

دليل موجز عن الطرق التحليلية لقياس كمية الرصاص في الدم

الطبعة الثانية

دليل موجز عن الطرق التحليلية لقياس كمية الرصاص في الدم

الطبعة الثانية

دليل موجز عن الطرق التحليلية لقياس كمية الرصاص في الدم، الطبعة الثانية
[Brief guide to analytical methods for measuring lead in blood, second edition]

ISBN 978-92-4-001676-7 (نسخة الإلكترونية)

ISBN 978-92-4-001677-4 (نسخة مطبوعة)

© منظمة الصحة العالمية 2020

بعض الحقوق محفوظة. هذا المصنف متاح بمقتضى ترخيص المشاع الإبداعي «نسب المصنف - غير تجاري - المشاركة بالمثل 3.0 لفائدة المنظمات الحكومية الدولية»

(CC BY-NC-SA 3.0 IGO; <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo/deed.ar>)

وبمقتضى هذا الترخيص يجوز أن تسخو المصنف وتعيدوا توزيعه وتحوروه للأغراض غير التجارية، وذلك شريطة أن يتم اقتباس المصنف على النحو الملائم كما هو مبين أدناه. ولا ينبغي في أي استخدام لهذا المصنف الإيحاء بأن المنظمة (WHO) تعتمد أي منظمة أو منتجات أو خدمات محددة. ولا يُسمح باستخدام شعار المنظمة (WHO). وإذا قمتم بتعديل المصنف فيجب عندئذٍ أن تحصلوا على ترخيص لمصنّفكم بمقتضى نفس ترخيص المشاع الإبداعي (Creative Commons licence) أو ترخيص يعادله. وإذا قمتم بترجمة المصنف فينبغي أن تدرجوا بيان إخلاء المسؤولية التالي مع الاقتباس المقترح: "هذه الترجمة ليست من إعداد منظمة الصحة العالمية (المنظمة (WHO)). والمنظمة (WHO) غير مسؤولة عن محتوى هذه الترجمة أو دقتها. ويجب أن يكون إصدار الأصل الإنكليزي هو الإصدار الملزم وذو الحجية".

ويجب أن تتم أية وساطة فيما يتعلق بالمنازعات التي تنشأ في إطار هذا الترخيص وفقاً لقواعد الوساطة للمنظمة العالمية للملكية الفكرية (<http://www.wipo.int/amc/en/mediation/rules>).

الاقتباس المقترح. دليل موجز عن الطرق التحليلية لقياس كمية الرصاص في الدم، الطبعة الثانية
[Brief guide to analytical methods for measuring lead in blood, second edition]
جنيف: منظمة الصحة العالمية: 2020. الترخيص: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

بيانات الفهرسة أثناء النشر. بيانات الفهرسة أثناء النشر متاحة في الرابط <http://apps.who.int/iris>.

المبيعات والحقوق والترخيص. لشراء مطبوعات المنظمة (WHO) انظر الرابط <http://apps.who.int/bookorders>. ولتقديم طلبات الاستخدام التجاري والاستفسارات الخاصة بالحقوق والترخيص انظر الرابط <http://www.who.int/about/licensing>.

مواد الطرف الثالث. إذا كنتم ترغبون في إعادة استخدام مواد واردة في هذا المصنف ومنسوبة إلى طرف ثالث، مثل الجداول أو الأشكال أو الصور فإنكم تتحملون مسؤولية تحديد ما إذا كان يلزم الحصول على إذن لإعادة الاستخدام هذه أم لا، وعن الحصول على الإذن من صاحب حقوق المؤلف. ويتحمل المستخدم وحده أية مخاطر لحدوث مطالبات نتيجة انتهاك أي عنصر يملكه طرف ثالث في المصنف.

بيانات عامة لإخلاء المسؤولية. التسميات المستعملة في هذا المطبوع، وطريقة عرض المواد الواردة فيه، لا تعبر ضمناً عن أي رأي كان من جانب المنظمة (WHO) بشأن الوضع القانوني لأي بلد أو أرض أو مدينة أو منطقة أو سلطات أي منها أو بشأن تحديد حدودها أو تخومها. وتشكل الخطوط المنقوطة على الخرائط خطوطاً حدودية تقريبية قد لا يوجد بعد اتفاق كامل بشأنها.

كما أن ذكر شركات محددة أو منتجات جهات صانعة معينة لا يعني أن هذه الشركات والمنتجات معتمدة أو موصى بها من جانب المنظمة (WHO)، تفضيلاً لها على سواها مما يماثلها في الطابع ولم يرد ذكره. وفيما عدا الخطأ والسهو، تميز أسماء المنتجات المسجلة الملكية بالأحرف الاستهلاكية (في النص الإنكليزي).

وقد اتخذت المنظمة (WHO) كل الاحتياطات المعقولة للتحقق من المعلومات الواردة في هذا المطبوع. ومع ذلك فإن المواد المنشورة تُوزع دون أي ضمان من أي نوع، سواء أكان بشكل صريح أم بشكل ضمني. والقارئ هو المسؤول عن تفسير واستعمال المواد. والمنظمة (WHO) ليست مسؤولة بأي حال عن الأضرار التي قد تترتب على استعمالها.

ترجمة Tradas S.A. في حالة حدوث أي تعارض بين النسخة الإنكليزية والنسخة العربية تكون نسخة الأصل الإنكليزي هي النسخة الملزمة وذات الحجية.

تصميم شركة Lushomo

المحتويات

iv	شكر وتقدير
v	الاختصارات
1	1. الغرض والنطاق
1	2. لمحة عامة
2	3. قياس كمية الرصاص في الدم
2	3.1 الوحدات
3	3.2 سحب عينات الدم
4	4. الطرق التحليلية المتبعة في قياس كمية الرصاص في الدم
4	4.1 الطرق المخبرية
4	4.1.1 مطياف الامتصاص الذري (AAS)
4	4.1.2 مطياف الامتصاص الذري المعتمد على اللهب (FAAS)
5	4.1.3 مطياف الامتصاص الذري الكهروحراري (ETAAS)، أو مطياف الامتصاص الذري القائم على فرن الجرافيت (GFAAS)
5	4.1.4 مطياف الكتلة البلازمي المقرون بالتحريض (ICP-MS)
5	4.2 مقياس الجهد الكهربائي للتجريد الأنودي (ASV)
5	4.2.1 تقنية ASV
6	4.2.2 الجهاز المحمول لطريقة ASV
7	4.3 اختيار الأدوات الملائمة
9	5. اختيار مختبر
9	5.1 إيجاد المختبر
10	5.2 تأسيس خدمة مختبرية لقياس تراكيزات الرصاص في الدم
11	6. جوانب مهمة في ممارسات المختبر
11	6.1 الوقاية من التلوث الخارجي
12	6.2 ضمان الجودة ومراقبتها
12	6.2.1 مراقبة الجودة الداخلية
12	6.2.2 تقييم الجودة الخارجية
12	6.3 معايير الجودة والشهادات والاعتماد
13	7. السيناريوهات
13	7.1 التعامل مع التسمم بالرصاص
14	7.2 تقييم التعرض والخطر
14	7.3 الفحص والإشراف
14	7.4 الصحة المهنية
15	8. الاعتبارات الأخلاقية
16	9. الاستنتاجات
17	المراجع
21	ملحق: المخططات الخارجية لتقييم الجودة للمعامل التي تحقق الرصاص في الدم

شكر وتقدير

تولى كتابة الإصدار الأول من هذا المستند دكتور باسكال هيفليغر. وأشرف على مراجعته إينا جاردان وجوانا تيمبوسكي، قسم البيئة والتغير المناخي والصحة، بمنظمة الصحة العالمية. وقام الأشخاص التالي ذكرهم بمراجعة المستند وترك تعليقات على المستند، ونحن نشكرهم للغاية لمساهماتهم:

كمال الحديدي، مدير المركز الوطني لمعلومات العقاقير والسموم، عمان، الأردن

زهرة البيرامي، معهد العلوم الصيدلانية، جامعة طهران للعلوم الطبية، طهران، جمهورية إيران الإسلامية

ميلينا هورفات، رئيسة قسم العلوم البيئية، معهد جوزيف ستيفان، ليوبليانا، سلوفينيا

جان كوتا، المركز الوطني للمركبات السمية في المركز الإقليمي لاتفاقية ستوكهولم، كلية العلوم، جامعة ماساريك، برونو، التشيك

باتريك جيه بارسونز، مدير قسم علوم الصحة البيئية ورئيس مختبر الكيمياء غير العضوية والنووية، مركز وادزورث، وزارة الصحة في ولاية نيويورك، ألباني، الولايات المتحدة الأمريكية

ف. ف. بيلاي، رئيس قسم علم السميات التحليلي والبصمة الوراثية، معهد أمرتا للعلوم والأبحاث الطبية، كوتشين، الهند

كاترينا سيبكوفاف، مديرة المركز الوطني للمركبات السمية والمركز الإقليمي لاتفاقية ستوكهولم. كلية العلوم، جامعة ماساريك، برونو، التشيك

كما أن الموظف التالي لدى منظمة الصحة العالمية راجع المستند: إيرينا زاستينكايا، المسؤول التقني، المكتب الإقليمي لمنظمة الصحة العالمية في أوروبا، المركز الأوروبي للبيئة والصحة في منظمة الصحة العالمية.

حُرر المستند بواسطة جون دوسون، نيروبي، كينيا.

