التسممات المهنية الناجمة
عن الرصاص ومركباته

منظمة العمل العربية
المعهد العربي للصحة والسلامة المهنية
دمشق

التسممات المهنية الناجمة عن الرصاص ومركباته

منشورات المعهد العربي للصحة والسلامة المهنية
دمشق 2009

تقديم

عرف معدن الرصاص منذ القرن الثاني قبل الميلاد كأحد السموم البيئية والمهنية، وتركز الاهتمام منذ الستينيات، على تحديد تأثيراته السامة الصحية والبيئية، فدرست التأثيرات العكسية للرصاص على نحو مفصل وواسع وعلى مدى سنوات طويلة، وبالرغم من ذلك لا يزال هناك جدل قوي، حول هذا المعدن وتأثيراته السامة وحدود التعرض المقبولة.

يتعرض الكثير من العمال لمستويات متفاوتة من الرصاص ومركباته في مواقع العمل المختلفة، كما يتعرض معظم الناس في حياتهم العادية لمستويات منخفضة من الرصاص جراء التلوث البيئي والاستخدامات الموروثة لهذا المعدن (كمادة مضافة للبنزين، في الطلاء المنزلي، شبكات مياه الشرب، لحام المعلبات، الطب الشعبي... وغيرها) مما جعله مشكلة خطيرة، تتهدد مختلف فئات المجتمع وخاصة عمال الصناعات المعتمدة على الرصاص في البلدان النامية، كما يشكل تعرض الأطفال للرصاص في مرحلة حرجة من نموهم مشكلة صحية هامة.

إن عدم إدراك المخاطر الناجمة عن هذا التعرض دفعنا للتوجه إلى قرائنا الأعزاء واضعين بين أيديهم هذا الكتيب حول (التسممات المهنية الناجمة عن الرصاص ومركباته) للإجابة عن كثير من الأسئلة

التي تجول في ذهن المهتمين، حول ماهية معدن الرصاص وأهم مركباته وأماكن وجوده ودواعي استخداماته، ومصادر التعرض المهنية والبيئية، وتأثيراته الضارة على جسم الإنسان، من خلال تسليط الضوء على دورة حياة هذا المعدن السام في جسم الإنسان (دخولة - امتصاصه - توزعه - اطراحه) وتأثيراته السمية على وظائف أجهزة الجسم المختلفة. إضافة إلى التعريف بمؤشرات التعرض والتأثير وطرق معالجة حالات التسمم به، كما تم تضمين هذا الكتيب ملحقاً يلخص النتائج الوبائية للدراسات الاستباقية التي أجريت عن خطر الإصابة بالسرطان بين المجموعات المهنية المعرضة للرصاص ومركباته.

آملين أن نكون قد حققنا الغاية المنشودة في تقديم المعلومة الصحيحة والمفيدة لجميع المهتمين بقضايا الصحة والسلامة المهنية وحماية بيئة العمل في الدول العربية.

والله الموفق..

