测限值的实验室方法。出于筛查目的, 可采用便携式 ASV 仪器, 以提供低成本快速方法。但是, 对于超出相关管辖范围行动阈值的结果, 应通过实验室分析进行验证。

7.4 职业健康

血铅浓度的测定通常是对从事接触铅行业的工人进行的常规监测的一部分。在许多国家, 法律规定应定期监测此类工人的血铅浓度, 同时还要求血铅浓度超出特定值的人员必须停职或离职, 以免进一步暴露。不同国家的阈值规定各不相同。

在这种情况下, 需要具有较高准确度和精确度的方法。所需的检测限值取决于管辖范围, 但是目前可能采用精度低至 5 微克/分升的方法比较合适。

8. 伦理考量

开展任何类型的监测或暴露评估研究时，必须遵守国家和国际道德伦理原则以及适用于此类行动的国家法律框架。应在开始取样之前获得国家伦理委员会的研究批准。

应以维护人权、尊重、保护和公平对待研究对象和社区的方式开展研究。此外，研究还应具有科学合理性，并预期会提供必要时可发挥重要作用的有用信息。下文中列出了一些重要要求 (35)。

- 研究目的应符合法律要求，且应明确定义并向全部参与人员详细解释研究目的，包括提供血样的研究对象。
- 应获得研究对象的书面知情同意。
- 知情同意需提供以下信息：
 - 研究或调查目的；
 - 目标人群和招募方式；
 - 可能对参与者带来的风险和益处；
 - 伦理委员会批准研究或调查操作方案；
 - 任何时候拒绝同意或撤回同意的权利，无需说明原因并不得有任何形式的歧视；
- 参与者获取个人结果和决定是否希望了解其个人结果的权利；
- 较高血铅浓度处理规程；
- 研究或调查数据接收者；
- 确保个人数据保密性的措施；
- 国家数据保护法规中规定的权利。

告知个体结果时，应同时解释结果的健康影响、是否需要进一步评估或干预以及如何进一步评估或干预。应以专业的方式通过有此类沟通经历的人员向参与者传达检测结果。应在研究的计划阶段考虑进一步开展后续工作的潜在需求和提供方式。

9. 结论

铅暴露很常见, 尤其是在暴露源监管较差的国家。因为铅暴露对健康有害并且会造成终生影响, 尽快识别暴露人员并采取必要的预防和缓解措施很重要。血铅浓度测定是最广泛使用的识别铅暴露的方法, 且能够进行此类分析对公共健康、职业健康和铅中毒临床诊治非常重要。理想情况下, 各国均应建有可量化血铅水平的经认可或专业参比实验室。