تم تقديم الدعم من قبل:



أجرى تحديث هذا المستند منظمة الصحة العالمية في مرفق البيئة العالمي (GEF) في مشروع كامل الحجم 9771: أفضل الممارسات العالمية بشأن قضايا السياسات الكيميائية الناشئة ذات الأهمية في إطار النهج الاستراتيجي للإدارة الدولية للمواد الكيميائية (SAICM). هذا المشروع يتم تمويله من مرفق البيئة العالمي (GEF)، وأشرف برنامج الأمم المتحدة للبيئة على تنفيذ هذا المشروع، وقامت أمانة النهج الاستراتيجي لإدارة المواد الكيميائية على الصعيد الدولي بتنصيبه. تقر منظمة الصحة العالمية بالمساهمة المالية لمرفق البيئة العالمية لتطوير هذا المستند وتحريره وتصميمه.

الاختصارات

مطياف الامتصاص الذري	AAS
مقياس الجهد الكهربائي للتجريد الأنودي	ASV
التعديلات التحسينية للمختبر السريري	CLIA
سنوات العمر معدلة حسب الإعاقة	DALY
ديسيلتر	dL
مطياف الامتصاص الذري الكهروحراري	ETAAS
مطياف الامتصاص الذري المعتمد على اللهب	FAAS
مطياف الامتصاص الذري القائم على فرن الجرافيت	GFAAS
هواء الجزيئات عالية الكفاءة	HEPA
مطياف الكتلة البلازما المقرون بالتحريض	ICP-MS
التعاون الدولي لاعتماد المختبرات	ILAC
المنظمة الدولية للمعايير	ISO
لتر	L
ميكروجرام	µg
ميكرو لتر	µL
ميكرومول	µmol
ملي لتر	mL
منظمة الصحة العالمية	WHO

1. الغرض والنطاق

يقدم هذا المستند نظرة عامة موجزة على الطرق التحليلية شائعة الاستخدام لقياس تركيز الرصاص في الدم. وهو يهدف بالأساس إلى توعية موظفي الصحة العامة والمؤسسات العلمية وصانعي السياسات من غير أخصائيي المختبرات لكنهم قد يحتاجون إلى وضع خطط لإجراء دراسات لمراقبة العلامات الحيوية البشرية وإجراء فحص لانتشار الرصاص في الدم ولإجراءات أخرى خاصة بالصحة العامة تتعلق بتقييم التعرض البشري للرصاص.

إن الغرض من هذا المستند ليس تقديم وصف للطرق التحليلية والبروتوكولات، أو لإبداء أي توصيات محددة بخصوص هذه الطرق أو المعدات الخاصة. المعلومات الفنية التفصيلية المتعلقة بهذا الموضوع متاحة في مكان آخر (1).

لكل طريقة تحليلية، هناك وصف موجز لسماتها، بما في ذلك نقاط قوتها وقيودها. كما يلقي هذا المستند الضوء على الاعتبارات الخاصة بأنواع متعددة من الاستخدامات والسيناريوهات عند تحديد طريقة تحليلية. كما أنه يصف ما يوضع في الاعتبار عند تحديد ما إذا كان سيتم تأسيس خدمة مختبرية لقياس كمية الرصاص في الدم أو ما إذا كان سيتم التعاقد على الخدمة.

2. لمحة عامة

الرصاص عبارة عن مادة سامة، نتج عن استخدامها بشكل شائع تلوث بيئي ومشكلات صحية في العديد من ربوع العالم. الرصاص مادة سامة تراكمية تؤثر على أنظمة متعددة في جسم الإنسان؛ بما في ذلك الجهاز العصبي، والدم، والجهاز الهضمي، والقلب والأوعية الدموية، والجهاز العضلي العظمي، والكلى. تتضمن التأثيرات طويلة الأمد خطر الإصابة بارتفاع ضغط الدم، ومرض القلب الإقفاري، والأمراض الكلوية. ومن الجدير بالذكر أن الأطفال معرضون لخطر مرتفع من الإصابة بالتأثيرات العصبية الناجمة عن الرصاص، ومن شأن التعرض لمستويات منخفضة منه أن يسبب اعتلالاً في النمو الإدراكي، واضطرابات سلوكية (2). وقد تدوم هذه التأثيرات مدى الحياة (3). من ضمن عواقب التأثيرات الصحية طويلة الأمد، في عام 2017، قُدر أن تعرض البشر للرصاص قد تسبب في 1.06 مليون وفاة، وخسارة 24.4 مليون عامًا من سنوات العمر المعدلة حسب الإعاقة (DALYs)، مع إلحاق الضرر الأكبر بالبلدان ذات الدخل المنخفض والمتوسطة (4).

العوامل الرئيسية المساهمة في تكوين العبء الجسدي من الرصاص على الأطفال (5). تشمل المصادر الأخرى للتعرض للرصاص استخدام العلاجات التقليدية المحتوية على الرصاص، وغش الطعام أو تلوئه، ومواد تلميع السيراميك من الرصاص والمستخدم في حاويات الطعام، وأنابيب الرصاص والمكونات الأخرى المحتوية على الرصاص في نظم توزيع الماء، والتلوث البيئي الناتج عن الانبعاثات الصناعية، والتعدين، والتخلص من المخلفات الإلكترونية واستخدام الذخيرة.

وعلى الرغم من انخفاض مستويات استخدام الرصاص في البترول (الجازولين)، وأعمال السباكة واللحام، فإنه لا تزال هناك مصادر كبيرة للتعرض للرصاص. وهي تشمل مواد الطلاء المحتوية على الرصاص والمستخدم في طلاء المنازل والمدارس والمباني الأخرى من الداخل والخارج، وطلاء الألعاب والأثاث ومعدات ساحات اللعب والأشياء الأخرى التي يمكن أن يلامسها الأطفال تحديداً. يمكن أن تؤدي مواد الطلاء المحتوية على الرصاص إلى الغبار المنزلي الملوث بالرصاص أحد

ولهذا فهو يلعب دوراً أساسياً في التعرف على التسمم بالرصاص والتعامل معه وفي تقييم التعرض المهني والبيئي للرصاص (6).

على الرغم من أن الأنسجة والسوائل البشرية الأخرى، مثل الشعر والأسنان والعظم والبول، تبين أيضاً التعرض للرصاص، فإن حساب الرصاص في الدم بالكامل قد اكتسب قوياً واسعاً باعتباره الأداة الأكثر نفعاً في الفحص والاختبار التشخيصي (1، 7). يتحقق هذا نتيجة وجود طرق مُصممة بشكل جيد لسحب العينات وتحليلها وهناك مجموعة كبيرة من المعلومات التي تربط بين تراكيز الرصاص في الدم من ناحية والآثار ونتائج العلاج السريرية من ناحية أخرى. كما تتوفر الطرق التحليلية المثبتة والمواد المعتمدة الخاصة بالتحكم والمرجعية فيما يتعلق بجودة الدم.

الأطفال الصغار معرضون بدرجة أكبر للمخاطر الناجمة عن الرصاص؛ وذلك لأنهم يمتصون نسبة تصل إلى 50% من الكمية التي يبلغونها (2). من النادر نسبياً أن يحدث تسمم حاد بالرصاص نتيجة التعرض لمرة واحدة ويُعد التسمم المزمن أكثر شيوعاً، إلا أن السمات السريرية للتسمم تتشابه في كلتا الحالتين. تتنوع العلامات والأعراض وقد تشمل فقدان الشهية، والإمساك، والمغص المعوي، وفقر الدم، وسرعة الانفعال، والحمول، والوهن العضلي، والحركة غير المنسقة للعضلات، والارتعاشات، والتشنجات والموت (2).

يمكن أن يكون التوصل إلى التشخيص السريري للتسمم بالرصاص أمراً صعباً عندما لا يكون هناك سجل واضح للتعرض للرصاص، وذلك لأن المصابين بالتسمم قد لا تظهر عليهم أعراض، كما أن العلامات والأعراض غير محددة نسبياً عند ظهورها. يُعد قياس تركيز الرصاص في الدم الطريقة الوحيدة الفعالة لتشخيص الأفراد المعرضين للرصاص،

3. قياس كمية الرصاص في الدم

تتمثل الأسباب الأكثر شيوعاً لقياس تركيز الرصاص في الدم فيما يلي:

- تحديد الحاجة إلى الإدارة الفعالة للتعرض للرصاص، مثل التعرف على مصدر التعرض وإزالته منه أو معالجته بالاستخلاب؛
- تحديد فعالية إجراءات تجنب الخطر؛
- الانضمام إلى برنامج للمراقبة أو الإشراف الصحي لتحديد الأطفال المعرضين للرصاص؛
- من أجل تقييم التعرض والخطر، مثل إجراء دراسة عن انتشار التعرض للرصاص المرتبط بالطلاء المحتوي عليه أو بمصادر أخرى؛
- من أجل المراقبة المهنية.

3.1 الوحدات

الوحدات شائعة الاستخدام لتحديد تركيز الرصاص في الدم هي الميكروجرام من الرصاص في الديسيلتر من الدم ($\mu\text{g}/\text{dL}$) والميكروجرام في اللتر ($\mu\text{g}/\text{L}$) والميكرومول في اللتر ($\mu\text{mol}/\text{L}$). عامل التحويل بين الوحدات الكتلية والمولية هو الكتلة الذرية من الرصاص: 207.19. من المهم عند إجراء التحويل أن تكون حريصاً بشأن المقام الحسابي - بمعنى الديسيلترات أو اللترات.