مدير المعهد

الدكتور محمود إبراهيم

المحتويات

تقديم **5**

1. لمحة تاريخية **11**

2. مبادئ عامة في علم السموم **17**

1.2 تعاريف ومفاهيم عامة 17

2.2 امتصاص السموم في الجسم وإطراحها 19

1.2.2 عمليات النقل 19

2.2.2 الامتصاص 20

3.2.2 التوزع 21

4.2.2 التخلص من السموم 23

5.2.2 الإطراح 24

6.2.2 النماذج الحركية السمية 25

3. الرصاص ومركباته **27**

1.3 وجود الرصاص وانتشاره في الطبيعة 27

2.3 الخصائص الفيزيائية والكيميائية للرصاص ومركباته 28

1.2.3 الرصاص 28

2.2.3 خلات الرصاص 30

3.2.3 زرنيخات الرصاص 32

4.2.3 ثنائي ميتيل ثنائي كربامات كبريت الرصاص 33

5.2.3 كربونات الرصاص 34

6.2.3 كرومات الرصاص 35

7.2.3 ثاني أوكسيد الرصاص 37
8.2.3 نفثينات الرصاص 38
9.2.3 نترات الرصاص 39
10.2.3 رباعي أوكسيد الرصاص 40
11.2.3 زرنيخيت الرصاص 41
12.2.3 أوكسيد الرصاص 43
13.2.3 رباعي ميتيل الرصاص 44
14.2.3 رباعي ايتيل الرصاص 46
3.3 تطور استخدامات الرصاص ومركباته 48
4.3 مصادر التعرض البيئي للرصاص 52
1.4.3 الهواء 52
2.4.3 التربة 53
3.4.3 الطعام 54
4.4.3 مياه الشرب 54
5.4.3 مصادر أخرى 55
5.3 مصادر التعرض المهني للرصاص 56
4. دورة حياة الرصاص داخل جسم الإنسان 59
1.4 آلية دخول الرصاص إلى الجسم وامتصاصه 59
2.4 توزع الرصاص في الجسم 63
1.2.4 نماذج الحرائك السمية للرصاص 63
2.2.4 توزع الرصاص في الدم 66
3.2.4 توزع الرصاص في العظم 68
3.4 الإطراح 70

5. التأثيرات السمية للرصاص ومركباته 71
1.5 المظاهر البيوكيميائية لسمية الرصاص 71
1.1.5 آلية تأثير الرصاص في تخليق الهيم 73
2.5 التأثيرات الصحية الناجمة
عن التسمم بالرصاص ومركباته 80
1.2.5 تأثير الرصاص في الجهاز العصبي 81
2.2.5 تأثير الرصاص على الكليتين 85
3.2.5 تأثير الرصاص في الجهاز القلبي الوعائي 88
4.2.5 تأثير الرصاص في السبيل الهضمي 90
5.2.5 تأثير الرصاص في الجهاز المناعي 90
6.2.5 تأثير الرصاص في الوظيفة الإنجابية 93
7.2.5 تأثير الرصاص في العين 98
8.2.5 الرصاص والسرطان 101
9.2.5 تأثير الرصاص في الأطفال 102
3.5 العلاقة بين الرصاص والتغذية 106
4.5 الاستعداد الجيني للتسمم بالرصاص 109
6. مؤشرات التعرض والتأثير للعمال المعرضين للرصاص 113
1.6 العضو الهدف للتأثيرات الحرجة للرصاص 114
2.6 طرق المراقبة الحيوية للرصاص ومركباته 116
7. طرق معالجة التسمم بالرصاص 125
ملحق (1) الدراسات الاستباقية لخطر الإصابة بالسرطان
بين المجموعات المهنية المعرضة للرصاص أو مركباته 131
المراجع 141

التسممات المهنية الناجمة عن الرصاص ومركباته

1. لمحة تاريخية:

الرصاص هو أحد المعادن القديمة المستخرجة من المعادن الخام، استخدم منذ نحو 6000 سنة في أواسط آسيا، ويمكننا تتبع استخداماته، وآثاره السامة، منذ مهد الحضارة البشرية .

تنوعت استخدامات الرصاص الواسعة حسبما تصورها العقل البشري، فعلى سبيل المثال : استخدم المصريون القدماء الأدوات، والأوعية المصنوعة من الرصاص، وتشهد التماثيل الصغيرة المصنوعة من الرصاص، في المتحف البريطاني، في لندن، على حقيقة استخدام المصريين للرصاص في الأعمال الفنية، والحرف اليدوية، منذ 3500 سنة قبل الميلاد، كما وضعت النباتات، في حدائق بابل المعلقة، في أحواض رصاصية، لتحفظ الرطوبة في داخلها، في حين استخدمه الرومان، لحفظ النبيذ وعصير الفاكهة المحلى، وكانت عادة شرب مثل هذه المشروبات سائدة بين العائلات الرومانية الأرستقراطية، ويقول بعض المؤرخين أنها كانت مساهماً هاماً في سقوط الإمبراطورية الرومانية، وخلال هذه الحقبة وصل إنتاج الرصاص إلى ذروته الأولى.

عرف اليونان والرومان قديماً بعض التأثيرات السامة للرصاص، فقد وصف أبقراط (منذ نحو 370 قبل الميلاد) نوبة الألم البطني الشديدة، لدى رجل يعمل في استخراج المعادن، بأنها (احتمال مغص رصاصي)، في حين لاحظ نيكاندر nicander، في القرن الثاني قبل الميلاد، الترابط بين التعرض للرصاص، وأعراض مثل؛ شحوب الوجه، والإمساك، والمغص، والشلل. وأشار بليني pliny إلى الطلاء ذي الأساس الرصاصي الذي كان مستخدماً في السفن، وإلى التسمم بالرصاص لدى بنائي السفن. كما اعتاد الناس في تلك الحقبة من الزمن شرب المشروبات الحمضية المخزنة في أوعية فخارية مطلية بالرصاص، ولذلك نسب السير/جورج باكر George Baker مغص ديفونشير DEVONSHIRE، عام 1767 إلى عصير الفواكه الملوث بالرصاص .