可提供有助于筛查铅暴露的即时检测设备。尽管用于极端情况下指导临床管理, 但是该用途应通过实验室测量进行验证。

建立和维护开展血铅分析的实验室服务需要大量投资和资源, 但相同分析设备可用于量化其他

待测定物质, 如汞。因此, 或许可创建商务案例以成立实验室或将服务添加至现有实验室中。或者可请求其他地方(当地或国外)的合适实验室提供服务。

参考文献

1. Measurement procedures for the determination of lead concentrations in blood and urine: approved guideline, 2nd edition. CLSI document C40-A2. Wayne, PA, United States of America: Clinical and Laboratory Standards Institute; 2013.
2. Childhood lead poisoning. Geneva: World Health Organization; 2010 (<https://apps.who.int/iris/handle/10665/136571>, accessed 10 July 2020).
3. Reuben A, Caspi A, Belsky DW, Broadbent J, Harrington H, Sugden K et al. Association of childhood blood lead levels with cognitive function and socioeconomic status at age 38 years and with IQ change and socioeconomic mobility between childhood and adulthood. *JAMA*. 2017; 317(12):1244–51. doi:10.1001/jama.2017.1712.
4. GBD Compare. Global deaths and DALYs attributable to lead exposure. Seattle: Institute for Health Metrics and Evaluation, University of Washington; 2018 (<http://vizhub.healthdata.org/gbd-compare>, accessed 10 July 2020).
5. Lanphear BP, Matte TD, Rogers J, Clickner RP, Dietz B, Bornschein RL et al. The contribution of lead-contaminated house dust and residential soil to children’s blood lead levels: a pooled analysis of 12 epidemiologic studies. *Environmental Research*. 1998;79:51–68 (<https://semspub.epa.gov/work/07/30022858.pdf>, accessed 10 July 2020).
6. Braithwaite RA, Brown SS. Clinical and sub-clinical lead poisoning: a laboratory perspective. *Human Toxicology*. 1988;7:503–13. doi:10.1177/096032718800700518.
7. Barbosa F Jr, Tanus-Santos JE, Gerlach RF, Parsons PJ. A critical review of biomarkers used for monitoring human exposure to lead: advantages, limitations, and future needs. *Environmental Health Perspectives*. 2005;113(12):1669–74. doi:10.1289/ehp.7917.
8. The lead laboratory. In: Screening young children for lead poisoning: guidance for state and local public health officials. Atlanta, GA, United States of America: United States Centers for Disease Control and Prevention; 1997: Appendix C1 (<http://www.cdc.gov/nceh/lead/publications/screening.htm>, accessed 10 July 2020).
9. Guidelines on drawing blood: best practices in phlebotomy. Geneva: World Health Organization; 2010 (<https://apps.who.int/iris/handle/10665/44294/>, accessed 10 July 2020).
10. Flanagan RJ, Taylor AA, Watson ID, Whelpton R. Fundamentals of analytical toxicology. Chichester: John Wiley & Sons Ltd; 2007.
11. AAS, GFAAS, ICP or ICP-MS? Which technique should I use? An elementary overview of elemental analysis. Franklin, MA, United States of America: Thermo Elemental; 2001 (<http://oliver.chemistry.ucsc.edu/122/Lab5%20Handout.pdf>, accessed 10 July 2020).
12. Lead in blood and urine: Method 8003, Issue 2. In: Manual of analytical methods, 4th edition. Atlanta, GA, United States of America: National Institute for Occupational Safety and Health; 1994 (<https://www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/pdfs/8003.pdf>, accessed 10 July 2020).