- للتحويل من الوحدات الكتلية إلى المولية، ينبغي قسمة القيمة على الكتلة الذرية.
- للتحويل من الوحدات المولية إلى الوحدات الكتلية، ينبغي ضرب القيمة في الكتلة الذرية.

تظهر بعض أمثلة التحويلات في الجدول 1.

قد يكون الغرض من التحليل له أثر على اختيار الطريقة التحليلية كما هو مذكور في القسم 7.

يمكن قياس تركيز الرصاص في الدم بعينات من الوريد أو الشعيرات الدموية. يُعد سحب العينات من الوريد طريقة أكثر اجتياحية لكنها تسمح بإجراء إحصاء أدق للعبء الذي يتحمله الجسد. من المفضل تحليل الدم الوريدي بحثًا عن الرصاص للتأكد من التعرض للرصاص والتشخيص والقرارات الخاصة بالتعامل الطبي مع التسمم بالرصاص والتكهن به. يُعتبر سحب الدم من الشعيرات الدموية - والذي يتضمن السحب من الإصبع (أو وخز الكعب بالنسبة للأطفال الرضع) أمرًا سهلًا نسبيًا وسريعًا وأقل اجتياحًا لكنه قد يتأثر بالتلوث (مما يؤدي إلى نتائج إيجابية بشكل زائف). يُعتبر الدم من الشعيرات الدموية مقبولاً لأغراض الفحص الأولي (1). بما أن الإصبع أو الكعب معرضان بشدة للتلامس مع وسائط ملوثة بالرصاص، فإن التنظيف الجيد لموقع سحب العينة له أهمية خاصة.

هناك حاجة إلى موظفي رعاية صحية مدربين لسحب العينة. يجب الالتزام بالاحتياطات العامة الخاصة بالوقاية من العدوى المنتقلة عبر الدم في كل أنواع سحب عينات الدم. إن المنشور الإرشادات الخاصة بسحب الدم: أفضل الممارسات عند فصد الدم الصادر عن منظمة الصحة العالمية (WHO) يقدم توجيهًا عامًا بشأن أفضل ممارسة والاحتياجات من المعدات لسحب عينات الدم (9).

الجدول 1. التحويلات بين الوحدات الكتلية والمولية الخاصة بتركيز الرصاص في الدم

µmol/L	µg/L	µg/dL
0.24	50	5
2.17	450	45
3.38	700	70

3.2 سحب عينات الدم

عند إنشاء نظام لسحب العينات ونقلها إلى المختبر، يجب أن تتحقق متطلبات معينة لضمان سحب العينة الصحيحة وتوصيلها إلى المختبر بحالة جيدة.

يعني انتشار الرصاص أن خطر تلوث العينة مرتفع، ويمكن أن يحدث التلوث في كل مرحلة: سحب العينة، وتخزينها، ونقلها والتعامل معها. ينبغي لهذا تحديد موقع نظيف لسحب العينة وتخزينها - ويكتسب هذا أهمية خاصة إذا كان سحب العينات يجري ميدانيًا. ينبغي تنظيف موقع الحقن جيدًا قبل سحب الدم لإزالة أي تلوث سطحي بالرصاص. يجب أن تكون معدات سحب العينة وحاوياتها نظيفة، ويشمل ذلك الإبر والأعطية. من المثالي أن تكون معتمدة لاختبارات كمية الرصاص في الدم أو ينبغي إجراء فحص سابق لها على الأقل لقياس محتواها من الرصاص (8, 1).

4. الطرق التحليلية المتبعة في قياس كمية الرصاص في الدم

يمكن إجراء قياس تركيز الرصاص في الدم باستخدام طرق مختبرية وطرق لدى مكان تقديم الرعاية أو الاختبار الميداني. تختلف هذه الطرق بشكل كبير في قدراتها التحليلية (الحدود المطلوبة للاكتشاف والدقة والضبط)، وتكاليفها (تكاليف الشراء والصيانة، والبنية التحتية المطلوبة في المختبر، والكواشف والإمدادات) ومتطلباتها الفنية (تحضير العينة، والمعايرة والموظفون المهرة). عند ربط هذه العوامل بتجهيزات المختبر وموارده، فإنها ستؤثر على القرار المتعلق باختيار الطريقة. تتوفر معلومات إضافية في الجدول 2 أدناه.

4.1 الطرق المختبرية

الطور الغازي داخل مسار ضوئي في الجهاز. يمكن إجراء هذه العملية التي تُعرف باسم الفصل إلى ذرات إما باستخدام شعلة لهب (مطياف الامتصاص الذري المعتمد على اللهب أو FAAS) أو باستخدام جهاز كهروحراري (مطياف الامتصاص الذري الكهروحراري أو ETAAS) (11). على الرغم من أن FAAS وETAAS يقومان على مبدأين متشابهين للاكتشاف، فإنهما يختلفان إلى حد كبير في قابليتهما للتطبيق عند قياس كمية الرصاص في الدم (فيما يتعلق مثلاً بالحدود المطلوبة للاكتشاف، فإنهما يختلفان في حجم العينة والتعقيد في تحضير العينة).

الطريقتان المرجعيتان الأكثر شيوعاً في الاستخدام لتحديد تركيز الرصاص في الدم هما مطياف الامتصاص الذري الكهروحراري (ETAAS) ومطياف الكتلة البلازمي المقرون بالتحريض (ICP-MS). يمكن أيضاً استخدام مطياف الامتصاص الذري المعتمد على اللهب (FAAS) لكنه ينطوي على بعض القيود. لا يوجد هنا ذكر لطرق أخرى أقل شيوعاً في الاستخدام، مثل مطياف الامتصاص البصري البلازمي المقترن حديثاً.

4.1.2 مطياف الامتصاص الذري المعتمد على اللهب (FAAS)

تستخدم طريقة مطياف الامتصاص الذري المعتمد على اللهب عادة لهباً من الهواء والأسيتيلين لفصل الرصاص إلى ذرات في درجات حرارة تصل إلى 2100 إلى 2400 درجة مئوية (10).

يعتمد حجم العينة المطلوب والحد المطلوب للاكتشاف باستخدام طريقة FAAS على تحضير العينة والطريقة المتبعة لوضع العينة على اللهب من أجل الفصل إلى ذرات. تحتاج طريقة FAAS في العادة إلى أحجام عينات بالمليلتر (mL)، إلا أن طريقة AAS باستخدام كأس ديلفز - وهي طريقة أقدم لسحب العينات متناهية الصغر - قد أتاحت إمكانية استخدام أحجام عينات تبلغ 50-100 ميكرو لتر (μL). يمكن الوصول إلى الحد المطلوب للاكتشاف عند حجم 5 $\mu\text{g/dL}$ تقريباً (12, 13). لم تعد هذه الطريقة مفيدة في فحص العينات التي تقل فيها تراكيز الرصاص الأساسية المنخفضة في الدم عن 5 $\mu\text{g/dL}$.

4.1.1 مطياف الامتصاص الذري (AAS)

إن المبدأ وراء مطياف الامتصاص الذري (AAS) هو التفاعل بين إلكترونات الغلاف الخارجي للذرات الحرة الغازية غير المشحونة والأشعة فوق البنفسجية أو أشعة الضوء المرئي المتولدة من العنصر المراد قياسه. يعمل مصباح بمهبط أجوف ومغطى بالرصاص على بعث الضوء من ذرات الرصاص المستحثة وذلك باستخدام أطوال موجية مميزة يمكن لذرات الرصاص في العينة أن تمتصها. يمر الضوء خلال العينة المفصولة إلى ذرات، ويتم امتصاص بعض الطاقة بواسطة ذرات الرصاص، وهو ما يؤدي بدوره إلى تقليص كمية الضوء المنقولة إلى الكاشف. ترتبط كمية الضوء الممتصة (أو الامتصاص) بعلاقة خطية بتركيز المادة المراد تحليلها في العينة (10).

لإجراء قياس باستخدام طريقة AAS للقياس، يجب إدخال العينة المحتوية على الرصاص إلى الجهاز، بغرض إنتاج ذرات في حالة أرضية في

الشحنة) لتحليل العينة إلى الذرات والأيونات المكونة لها. يجري استخراج الأيونات من البلازما وتمريها عبر مطياف للكتلة حيث يتم فصلها وقياسها بناءً على نسبة كتلتها إلى شحنتها. إن كفاءة البلازما المقرونة بالتحريض في إنتاج الأيونات من الذرات محل الاهتمام في العينة المتحولة إلى هباء جوي، إلى جانب الانتقائية العالية لمطياف الكتلة (وهو في العادة محلل كتلة رباعي الأقطاب يقوم بتصفية الأيونات)، والتضخيم العالي للإشارات الأيونية التي تضرب أداة الاكتشاف، والتشويش المنخفض في الخلفية على أداة الاكتشاف، يقدمون معًا حدودًا منخفضة جدًا للقدرة على الاكتشاف المفيد (أجزاء في المليار إلى أجزاء قليلة في التريليون مع معظم العناصر) (11, 10). هناك طريقة توصف بأنها تعطي حدًا للقدرة على الاكتشاف يبلغ $0.15 \mu\text{g/L}$ (16)، وهو ما يحقق احتياجات مراقبة العلامات الحيوية السريرية والبشرية.

تتطلب الأجهزة في طريقة ICP-MS عادةً فني مختبر غزيري المهارة لتشغيلها وفق أعلى المعايير (11, 1).