وفي عام 1839، نشر Tanquerel Des Planches دراسة شهيرة لـ(1217) حالة تسمم بالرصاص، عرض فيها مشاهداته السريرية، وقد أسهمت كثيراً في إغناء معرفتنا الحالية عن العلامات السريرية وأعراض هذا المرض المهني، ومن ضمنها تأثيراته في الجملة العصبية المركزية (CNS)، فقد أدرك أن معظم حالات التسمم بالرصاص المهني حدثت من استنشاق أغبرة الرصاص، وأبخرته، كما افترض وجود ارتباط بين التعرض للرصاص والمرض الكلوي.

وبذلت بريطانيا العظمى جهوداً كبيرة؛ للسيطرة على التسمم المهني بالرصاص، خلال العقد الأخير، من القرن التاسع عشر؛ إذ قام أول مفتش طبي على المصانع السير/توماس ليغ Thomas Legge بعمل رائد، نجم عنه إصدار تشريعات صارمة عام 1899، تضمنت تصريحاً بأن التسمم بالرصاص مرض مهني يجب الإبلاغ عنه .

ولم تقتصر التأثيرات السريرية الخطيرة للرصاص على القارة الأوروبية، بل انتشرت أيضاً في أمريكا، حيث ظهرت أعراض المغص الرصاصي التي يعود سببها إلى شرب الرّم (شراب مسكر) الذي كان يقطر في أوعية رصاصية، فصدر في Massachustts، عام 1723، تشريع يقضي بمنع استخدام الأغطية والأنابيب الرصاصية في تقطير الرّم، والمشروبات الكحولية المركزة، والمقطرة الأخرى. وبدأت

الاهتمامات الجدية بتسمم الرصاص، في الولايات المتحدة الأمريكية عام 1910 مع استقصاءات أليس هاملتون Alice Hamilton، الرائد في مجال الطب المهني الأمريكي، لصناعات عدة مرتبطة بالرصاص، أجريت بعدها دراسات مفصلة لمظاهر سريرية، وكيميائية، وحيوية، لحالات تسمم بالرصاص.

ورغم التأثيرات السامة المعروفة، والتاريخ القديم، للأمراض المرافقة للرصاص كان هنالك دليل على استخدام مركبات هذا المعدن لأغراض طبية،وخاصة في القرن الثامن عشر في فرنسا. حيث استخدم الجراح/ توماس جولارد Thomas Goulard عضو الجامعة الطبية الشهيرة في Montpellier، مستخلصاً رصاصياً، للاستعمال الخارجي، لعلاج عدد من الحالات؛ مثل: الالتهابات والإلتواءات المفصلية، وتيبس المفاصل، وأذيات الأربطة، والجروح الناجمة عن الطلقات النارية، ومع ذلك لم يوصِ Goulard باستعماله عن طريق الفم .

كما أوصت جهات طبية أخرى، في القرنين الثامن عشر، والتاسع عشر، بأخذ اسيتات الرصاص Lead acetate عن طريق الفم؛ لعلاج الصرع Epilepsy، مع العلم أن هؤلاء الأطباء كانوا في الواقع على علم بالآثار الجانبية لمثل هذه المعالجة. وما زال أحد مخلفات استخدام الرصاص، في التركيبات العلاجية موجوداً في هذه الأيام؛ كاستخدامه في الطب الشعبي في ثقافات آسيوية، وأمريكية لاتينية معينة .

وعلى الرغم من آثار الرصاص الخطيرة في المجتمع منذ ألفي سنة مضت؛ إلا أن الإجراءات الصارمة، في العديد من الدول الصناعية، لم تتخذ إلا في العقود الثلاثة الأخيرة، لتقليص التعرض

البشري للرصاص، معتمدين على سلسلة من الأبحاث العلمية، أجريت في السبعينات، تبرز التأثيرات الصحية الوخيمة، الناجمة عن التعرض لمستويات تدريجية منخفضة، وقد أمكن السيطرة على هذه التعرضات؛ من خلال التشريعات، والتكنولوجيا الحديثة التي جعلت من حالات التسمم الحاد بالرصاص والمصحوب بأعراض خطيرة، مرضاً نادراً عند الأطفال والكبار، وكذلك تطور آليات الفحص والتشخيص؛ لتقييم التعرض، وقياس تراكمه في الجسم، جعل من الممكن تحديد تأثيراته الصحية، والتبدلات السريرية المرافقة عند مستوى منخفض من التعرض للرصاص، ومركباته.