13. Parsons PJ, Slavin W. A rapid Zeeman graphite-furnace atomic-absorption spectrometric method for the determination of lead in blood. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*. 1993;48(6–7):925–39 ([https://doi.org/10.1016/0584-8547\(93\)80094-B](https://doi.org/10.1016/0584-8547(93)80094-B), accessed 10 July 2020).
14. *Atomic spectroscopy: a guide to selecting the appropriate technique and system*. Waltham, MA, United States of America: Perkin Elmer Inc.; 2013 (https://www.perkinelmer.com/lab-solutions/resources/docs/BRO_WorldLeaderAAICPMSICPMS.pdf, accessed 10 July 2020).
15. Kummrow F, Silva FF, Kuno R, Souza AL, Oliveira PV. Biomonitoring method for the simultaneous determination of cadmium and lead in whole blood by electrothermal atomic absorption spectrometry for assessment of environmental exposure. *Talanta*. 2008;75:246–52 (<https://doi.org/10.1016/j.talanta.2007.11.003>, accessed 10 July 2020).
16. Tatsuta N, Nakai K, Iwai-Shimada M, Mizutani F, Murata K, Chisaki Y et al. A methodological consideration for blood lead concentrations obtained from the earlobe in Japanese adults occupationally unexposed to lead. *Environmental Health and Preventive Medicine*. 2017;22:78. doi:10.1186/s12199-017-0685-9.
17. *Guidelines for measuring lead in blood using point of care instruments*. Atlanta, GA, United States of America: Advisory Committee for Childhood Lead Poisoning Prevention of the United States Centers for Disease Control and Prevention; 2013 (https://www.cdc.gov/nceh/lead/ACCLPP/20131024_POCguidelines_final.pdf, accessed 10 July 2020).
18. Thurtle N, Grieg J, Cooney L, Amitai Y, Ariti C, Brown MJ et al. Description of 3180 courses of chelation with dimercaptosuccinic acid in children 5 years with severe lead poisoning in Zamfara, northern Nigeria: a retrospective analysis of programme data. *PLOS Medicine*. 2014;11(10):e1001739. doi:10.1371/journal.pmed.1001739.
19. Neri AJ, Roy J, Jarrett J, Pan Y, Dooyema C, Caldwell K et al. Analysis of a novel field dilution method for testing samples that exceed the analytic range of point-of-care blood lead analyzers. *International Journal of Environmental Health Research*. 2014;24(5):418–28. doi:10.1080/09603123.2013.857390.
20. FDA warns against using Magellan Diagnostics LeadCare testing systems with blood obtained from a vein: FDA safety communication. Washington (DC): United States Food and Drug Administration; 17 May 2017 (<https://www.fda.gov/medical-devices/safety-communications/fda-warns-against-using-magellan-diagnostics-leadcare-testing-systems-blood-obtained-vein-fda-safety>, accessed 10 July 2020).
21. *Adopted revision to blood lead standards*. New York: New York State Department of Health; 2016 (https://www.wadsworth.org/sites/default/files/WebDoc/BLLE_2016_adopted_082016.pdf, accessed 10 July 2020).
22. *Laboratory quality management system: handbook, version 1.1*. Geneva: World Health Organization; 2011 (<https://apps.who.int/iris/handle/10665/44665>, accessed 10 July 2020).

23. Laboratory quality management system training toolkit. Geneva: World Health Organization; 2009 (https://www.who.int/ihr/training/laboratory_quality/doc/en/, accessed 10 July 2020).
24. Biological monitoring of chemical exposure in the workplace: guidelines, volume 1. Geneva: World Health Organization; 1996 (<https://apps.who.int/iris/handle/10665/41856>, accessed 10 July 2020).
25. Assessment of prenatal exposure to mercury: standard operating procedures. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2018 (<http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/chemical-safety/publications/2018/assessment-of-prenatal-exposure-to-mercury-standard-operating-procedures-2018>, accessed 10 July 2020).
26. ISO 15189:2012. Medical laboratories – requirements for quality and competence. Geneva: International Organization for Standardization; 2012 (<https://www.iso.org/standard/56115.html>, accessed 10 July 2020).
27. ISO/IEC 17025:2017. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. Geneva: International Organization for Standardization; 2005 (<https://www.iso.org/standard/66912.html>, accessed 10 July 2020).
28. Hodge J, Nielsen J, Dignam T, Brown MJ. Small area surveillance to estimate prevalence of childhood blood and environmental lead levels. Atlanta, GA, United States of America: United States Centers for Disease Control and Prevention; 2016 (https://www.cdc.gov/nceh/lead/BLL_PrevalenceStudy_TrainingManual_Final_508.pdf, accessed 10 July 2020).
29. Rudnai P. Lead. In: Scoping documents for the second round priority substances. Deliverable Report D4.6, HBM4EU project. Brussels: European Commission; 2019 (https://www.hbm4eu.eu/wp-content/uploads/2017/03/HBM4EU_D4.6_Scoping_Documents_2nd_priority_substances_v2.0.pdf, accessed 10 July 2020).
30. Fourth national report on human exposure to environmental chemicals: updated tables, January 2019, volume 1. Atlanta, GA, United States of America: United States Centers for Disease Control and Prevention; 2019 (https://www.cdc.gov/exposurereport/pdf/FourthReport_UpdatedTables_Volume1_Jan2019-508.pdf, accessed 10 July 2020).
31. Fifth report on human biomonitoring of environmental chemicals in Canada. Ottawa: Health Canada; 2019 (<https://www.canada.ca/en/health-canada/services/environmental-workplace-health/reports-publications/environmental-contaminants/fifth-report-human-biomonitoring.html>, accessed 10 July 2020).
32. Komárek M, Ettler V, Chrastný V, Mihaljevič M. Lead isotopes in environmental sciences: A review. *Environment International*. 2008;34:562–77. doi:10.1016/j.envint.2007.10.005.
33. Détermination de nouveaux objectifs de gestion des expositions au plomb: synthèse et recommandations [Determination of new lead exposure management objectives: summary and recommendations]. Paris: Haut Conseil de la santé publique; 2014 (<https://www.hcsp.fr/explore.cgi/avisrapportsdomaine?clefr=444>, accessed 10 July 2020).