بينما تستطيع الطرق الأخرى قياس عنصر واحد فقط أو عناصر قليلة في كل مرة، تستطيع طريقة ICP-MS قياس عدة عناصر من عينة دم واحدة صغيرة تصل إلى $50-100 \mu\text{L}$. سيكون هذا اعتبارًا مهمًا بالنسبة إلى المختبرات التي ترغب في قياس عدد من العناصر إلى جانب الرصاص. كما أن بعض الأدوات في طريقة ICP-MS تتيح أيضًا إمكانية تحديد نسبة العناصر النظرية في الرصاص الموجود في العينة، وهو ما قد يتيح إمكانية تحديد ما إذا كان الرصاص قد أتى من مصدر معين.

4.2 مقياس الجهد الكهربائي للتجريد الأنودي (ASV)

4.2.1 تقنية ASV

يُعد مقياس الجهد الكهربائي للتجريد الأنودي (ASV) تقنية كهروكيميائية لقياس تركيز الرصاص في الدم. لإجراء قياس بطريقة ASV، يجب معالجة عينة الدم أولاً لتحرير الرصاص على شكل أيون من الخلايا الحمراء والبروتينات في الدم. يتم وضع إلكترود مرجعي وإلكترود جرافيت زئبق رقيق الطبقة في عينة الدم التي جرت معالجتها. يتم بعد ذلك توجيه جهد كهربائي إلى إلكترود الزئبق لفترة من الوقت، مما يؤدي إلى أن يتركز الرصاص والكاتيونات الأخرى داخل العينة على

قد تلجأ بعض المختبرات إلى تحليل الدم بحثًا عن الرصاص مرتين، بل وثلاث مرات، لتقليل الشك التحليلي (8). ويؤدي هذا إلى زيادة في وقت إجراء التحليلات الخاصة بكمية الرصاص في الدم. ينبغي على الأقل تأكيد النتائج المعلنة لكمية الرصاص في الدم بتحليل ثانٍ لجزء آخر من عينة الدم (1).

حلت طريقة ETAAS محل طريقة FAAS إلى حد كبير، وتستطيع هذه الطريقة أن تحدد التركيزات الأقل بكثير من الرصاص في الدم في عينات أصغر (8, 10, 11, 14).

4.1.3 مطياف الامتصاص الذري الكهروحراري (ETAAS)، أو مطياف الامتصاص الذري القائم على فرن الجرافيت (GFAAS)

تستخدم معظم أنظمة ETAAS أنبوب جرافيت مسخن كهربيًا لتحليل مصفوفة الدم حراريًا وفصل الرصاص إلى ذرات، ولهذا تعرف هذه الطريقة أيضًا باسم مطياف الامتصاص الذري القائم على فرن الجرافيت (GFAAS). تُسخن العينة المحللة حراريًا حتى درجة حرارة تقارب 1700 درجة مئوية بهدف فصل الرصاص إلى ذرات (11).

يمكن أن تخضع قياسات ETAAS إلى تداخل كبير من تشتت الضوء والامتصاص الجزيئي بواسطة مكونات المصفوفة، ولكن يمكن تخفيف تأثير تلك التداخلات باستخدام طرق مختلفة؛ بما في ذلك استخدام المعدلات الكيميائية، وطرق تصحيح الخلفية لزيمان (1, 10, 13). يجب أن يجري تشغيل أجهزة ETAAS بواسطة فنيين مختبرات مدرّبين.

تتوفر معدات طريقة ETAAS على نطاق واسع. وهي لا تتطلب سوى أحجام صغيرة من العينات، تبلغ عادة $50-100 \mu\text{L}$ (10, 11). يقع الحد المطلوب لاكتشاف الرصاص في نطاق منخفض من عدة أجزاء في المليار (حسب القياس بوحدة $\mu\text{g/L}$)، فهناك مثلًا وصف لطريقة بأن لديها حد للقدرة على الاكتشاف يبلغ $0.65 \mu\text{g/dL}$ ($0.065 \mu\text{g/L}$) (15). ويمكن ترك هذه الأدوات لتعمل دون التواجد بجوارها. يؤدي استخدام أدوات سحب العينات تلقائيًا إلى زيادة الدقة، ويجري إنتاج عينات بمعدل يقارب عينة واحدة كل فترة تتراوح بين دقيقتين إلى أربع دقائق (8, 11, 14). التكلفة الأولية للأجهزة متوسطة، ولكن تكلفة الصيانة والمواد المستهلكة مرتفعة (11).

4.1.4 مطياف الكتلة البلازما المقرون بالتحريض (ICP-MS)

مطياف الكتلة البلازما المقرون بالتحريض (ICP-MS) عبارة عن تقنية متعددة العناصر تستخدم مصدرًا من البلازما المقترنة بالبحث (غاز متأين ذو درجة حرارة مرتفعة جدًا مكون من إلكترونات وأيونات موجبة

لقد ابتكرت مراكز مكافحة الأمراض والوقاية منها في الولايات المتحدة - بالتعاون مع شركة خاصة - أداة محمولة لطريقة ASV تُسمى LeadCare II، وهي متوفرة تجاريًا. لا تتطلب هذه الأداة فني مختبر مهرة لتشغيلها وهي مصنفة من جانب إدارة الأغذية والعقاقير في الولايات المتحدة باعتبارها لا تتطلب تعديلات تحسينية للمختبر السريري¹ (يعني ذلك أنها بمستوى أقل من التعقيد مع متطلبات تنظيمية أقل).

تتيح أداة LeadCare II إمكانية تحديد تراكيز الرصاص في الدم خلال ثلاث دقائق باستخدام عينة بحجم 50 µL من دم الشعيرات الدموية (طرف الإصبع) أو دم الوريد. يتوفر المستشعر للاستخدام مرة واحدة وحاوية العينة والكواشف ومعدات المعايرة على شكل وحدات للاستخدام مرة واحدة بمعايرة مسبقة لدى جهة التصنيع. يبلغ النطاق الذي يمكن اكتشافه من تراكيز الرصاص في الدم 3.3-65 µg/dL (17, 1). وقد جرى قياس تراكيز الرصاص في الدم الأعلى من نطاق التشغيل بنجاح باستخدام التقنيات الملائمة لتخفيف العينة (19).

لقد أظهرت الدراسات وجود ارتباط جيد بين التحليلات التي تمت باستخدام جهاز LeadCare II وتلك التي تمت باستخدام طريقة GFAAS (17). إلا أنه تجدر ملاحظة أنه تم اكتشاف تراكيز الرصاص المنخفضة بشكل مصطنع في الدم في عينات وريدية تم سحبها في حاويات معينة مفرغة من الهواء بسبب تفاعل بين مادة كيميائية في السدادة المطاطية والرصاص في العينة (20). ولهذا يوصى بمراجعة جهة تصنيع الأداة فيما يخص حاويات العينات.

قد تكون هناك علامات تجارية أخرى للأجهزة المحمولة الخاصة بطريقة ASV، لكن لم يمكن التعرف عليها في وقت الكتابة.

سطح إلكترون الرئيق المشحون بشحنة سالبة. يتم بعد ذلك عكس اتجاه الجهد الكهربائي لتوجيه جهد كهربائي أكبر بشكل متزايد على مدار عدة دقائق. عند وصول الجهد إلى قدر محدد ومميز بالنسبة إلى الرصاص، تتحرر (تتجرد) كل أيونات الرصاص من الإلكترود مما يؤدي إلى إنتاج تيار يمكن قياسه. يتناسب التيار الناتج مع عدد أيونات الرصاص المتحررة ويمكن مقارنته باستخدام محاليل معايرة لتحديد تركيز الرصاص في العينة (10, 1).

لم تعد طريقة ASV المختبرية شائعة الاستخدام لقياس تركيز الرصاص في الدم. إلا أنه توجد أدوات محمولة لطريقة ASV يمكن استخدامها في مكان تقديم الرعاية وفي الميدان، ويمكن تجهيز ذلك أيضًا في مختبر.

4.2.2 الجهاز المحمول لطريقة ASV

تتوفر الأدوات المحمولة التي تستخدم إلكترونات للاستخدام مرة واحدة بتقنية طباعة الشاشة من أجل إجراء الاختبارات الميدانية لتركييزات الرصاص في الدم. يُعرف هذا الشكل من الاختبار، والذي يتم إجراؤه خارج المختبر، بأنه الاختبار في مكان تقديم الرعاية أو الاختبار بالقرب من المريض، أو اختبار التشخيص السريع أو الفحص السريع. يمكن استخدام الأدوات المحمولة لطريقة ASV في فحص التعرض للرصاص، على سبيل المثال في عيادات صحة الطفل وفي العيادات المتنقلة وإجراء الدراسات الخاصة بعلم الأمراض أو نشاطات الاستجابة للتفشي في المواقع التي يصعب فيها نقل عينات الدم إلى مختبر مرجعي ملائم (17, 18).

كما هو مذكور في القسم 3.2، من المهم بشكل خاص الحرص على تجنب تلوث العينة عند استخدام جهاز محمول خارج مختبر وعند سحب عينات دم من الشعيرات الدموية. يوصى في العادة بالتأكد من تركيزات الرصاص المعلنة في الدم ($5 \mu\text{g/dL}$) والتي جرى قياسها في دم الشعيرات الدموية باستخدام أدوات محمولة، ويتم التأكد منها بتكرار التحليل لدى مختبر معتمد (17, 1). بما أن نتيجة الأداة المحمولة تظهر سريعًا، من الممكن سحب عينة وريدية على الفور لإجراء التحليل التأكيدي في المختبر.