2. مبادئ عامة في علم السموم

علم السموم هو دراسة المواد السامة، وتحديد وتقدير النتائج العكسية المترافقة مع التعرض للعوامل الفيزيائية، والمواد الكيميائية، والظروف الأخرى، ويمتد من الاستقصاءات البحثية الأساسية حول آلية تأثير المواد السامة إلى تطوير الاختبارات المعيارية وتفسيرها موضحاً الخصائص السامة لهذه العوامل. يقدم علم السموم معلومات مهمة لكل من الطب والوبائيات في فهم الأسباب وفي تقديم معلومات حول قبول الارتباطات الملاحظة بين التعرضات، متضمنة المهن والأمراض.

1.2 تعاريف ومفاهيم هامة

- ***السمية***: هي القدرة المتأصلة للعامل الكيميائي على التأثير في العضوية بشكل عكسي.
- ***المواد الحيوية الغريبة***: هو مصطلح خاص بالمواد الغريبة عن العضوية ، وتشمل الأدوية، والمواد الكيميائية الصناعية التي تحدث بشكل طبيعي سموماً، وملوثات بيئية.
- ***الخطر المحتمل***: هو احتمال تحقق السمية في منشأة ما، أو موقع معين.
- ***الخطر***: هو إمكانية حدوث تأثير عكسي معين. ويعبر عنه غالباً بالنسبة المئوية، من الحالات، في عدد مفترض، خلال فترة زمنية محددة.

- ***تقدير السمية وتصنيفها*** :

تقدير السمية هو ترتيب كيفي لجرعات أو سويات التعرض التي تسبب تأثيرات سمية. وقد يكون الترتيب شديد السمية، عالي السمية ، متوسط السمية....

تصنيف السمية يعنى بتصنيف المواد الكيميائية إلى فئات عامة؛ وفقاً لتأثيرها السمي الأكثر أهمية. وتتضمن مثل هذه الفئات المواد المؤرجة، والسامة، والمسرطنة، وغيرها .

- ***الجرعة - الاستجابة***: هي العلاقة بين الجرعة والنسبة المئوية للأشخاص الذين يبدون تأثيراً محدداً،ومع تزايد الجرعة يتأثر عدد أكبر من الأشخاص في المجموعة المعرضة. ومن الضروري في علم السموم، تحديد علاقات الجرعة – التأثير والجرعة – الاستجابة . فالمعيار المستخدم غالباً، لقبول العلاقة السببية، بين العامل والمرض، هو التأثير والاستجابة بالتناسب مع الجرعة.
- **جرعة *التعرض***: هي عبارة عن التركيز الهوائي للملوث المستنشق خلال فترة زمنية محددة (ثماني ساعات).
- ***الجرعة الممتصة***: (حمولة الجسم) هي الكمية الموجودة في الجسم في زمن محدد؛ خلال التعرض أو بعده.
- **جرعة *النسيج***: هي كمية المادة في نسيج محدد .
- **جرعة *الهدف***: هي كمية المادة (مستقلب عادة) المرتبطة بالجزيء الحرج.
- ***زمن الكمون***: هو الزمن الكائن بين التعرض الأول وظهور التأثير، أو الاستجابة، ويستخدم المصطلح غالباً للتأثيرات المسرطنة، حيث يمكن للأورام أن تظهر بعد فترة طويلة من

بداية التعرض، وفي بعض الأحيان بعد فترة طويلة من توقف التعرض.