34. Low level lead exposure harms children: a renewed call for primary prevention. Atlanta, GA, United States of America: Advisory Committee on Childhood Lead Poisoning Prevention of the United States Centers for Disease Control and Prevention; 2012 (http://www.cdc.gov/nceh/lead/acclpp/final_document_030712.pdf, accessed 10 July 2020).
35. Assessment of prenatal exposure to mercury: human biomonitoring survey – the first survey protocol (http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0010/386893/survey-mercury-eng.pdf, accessed 10 July 2020).

附录：

血铅浓度分析实验室外部质量评估计划

表 A1.1 介绍了有关提供血铅水平测定外部质量评估服务的组织数量的信息。其中一些组织提供国际服务和全国服务。服务清单并不代表世界卫生组织的认可。

国家/区域	计划或组织	网站 ⁵
加拿大	魁北克多元素外部质量评估计划 (QMEQAS)	https://www.inspq.qc.ca/en/ctq/eqas/qmeqas/description
欧洲	欧洲 EQAS 职业和环境实验室医学组织者网络	http://www.trace-elements.eu/default.aspx
德国	德国生物材料分析用外部质量评估计划 埃尔朗根-纽伦堡大学大学职业、社会和环境 医学研究所和门诊部	http://www.g-eqas.de/
西班牙	Programa Interlaboratorios de Control de Calidad de Plomo en Sangre 【血铅水平质量控制跨实验室计划】 Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo 【国家职业安全和卫生研究所】	https://www.insst.es/plomo-en-sangre.-picc-pbs
英国	英国国家外部质量评估系统	http://www.ukneqas.org.uk
	吉尔福德 Surrey 病理研究中心微量元素外部质量评估计划	http://www.surreyeqas.org.uk/trace-elements-teqas/

国家/ 区域	计划或组织	网站 ⁵
美国	能力验证 美国病理学院	http://www.cap.org/web/home/lab/proficiency-testing?_adf.ctrl-state=drowmm178_74&_afLoop=366112906284229
	毒理检测能力验证 宾夕法尼亚州卫生部实验室管理局化学和毒理学分部	http://www.health.pa.gov/Your-Department-of-Health/Offices%20and%20Bureaus/Laboratories/Pages/Chemistry/Proficiency-Testing.aspx#.WIsJ2KmkpSE
	纽约州全血、尿液和血清中微量元素生物监控能力验证计划 纽约州卫生部 Wadsworth 中心	https://www.wadsworth.org/programs/ehs/inorganic-analytical-chem/trace-elements
	能力验证 威斯康星州卫生实验室毒理学分部	http://www.slh.wisc.edu/proficiency/
	铅和多元素检测能力验证项目 (LAMP) 实验室质量保证和标准化项目 美国疾病控制和预防中心	http://www.cdc.gov/labstandards/lamp.html

如需了解更多信息, 请联系:
Department of Environment, Climate Change
and Health (ECH)
世界卫生组织
20 Avenue Appia
CH-1211 Geneva 27
Switzerland
电子邮箱: ipcsmail@who.int