1 تتولى إدارة الأغذية والعقاقير في الولايات المتحدة المسؤولية عن تصنيف اختبارات التشخيص المختبري المعروضة للتسويق التجاري إلى واحدة من ثلاث فئات CLIA (التعديلات التحسينية للمختبر السريري لعام 1988) تنظيمية على حسب احتمالية الخطر الذي تشكله على الصحة العامة، والفئات الثلاث هي الاختبارات عالية التعقيد والاختبارات متوسطة التعقيد والاختبارات التي لا تتطلب تعديلات.

4.3 اختيار الأدوات الملائمة

الطرق المتبعة في مكان تقديم الرعاية سهلة جدًا في الاستخدام ولا تتطلب فني مختبر مدربي. عند استخدام هذه الطرق ميدانيًا، هناك حاجة إلى النظر في الظروف البيئية التي يمكن أن تتعارض مع موثوقيتها والحد منها. وتتضمن هذه الظروف مخاطر التلوث البيئي والحاجة إلى العثور على مساحة نظيفة لسحب العينة وإجراء الاختبار، وتوافر الماء والصابون للتنظيف الكافي للجلد لدى الخاضعين للاختبارات، ومتطلبات درجة الحرارة الخاصة بأدوات التحليل، وتوافر الإمداد بالكهرباء وجودته.

ويُلخّص الجدول 2 الخصائص المختلفة للطرق التحليلية المختلفة.

يعتمد اختيار الأدوات على سبب التحليل (مثل تقييم التعرض أو التشخيص أو الفحص)، وعدد العينات المقرر اختبارها، والقيود على التكلفة، والحاجة إلى قياس دقيق، وتوافر الفنيين المدربين والمعدات التحليلية.

تتطلب الطرق المختبرية موظفين مدربين، إلا أن مستوى التدريب والمهارة المطلوب يختلف على حسب الأدوات. تُعتبر نظم FAAS سهلة الإعداد والتشغيل نسبيًا في العادة لكنها تحتاج إلى قدر من الخبرة المختبرية. ويحدث هذا تحديدًا إذ كانت هناك حاجة إلى قياس التركيزات الأقل من الرصاص في الدم، وذلك لأنه ستكون هناك حاجة إلى بروتوكولات أكثر تعقيدًا. تُعتبر نظم ETAAS أكثر صعوبة نوعًا ما في الإعداد والصيانة وتتطلب خبرة مختبرية. تتطلب طريقة ICP-MS عمومًا فني مختبر امن ذوي المهارة العالية للوصول إلى نتائج فائقة وبيانات موثوقة عالية الجودة.

الجدول 2. نظرة عامة على الطرق التحليلية لقياس كمية الرصاص في الدم

الطريقة	أوجه القوة	أوجه القصور
مطياف الانبعاث الذري المعتمد على اللهب (FAAS) (15, 14, 12, 11)	<ul style="list-style-type: none"> • مدة تحليل قصيرة (ثوانٍ) • سهولة نسبية في الاستخدام • تداخلات قليلة نسبيًا • رأس مال وتكاليف تشغيل منخفضة نسبيًا 	<ul style="list-style-type: none"> • مطلوب عينة بحجم كبير عادةً • الحد المطلوب للاكتشاف مرتفع نسبيًا (5 µg/dL) • لا يمكن تركه يعمل دون تواجد (غاز سريع الاشتعال)
مطياف الامتصاص الذري الكهروحراري (ETAAS) (15, 14, 11, 8)	<ul style="list-style-type: none"> • الحد المطلوب للاكتشاف منخفض (> 1 µg/dL) • يستطيع تحليل عينات صغيرة (50 إلى 100 µL) • يمكن تركيب أجهزة سحب عينات آلية في الجهاز؛ بحيث يمكن معالجة عدة عينات في آن واحد • الاستخدامات موثقة جيدًا • يمكن تركه دون تواجد • لا حاجة إلى تحضير العينة 	<ul style="list-style-type: none"> • نطاق عمل تحليلي محدود • يتطلب قدرًا من الخبرة المختبرية • وقت التحليل أطول ولذلك فالإنتاجية من العينات منخفضة
مطياف الكتلة البلازمي المقرون بالتحريض (ICPMS) (16, 14, 11, 10)	<ul style="list-style-type: none"> • حد منخفض جدًا للقدرة على الاكتشاف (0.02 µg/dL) • يستطيع تحليل عينات صغيرة (50 إلى 100 µL) • مدة تحليل سريعة جدًا (أقل من دقيقة واحدة) • نطاق عمل تحليلي واسع • قدرات متعددة العناصر ويمكن أن يكون خيارًا اقتصاديًا إذا استخدم مع عينات كبيرة • إمكانية إجراء تحليلات نسبة العناصر النظرية مع بعض الأشكال من طريقة ICP-MS، وهو ما قد يساعد على تحديد مصدر الرصاص 	<ul style="list-style-type: none"> • تكاليف شراء وتشغيل مرتفعة • يتطلب موظفي مختبر غزيري المهارة • يُعتبر تحليل عدد كبير من العينات أقل في التكلفة من طريقة ETAAS
الجهاز المحمول لطريقة ASV (17, 1)	<ul style="list-style-type: none"> • حجم عينة صغير (50 µL) • يمكن استخدامه في مواقع بخلاف المختبر • يستخدم وخز الإصبع (عينة من الشعيرات الدموية)، إلا أنه يمكن أيضًا استخدام عينات وريدية • سهل الاستخدام، ولا يتطلب فني مختبر مهرة • تكاليف شراء وتشغيل منخفضة • نتائج سريعة • يتمتع بدقة تقارب الطرق المختبرية 	<ul style="list-style-type: none"> • نطاق عمل تحليلي محدود • ينبغي التأكد من المستويات الأعلى من 5 µg/dL بطريقة مختبرية عالية التعقيد • خطورة عالية من تلوث العينة • خطر من النتائج منخفضة التحيز مع الدم الوريدي الذي تم سحبه باستخدام أنابيب دم معينة مفرغة (20)

5. اختبار مختبر

كما هو مذكور أعلاه، يمكن قياس تركيز الرصاص في الدم باستخدام طريقة مختبرية أو جهاز في مكان تقديم الرعاية. الأجهزة الخاصة بمكان تقديم الرعاية مفيدة لأغراض الفحص. كما تم استخدام الخاص بمكان تقديم الرعاية للإرشاد بشأن طريقة التعامل مع التسمم في الأماكن محدودة الموارد حيث لم تكن هناك إمكانية الحصول على مختبر محترف (18). تم التحقق من النتائج في هذه الحالة باستخدام بروتوكول العينة المقسمة، حيث تم إرسال نسبة من العينات إلى مختبر مرجعي ومقارنة النتائج الواردة (19).

5.1 إيجاد المختبر

يمكن في العادة العثور على معلومات حول المختبرات المعتمدة على موقع الويب لهيئة الاعتماد الوطنية أو الخاصة بالولاية. توجد تفاصيل الاتصال بهيئات الاعتماد الوطنية على موقع الويب² الخاص بالتعاون الدولي لاعتماد المختبرات (ILAC) والذي يسرد الهيئات الموقعة على اتفاقية الاعتماد المتبادلة الخاص بالتعاون. كما يقدم الموقع أيضًا معلومات عن هيئات التعاون الإقليمي للاعتماد.

إذا لم يتوفر مختبر معتمد، فإن المختبر الذي يستطيع أن يبين امتثاله لنظام لإدارة الجودة والذي يشارك بانتظام في آلية لاختبار الكفاءة يستطيع أيضًا أن يقدم تحليلات موثوقة ودقيقة.

إذا لم يكن هناك مختبر في بلد ما يعمل وفق المعايير المطلوبة، فقد يكون من الضروري إرسال عينات إلى مختبر في الخارج. إلا أنه ينبغي النظر على المدى الأطول في تأسيس خدمة مختبرية معتمدة واحدة على الأقل في البلد.

من المفضل إجراء تحليل في مختبر مرجعي باستخدام طريقة عالية التعقيد مع معظم الأغراض. هناك عدة اعتبارات عند تحديد مختبر. تكمن أهمية أساسية في جودة الخدمة المقدمة، إن استخدام مختبر معتمد من هيئة وطنية للاعتماد أو مختبر يشارك في تقييم خارجي للجودة أو في برنامج لاختبار الكفاءة في تحليل الرصاص في الدم (انظر القسم 6.2) سيعطي ثقة في دقة النتائج التحليلية الواردة وموثوقيتها. هذا أمر ضروري إذا كانت النتائج ستخضع للمقارنة عبر الزمن أو للمقارنة مع مناطق جغرافية مختلفة. يتوفر المزيد من المعلومات حول جودة المختبر، بما في ذلك شهادة الاعتماد، في القسم 6.

يتمثل عامل آخر في الأدوات التي يستخدمها المختبر وما إذا كانت التحليلات قابلة للتطبيق حسب الحد المطلوب للقدرة على الاكتشاف وبالذقة والضبط الضروريين. إذا كان هناك اهتمام باستخدام تحليل نسبة العناصر النظيرة لمحاولة تحديد مصدر بيئي للتعرض، يمكن أن يقدم مختبر إجراء تحليل بطريقة ICP-MS وهناك حاجة إلى فني خبير في قياسات نسبة العناصر النظيرة.

تشمل الاعتبارات المهمة الأخرى:

- السعة في التعامل مع العدد المطلوب من العينات
- تكلفة التحليل، متضمنة تكاليف الشحن
- وقت إجراء التحليلات.

5.2 تأسيس خدمة مختبرية لقياس تركيزات الرصاص في الدم

- هل المعدات الموجودة ما زالت تتلقى الدعم للصيانة والإصلاح؟ إذا لم تكن كذلك، فسيحتاج فنيو المختبر إلى مهارات إضافية للحفاظ على تشغيل المعدات وفق معيار معقول.
- هل هناك عدد كاف من فنيي المختبر المدربين تدريباً كافياً لتشغيل الأدوات المحددة؟
- هل تتوفر أموال كافية لشراء المعدات وتركيبها وتكاليف الصيانة والتشغيل، بما في ذلك شراء المواد المرجعية المعتمدة، واستبدال المواد الاستهلاكية مثل المصاييح والأنابيب والغازات؟
- هل هناك أماكن مناسبة لإنشاء المختبر مع إمدادات طاقة ومياه موثوقة ومستمرة؟ هل يمكن تعديل مبنى قائم بالفعل أم أنه من الضروري بناء مختبر جديد؟
- هل سيسعى المختبر للحصول على شهادة اعتماد أو على وسيلة أخرى لتوضيح الامتثال لنظام لإدارة الجودة وهل تتوفر الموارد لدعم هذا؟
- هل هناك أعباء عمل كافية لتبرير تأسيس الخدمة؟
- هل يوجد مختبر آخر في الدولة أو خارجها يقدم بالفعل هذه الخدمة بتكلفة معقولة وفي إطار زمني مقبول؟
- هل يوجد مختبر قائم بالفعل يمكنه إضافة تحليل الرصاص في الدم إلى خدماته؟
- ما نوع الأجهزة اللازمة لأغراض المختبر (مثل، ETAAS، ICP-MS)؟
- هل المعدات التحليلية الضرورية متوفرة بالفعل أم يجب شراؤها؟

6. جوانب مهمة في ممارسات المختبر

في علم السميات التحليلي، ستعطي الأدوات - وإن كانت الأكثر تعقيدًا ودقة - نتائج غير صحيحة إذا لم يتم الانتباه لمنع تلوث العينة، أو إذا لم يتم التعامل مع العينات وتخزينها بالشكل الملائم، أو إذا لم يتم استخدام المعدات بالشكل الصحيح، أو إذا لم يتم اتباع البروتوكولات التحليلية. يمكن تقليل هذه المشاكل المحتملة عن طريق تنفيذ نظام كافٍ لإدارة الجودة، وهو ما يتم تناوله أدناه. كما أن عدة منظمات (1, 8) وجهات حكومية قد وضعت دليلًا للممارسة العملية الجيدة في اختبارات الرصاص في الدم (21).

6.1 الوقاية من التلوث الخارجي

النظر في احتمالية حدوث تلوث عن طريق الجو ووضع ضوابط دورية لاكتشافه. ينبغي على أي حال اتخاذ إجراءات لمحاولة تقليل مقدار الجسيمات في الهواء (مثل الغبار أو الجسيمات الخارجية) في المعمل وفي المنطقة حيث ستوضع أنابيب عينات مفتوحة أثناء إجراء التحليل. يمكن أن يساعد المسح المستمر للأرضيات والأسطح في المعمل بشيء مبلل في تقليل مصدر التلوث هذا. ينبغي حماية أدوات سحب العينات آليًا في الأجهزة باستخدام أغطية الحماية من الغبار وفحص قوارير أدوات سحب العينات آليًا تحسبًا لوجود تلوث بالرصاص لتحديد مورد قوارير خالية من الرصاص (8).

يمكن تقليل مخاطر التلوث بشكل كبير من خلال تطبيق تدابير ضمان الجودة بالمستوى المطلوب (1, 8). تتوفر بروتوكولات محددة للطرق التحليلية المختلفة، بما في ذلك بروتوكولات صادرة من الشركات المصنعة ووكالات توحيد المعايير، ويجب اتباعها بدقة.

وكما هو مذكور سابقًا، الرصاص عنصر واسع الانتشار ويمكنه أن يلوث العينات بطرق عديدة. قد يحدث التلوث أثناء سحب العينات وتخزينها ونقلها ومعالجتها (8). وبالتالي فإن جودة سحب العينات ومعالجتها هي أمر حاسم في التحديد الدقيق لكمية الرصاص في الدم. كما هو مذكور في القسم 3.2، اتخاذ الاحتياطات أمر مطلوب عند سحب العينات، بما في ذلك استخدام المعدات التي خضعت لفحص أو اعتماد سابقًا. بما أن تقسيم العينات في المعمل يمكن أن يؤدي إلى خطر التلوث، فالأمر الأفضل هو تحليل العينات من أنابيب السحب مباشرة. إذا كان تقسيم العينات مطلوبًا، يوصى باستخدام أنابيب بلاستيكية أو أنابيب تبريد خضعت لفحص سابق من دون غسيل حمضي. يمكن أن يتسبب الغسيل الحمضي، إن لم يتم تنفيذه بالأسلوب الصحيح، في تلوث غير مقصود بالرصاص.³

وإذا حلل المعمل أيضًا عينات بيئية، ينبغي إجراء هذا في منطقة منفصلة عن تحليل العينات البيولوجية. ينبغي إجراء تحضير العينة في بيئة نظيفة مخصصة لتحليلات الرصاص في الدم. ينبغي العمل قدر الإمكان على تحضير العينات في خزنة جريان صفائحي للسلامة البيولوجية (مثل خزنة من الفئة الثانية والنوع B2).⁴ إذا لم يكن هذا متوفرًا، ينبغي

3 جان كوتا، تواصل شخصي، أبريل 2020.

4 توفر الخزانات من الفئة الثانية من النوع B2 الحماية للعينة والمستخدم والبيئة. في هذه الخزانات، تجري تنقية الهواء بمرشح جسيمات عالي الكفاءة للهواء (HEPA) وضخه في الحجرية بسرعة تدفق تبلغ 0.5 متر في الثانية. يدور الهواء داخل الحجرية بجريان صفائحي ثم يتم ضخه للخارج من دون إعادة تدوير للهواء بعد خطوة ثانية من الترشيح بمرشح جسيمات عالي الكفاءة للهواء.

6.2 ضمان الجودة ومراقبتها

يعد ضمان الجودة ومراقبتها من مكونات نظام إدارة الجودة. تتضمن إدارة الجودة دمج جميع جوانب عمليات المختبر؛ بما في ذلك الهيكل التنظيمي والعمليات والإجراءات والموارد من أجل ضمان أن تكون الخدمة المقدمة للمستخدمين ذات جودة عالية، وأن تكون نتائج المختبر موثوقة وقابلة للتكرار (22). لقد نشرت منظمة الصحة العالمية دليلًا ومواد تدريب تتعلق بإدارة الجودة في المختبرات (22, 23).

يهتم ضمان الجودة بالعمليات والإجراءات التي تجري داخل المختبر. ويغطي استخدام الممارسات السليمة علميًا وتقنيًا للفحوصات المخبرية، بما في ذلك اختيار العينات وسحبها وتخزينها ونقلها، وتسجيل النتائج وتقديم تقرير عنها وتفسيرها. كما يشير إلى التدريب والإدارة المصممة لتحسين موثوقية الفحوصات. يشمل ضمان الجودة التقييم الأولي لطريقة تحليلية، فيما يتعلق بمدى صلاحيتها وموثوقيتها، والتي تشمل العلاقة الخطية، والانتقائية، والاسترداد، ومقاييس المعايرة، وثوابت البلاذك، والحد المطلوب للاكتشاف، والقيود على القياس الكمي، والتماسك (24).

تشير مراقبة الجودة إلى ضبط الأخطاء التي تشوب أداء الاختبارات، والتحقق من نتائج الاختبار. وتتألف من مكونين: مراقبة الجودة الداخلية وتقييم الجودة الخارجي.

6.2.1 مراقبة الجودة الداخلية

مراقبة الجودة الداخلية عبارة عن مجموعة من الإجراءات التي يستخدمها موظفو المختبر لتقييم النتائج بشكل مستمر أثناء إنتاجها لتحديد ما إذا كانت دقيقة وسليمة أم لا، وبالتالي موثوقة بما يكفي لنشرها. أحد الأمثلة على إجراءات مراقبة الجودة هو القياس اليومي لعينات ضابطة من الدم تحتوي على محتوى من الرصاص يسهل رصده، للتحقق من أداء الطريقة التحليلية (1, 8). من الأمثلة أيضًا استخدام مواد مرجعية، تُعرف أيضًا باسم المعايير المرجعية، للتحقق من الطريقة التحليلية ومعايرتها وإنشاء مخططات لمراقبة الجودة. المواد المرجعية المعتمدة لتحليل الرصاص في الدم متوفرة.

يجب أن تتضمن إجراءات التشغيل القياسية لإجراء اختبار عادةً وصفًا لإجراءات مراقبة الجودة.

6.2.2 تقييم الجودة الخارجية

تقييم الجودة الخارجية عبارة عن نظام هذا للتحقق الموضوعي من أداء المختبر باستخدام وكالة خارجية. ويتضمن إرسال المختبر لعينات اختبار "عمياء" تكون فيها كمية الرصاص غير معروفة. ثم تجري مقارنة النتائج الناتجة عن التحليل مع تراكيزات الرصاص الفعلية، والتي لم يتم الكشف عنها إلا بعد الانتهاء من التحليلات. من الممكن أيضًا مقارنة النتائج أيضًا مع تلك المختبرات الأخرى المشاركة في مخطط تقييم الجودة كوسيلة لاختبار الكفاءة (25). تتضمن خطط تقييم الجودة الخارجية عادةً عدة دورات اختبار تُعقد بشكل سنوي.

هناك عدد من المخططات الخارجية لتقييم الجودة أو اختبار الكفاءة فيما يخص الرصاص في الدم. وهناك مجموعة متنوعة متقنة مدرجة في الملحق.

6.3 معايير الجودة والشهادات والاعتماد

معايير الجودة والشهادات والاعتماد هي تدابير مهمة لضمان جودة المختبر وإثباتها (22).

وثيقة معايير قياسية - تم إنشاؤها بتوافق الآراء واعتمادها من قبل هيئة معترف بها، وتقدم إرشادات أو مواصفات للأنشطة أو نتائجها، بغرض الاستخدام العام والمتكرر، وتهدف إلى تحقيق الدرجة المثلى من النظام في سياق معين. قد يجري تطوير المعايير القياسية على الصعيد الوطني أو الدولي (22). من أمثلة المعايير الدولية الخاصة بالمختبرات التي تقيس كمية الرصاص في الدم هي المعايير التي وضعها معهد المعايير السريرية والمختبرية (1) والمنظمة الدولية للمعايير (ISO) (26, 27). بالنسبة إلى المختبر الذي يقيس تراكيزات الرصاص في الدم، فالمعياران الملائمان من المنظمة الدولية للمعايير هما معيار ISO 15189:2012 المتعلق بالجودة والكفاءة في المعامل الطبية والمعيار ISO/IEC 17025:2017 المتعلق بالمتطلبات العامة لكفاءة الاختبار ومعامل المعايرة (26, 27).

الرصاص في الدم. في هذه الحالة، يخضع المختبر للفحص من قبل ممثلين من هيئة اعتماد يقومون بتقييم الكفاءة من خلال مراقبة موظفي المختبر، بالإضافة إلى البحث عن أدلة على الامتثال للمعايير والسياسات والإجراءات والمتطلبات والقوانين التنظيمية. يجوز لهيئة الاعتماد أيضًا أن تحدد المعايير التي يجب أن يلتزم بها المختبر، مثل المعيار ISO 17025:2017.

الشهادة هي الإجراء الذي من خلاله تقدم هيئة مستقلة تأكيدًا كتابيًا بأن العملية أو الخدمة تتوافق مع متطلبات محددة. يتضمن هذا فحص المختبر من قبل ممثلين من هيئة إصدار الشهادات، يبحثون عن أدلة على الامتثال للمعايير والسياسات والإجراءات والمتطلبات واللوائح اللازمة للحصول على شهادة الاعتماد. التقييم الرئيسي يهدف إلى التحقق من الوجود الحقيقي للإجراءات والوثائق (22).

الاعتماد هو الإجراء الذي تمنح من خلاله هيئة موثوقة اعترافًا رسميًا بأن المختبر مؤهل للقيام بمهام محددة؛ على سبيل المثال تحديد كمية

7. السيناريوهات

يقدم هذا القسم بعض السيناريوهات المعتادة المطلوب فيها إجراء قياسات لكمية الرصاص في الدم، مع الإشارة إلى بعض الاعتبارات التي ستؤثر على اختيار الطريقة التحليلية.

7.1 التعامل مع التسمم بالرصاص

مهمان. لهذا فإن الطرق المعتمدة على المعامل هي المفضلة. قد يكون استخدام جهاز محمول في طريقة ASV مفيدًا للتشخيص السريع للمريض في حالة التسمم الجماعي، إلا أنه ينبغي تأكيد النتائج الإيجابية بتحليل مختبري باستخدام طريقة تستند إما إلى ETAAS أو ICP-MS.

هناك خبرة في استخدام الأدوات المحمولة في طريقة ASV لدعم التعامل مع التسمم الجماعي في مكان محدود الموارد إذا كانت التحليلات المستندة إلى المعامل غير متاحة. في هذه الحالة، كان هناك حرص على تجنب تلوث العينة، وتم إجراء تحليلات على العينات الوريدية، وتم إرسال نسبة من عينات الدم بانتظام إلى مختبر مرجعي في الخارج للتحقق من النتائج (18). نظرًا لأن تركيزات الرصاص في الدم كانت مرتفعة عمومًا وأعلى من نطاق تشغيل الجهاز المستخدم، تم ابتكار طريقة والتحقق منها لتخفيف عينات الدم قبل إجراء التحليل (19).

يُعتبر تحديد تركيز الرصاص في الدم أمرًا حاسمًا لتشخيص حالات التسمم بالرصاص المشكوك فيها ولتوجيه التعامل معها لاحقًا، مثل استخدام العلاج بالاستخلاب. قد يكون قياس تركيز الرصاص في الدم مطلوبًا لفرد واحد (مثل طفل ابتلع طرف صنارة صيد أو قشور طلاء يحتوي على الرصاص، أو شخص بالغ كان يستخدم دواء تقليديًا يحتوي على الرصاص) أو لمجموعة من الأشخاص (مثل حالات تفشي التسمم بالرصاص الناتجة عن التلوث البيئي بسبب التعديل أو المسابك).

ولتحقيق هذا الغرض، يُعتبر التوفر السريع للنتائج مطلبًا مهمًا، وخاصةً إذا كانت مستويات التعرض تهدد الحياة بشكل حاد. لا يوجد حد منخفض مطلوب عمومًا لتحديد الكمية إلا أن الدقة والضبط

7.2 تقييم التعرض والخطر

قد يكون تحديد تركيزات الرصاص في الدم أمرًا مطلوبًا في إطار إجراء تقييم للخطر الصحي لمجموعة من الناس ربما تكون قد تعرضت للرصاص، مثل مجتمع يعيش بالقرب من مصنع يعالج الرصاص. تقييمات الخطر الصحي تشمل خطوة إجراء تقييم للتعرض لقياس نطاق التعرض للرصاص ومعدل تكراره ومدته إلى جانب عدد السكان المعرضين له وسماتهم. تم نشر إرشاد خاص بإجراء مثل هذه الدراسات من جانب مراكز مكافحة الأمراض والوقاية منها في الولايات المتحدة (28). على الرغم من أنه يمكن استخدام العديد من الواسمات الحيوية لتقييم التعرض البشري للرصاص، فإن تركيز الرصاص في الدم هو الأكثر ثبوتًا والأوسع استخدامًا (7).

تقوم بعض البلاد بإجراء عمليات مسح لمراقبة العلامات الحيوية البشرية من أجل تقييم التعرض لمجموعة من المواد الكيميائية، بما في ذلك الرصاص. تشمل الأمثلة عمليات المسح التي تنفذها كندا وألمانيا والولايات المتحدة الأمريكية. كما يجري تنفيذ مشروع مراقبة العلامات الحيوية البشرية في الاتحاد الأوروبي (29). على مدار عدة جولات من عمليات المسح، تبين أن تركيزات الرصاص في الدم تتراجع على مستوى السكان. في الولايات المتحدة مثلًا، تبلغ آخر قيمة للمتوسط الهندسي 1.12 µg/dL (في عام 2009/2010) وأقصى قيمة لنسبة 95 في المائة من العينة تبلغ 3.34 µg/dL في مقابل 1.66 µg/dL و 5.0 µg/dL على التوالي في عام 1999/2000 (30). في كندا، يبلغ آخر متوسط هندسي 0.93 µg/dL (في عام 2016/2017) وأقصى قيمة لنسبة 95 في المائة من العينة تبلغ 2.5 µg/dL في مقابل 1.2 µg/dL و 3.2 µg/dL على التوالي في عام 2009/2011 (31).

لتقييم التعرض، مطلوب اتباع طرق تحليلية تتمتع بمستوى مرتفع من الدقة والضبط (لتمكين إجراء مقارنة دقيقة للنتائج مع القياسات المستقبلية أو الماضية) وحد منخفض للقدرة على الاكتشاف (للتعرض على المستويات المنخفضة من التعرض)، مثل طريقة ETAAS أو ICP-MS. كما يقدم ICP-MS إمكانية استخدام تحليل نسبة العناصر النظيرة لتحديد المصدر البيئي للتعرض (32).

7.3 الفحص والإشراف

تقدم عدد من الهيئات الوطنية للصحة العامة، كما في فرنسا والولايات المتحدة، توصيات تتعلق بفحص الأطفال والإشراف عليهم تحسبًا لوجود تعرض للرصاص (33, 34). قد تكون هذه البرامج موجهة إلى كل الأطفال في عمر معين أو للأطفال الذين يُعتبروا في خطر فقط. وتضع البرامج حدًا لتركيز الرصاص في الدم يبين وجود التعرض للرصاص (مثل 5 µg/dL) والإجراء الذي ينبغي اتباعه لتحديد مصدر التعرض وإيقافه.

لأغراض الإشراف والطرق المعتمدة على المختبرات التي تتمتع بمستوى مرتفع من الدقة والضبط وحد منخفض من الاكتشاف هي المفضلة. في أغراض الفحص، يمكن استخدام الأدوات المحمولة لطريقة ASV لأنها تقدم التكلفة المنخفضة والطريقة السريعة. إلا أنه ينبغي تأكيد النتائج التي تتجاوز الحد المطلوب لاتخاذ إجراء في المنطقة المعنية بتحليل معلمي.

7.4 الصحة المهنية

غالبًا ما يكون قياس تركيزات الرصاص في الدم جزءًا من المراقبة الروتينية للعمال النشطين في الصناعات التي تستخدم الرصاص. في الكثير من البلدان، تُعد المراقبة المنتظمة لتركيزات الرصاص في الدم لمثل هؤلاء العمال أمرًا لازمًا بموجب تشريع ينص أيضًا على منع تعرض المصابين بتركيزات من الرصاص في الدم أعلى من قيم معينة للمزيد منه أو إبعادهم عنه. تختلف القيمة الحدية من بلد لآخر.

في هذا السياق، مطلوب اتباع طريقة تتمتع بمستوى مرتفع من الدقة والضبط. يعتمد الحد المطلوب للاكتشاف على المنطقة، إلا أنه من المرجح حاليًا أن الطريقة الدقيقة عند حد 5 µg/dL ستكون كافية.

8. الاعتبارات الأخلاقية

عند إجراء أي نوع من دراسات الإشراف أو تقييم التعرض، من المهم الالتزام بالمبادئ الأخلاقية الوطنية والدولية والالتزام بإطار العمل القانوني الوطني إذا كان ساريًا على مثل هذا النشاط. ينبغي أن تحصل الدراسة على موافقة اللجنة الأخلاقية الوطنية قبل البدء في سحب العينات.

- ينبغي إجراء الدراسة بطريقة تعزز حقوق الإنسان وتحترم المشاركين في الدراسة والمجتمع وتحميهم وتعاملهم بإنصاف. كما ينبغي أن تكون الدراسة مقبولة علميًا ومن المتوقع منها أن تتوصل إلى معلومات مفيدة يمكن اتخاذ إجراء بناءً عليها عند الضرورة، بعض المتطلبات الأساسية مدرجة أدناه (35).
 - ينبغي أن يكون الغرض من الدراسة مشروعًا، وينبغي أن يكون محددًا بوضوح وينبغي شرحه بالتفصيل لكل المشاركين، بما في ذلك الأشخاص الذين سيتم سحب عينات الدم منهم.
 - ينبغي الحصول على موافقة كتابية مستنيرة من الأشخاص الخاضعين للدراسة.
 - تتطلب الموافقة المستنيرة تقديم المعلومات التالية:
 - الهدف من الدراسة أو المسح؛
 - السكان المستهدفون وطريقة الاختيار؛
 - المخاطر والفوائد المحتملة بالنسبة للمشاركين؛
 - اعتماد بروتوكول الدراسة أو المسح من جانب لجنة أخلاقية؛
 - الحق في رفض منح الموافقة أو سحبها في أي وقت من دون تقديم أسباب ومن دون التعرض لأي شكل من التمييز؛
 - الحق في الاطلاع على النتائج الشخصية وحق المشاركين في أن يقرروا ما إذا كانوا يريدون معرفة نتائجهم الشخصية أم لا؛
 - إجراء التعامل مع التكريرات المرتفعة من الرصاص في الدم؛
 - متلقو بيانات الدراسة أو المسح؛
 - إجراءات ضمان سرية البيانات الشخصية؛
 - الحقوق بموجب اللوائح الوطنية لحماية البيانات.
- عندما يتلقى الأفراد نتائجهم، ينبغي أن يحصلوا أيضًا على شرح للمدلول الصحي للنتيجة، سواء كانت هناك حاجة لإجراء المزيد من التقييم أو التدخل وكيفية الحصول على هذا. ينبغي إبلاغ المشاركين بالنتائج بشكل مهني باستخدام شخص خبير في هذا النوع من التواصل. ينبغي النظر في الحاجة المحتملة إلى مزيد من المتابعة وطريقة لتقديمها في مرحلة التخطيط للدراسة.

٩. الاستنتاجات

التعرض للرصاص أمر شائع الحدوث، وخاصةً في البلدان حيث يكون التنظيم القانوني لمصادر الرصاص ضعيفًا. وبما أن التعرض للرصاص أمر ضار بالصحة ويمكن أن يؤدي إلى آثار تستمر طوال العمر، فمن المهم تحديد الأشخاص المعرضين واتخاذ الإجراءات الضرورية للوقاية والتقليل بسرعة قدر الإمكان. يُعد قياس الرصاص في الدم هو الطريقة المقبولة على أوسع نطاق لتحديد التعرض للرصاص، ومن المهم توافر إمكانية إجراء هذا التحليل للصحة العامة والصحة المهنية والإدارة السريرية للتسمم بالرصاص. من المثالي أن تتوفر لكل دولة القدرة على الوصول إلى مختبر معتمد أو مضمون الكفاءة يستطيع إحصاء كمية الرصاص في الدم.

التحليلية نفسها لقياس المواد الأخرى المهمة، مثل الزئبق. لهذا قد يكون من الممكن تقديم نموذج أعمال لإنشاء معمل أو لإضافة خدمة إلى معمل قائم. أو يمكن بدلاً من ذلك السعي للحصول على الخدمات من معمل مناسب في مكان آخر (محليًا أو في الخارج).

تتوفر الأجهزة في أماكن تقديم الرعاية وتمارس دورًا في مراقبة التعرض للرصاص. ومع أنه كان يجري استخدامها لتوجيه التعامل السريري في الظروف الحادة، ينبغي التحقق من هذا الاستخدام بواسطة قياسات مختبرية.

إن تأسيس خدمة مختبرية والحفاظ عليها لإجراء تحليلات الرصاص في الدم أمر يتطلب استثمارًا كبيرًا وموارد، إلا أنه يمكن استخدام المعدات

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)

- 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) .13
- 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) .14
- 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) .15
- 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 .16
- 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) .17
- 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 .18
- 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 .19
- 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) .20
- 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) .21
- 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) .22
- 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) .23

- 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) .24
- 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) .25
- 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) .26
- 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) .27
- 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) .28
- 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) .29
- 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) .30
- 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) .31
- 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 .32
- 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) .33

- 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) .34
- 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) .35

ملحق: المخططات الخارجية لتقييم الجودة للمعامل التي تحقق الرصاص في الدم

يقدم الجدول A1١١ معلومات حول عدد المنظمات التي تقدم خدمة خارجية لتقييم الجودة من أجل قياس الرصاص في الدم. تقدم بعض هذه المنظمات خدمة دولية إلى جانب الخدمة الوطنية. هذه القائمة بالخدمات لا تعني أنها برعاية من منظمة الصحة العالمية.

البلد/ المنطقة	البرنامج أو المنظمة	موقع الويب ⁵
كندا	المخطط الخارجي متعدد العناصر لتقييم الجودة في كيبك (QMEQAS)	https://www.inspq.qc.ca/en/ctq/eqas/qmeqas/description
أوروبا	الشبكة الأوروبية لمنظمي المخطط الخارجي لتقييم الجودة للطب المعلمي المهني والبيئي	http://www.trace-elements.eu/default.aspx
ألمانيا	المخطط الخارجي لتقييم الجودة في ألمانيا للتحليلات في المواد البيولوجية المعهد والعيادة الخارجية للطب المهني والاجتماعي والبيئي في جامعة إرلنغن نورمبرغ	/http://www.g-equas.de
إسبانيا	Programa Interlaboratorios de Control de Calidad de Plomo en Sangre [البرنامج المشترك بين المختبرات لمراقبة الجودة المعنية بالرصاص في الدم] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo [المعهد الوطني للسلامة والنظافة في العمل]	https://www.insst.es/plomo-en-sangre.-picc-pbs
المملكة المتحدة	الخدمة الوطنية الخارجية لتقييم الجودة في المملكة المتحدة	http://www.ukneqas.org.uk
	المخطط الخارجي لتقييم الجودة الخاص بالعناصر ضئيلة الكميات، خدمات علم الأمراض في سوراى، غيلدفورد	http://www.surreyeqas.org.uk/trace-elements-teqas

موقع الويب ⁵	البرنامج أو المنظمة	البلد/ المنطقة
http://www.cap.org/web/home/lab/proficiency-&74_testing?_adf.ctrl-state=drowmm178366112906284229=afrLoop	اختبار الكفاءة كلية اختصاصي علم الأمراض الأمريكيين	الولايات المتحدة الأمريكية
http://www.health.pa.gov/Your-Department-20Bureaus/%20and%0f-Health/Offices-Laboratories/Pages/Chemistry/Proficiency-Testing.aspx#.WIsJ2KmkpSE	اختبار الكفاءة الخاص بعلم السموم قمر الكيمياء وعلم السموم، مكتب المعامل، إدارة الصحة، الكومنولث في بنسلفانيا	
https://www.wadsworth.org/programs/ehs/inorganic-analytical-chem/trace-elements	برنامج اختبار الكفاءة في مراقبة العلامات الحيوية في ولاية نيويورك للعناصر ضئيلة الكميات في كل الدم والبول ومصل الدم مركز وادزورث، وزارة الصحة في ولاية نيويورك	
/http://www.slh.wisc.edu/proficiency	اختبار الكفاءة قسم علم السموم، معمل النظافة في ولاية ويسكونسن	
http://www.cdc.gov/labstandards/lamp.html	برنامج الكفاءة الخاص بالرصاص والعناصر المتعددة (LAMP) البرامج المختبرية لضمان الجودة والتوحيد القياسي مراكز مكافحة الأمراض والوقاية منها في الولايات المتحدة	

للمزيد من المعلومات، يُرجى التواصل مع:
قسم البيئة والتغير المناخي والصحة (ECH)
منظمة الصحة العالمية
Avenue Appia 20
27 Geneva 1211-CH

سويسرا
البريد الإلكتروني: ipcsmail@who.int