- ***عتبة الجرعة***: (الجرعة العتبية) عبارة عن مستوى الجرعة الذي لا يظهر دونه أي تأثير ملاحظ.
- ***الجرعة الفعالة*** ($\mathbf{LD_{50}}$): هي الجرعة التي تسبب وفاة 50% من مجموعة حيوانات التجربة. وتعد هذه الجرعة في الأدب الطبي القديم، مقياساً للسمية الحادة للمواد الكيميائية.
- ***التأثيرات الجهازية***: هي تأثيرات سامة، في النسج البعيدة، عن طريق الامتصاص.
- ***العضو الهدف***: هو العضو الأكثر حساسية المتأثر بعد التعرض.
- ***التأثيرات الحادة***: تحدث بعد تعرض محدود، وخلال فترة قصيرة بعد التعرض (ساعات وأيام)، وقد تكون عكوسة أو غير عكوسة.
- ***التأثيرات المزمنة***: تحدث بعد تعرض طويل الأمد (أشهر- سنوات - عقود)، وتستمر بعد توقف التعرض.
- ***التعرض الحاد***: هو تعرض قصير الأمد، أما **التعرض المزمن** فهو تعرض طويل الأمد (أحياناً مدى الحياة).

2.2 امتصاص السموم في الجسم وإطراحها

1.2.2 عمليات النقل

الانتشار: تمر المادة الغريبة، عند دخولها العضوية، عبر حواجز متعددة، بما فيها الخلايا، وأغشيتها. وتمر معظم المواد السامة، عبر

الأغشية بشكل منفعل عبر الانتشار، وهذا ما يحدث بالنسبة للجزيئات الصغيرة المنحلة بالماء إذ تدخل عبر قنوات مائية ،أما المنحلة بالشحوم بالانحلال والانتشار فتدخل من خلال الجزء الشحمي للغشاء.

الجريان في الجسم: تنتقل المواد في الجسم مع حركة الهواء في الجهاز التنفسي، خلال عملية التنفس، وحركات الدم، أو اللمف، أو البول.

الترشيح: نتيجة الضغط التناضحي أو المائي، فالماء يجري بمقادير كبيرة من خلال مسامات في البطانة. يحدث الترشيح في سرير الشعيرات في جميع النسج، وهو مهم في تشكيل البول الرئيسي في الكبيبات الكلوية.

2.2.2 الامتصاص

الامتصاص هو دخول المادة الغريبة من البيئة المحيطة، إلى العضوية، التي يمكن أن تدخلها عبر ثلاث طرق دخول رئيسية:

- عبر الطرق التنفسية؛ باستنشاق هواء ملوث.
- عبر الجلد عن طريق النفوذ الجلدي.
- عبر الطريق المعدي المعوي عن طريق ابتلاع الطعام الملوث والماء والمشروبات.

الامتصاص الرئوي: الرئتان هما الطريق الرئيسي لتوضع واستقرار الجسيمات الهوائية الصغيرة، والغازات، والأغبرة، والأدخنة، والأبخرة. أما الغازات، والأبخرة عالية الانحلالية في الماء، يمتص جزء مهم منها في الأنف، والشجرة التنفسية، أما المواد الأقل انحلالية فيحدث الامتصاص في الأسناخ الرئوية. ويعتمد معدل

الامتصاص على الجريان (التهوية الرئوية، النتاج القلبي)، والانحلالية (الدم: معامل توزع الهواء)، والطرح الاستقلابي.

الامتصاص عن طريق الجلد: يشكل الجلد حاجزاً شديد الفاعلية، فهو مصمم لحماية العضوية من الكائنات الدقيقة، والإشعاع فوق البنفسجي، والعوامل الأخرى الضارة بالصحة، وإن مسافة الانتشار في الأدمة قد تبلغ عشرات الميلليميترات، أما طبقة الكرياتينين فهي ذات مقاومة عالية جداً، لانتشار معظم المواد. ومع ذلك، قد يحدث امتصاص جلدي ملحوظ يسبب السمية لبعض المواد؛ كالمواد المنحلة بالشحوم عالية السمية (على سبيل المثال: المبيدات الحشرية الفوسفورية العضوية، والمذيبات العضوية).

وقد يكون امتصاص البخار عبر الجلد هاماً وخاصة بالنسبة للمذيبات التي لها ضغط بخاري منخفض جداً ولها ألفة عالية للماء والجلد.

الامتصاص المعدي المعوي: بعد الابتلاع العرضي، أو المتعمد، قد تبتلع الجسيمات الكبيرة المستنشقة أصلاً، والمستقرة في الطريق التنفسي، بعد انتقالها إلى البلعوم. وتمتص جميع المواد المنحلة عملياً في الطريق المعدي المعوي، ويمكن لدرجة الحموضة، المنخفضة في الأمعاء، أن تسهل عملية الامتصاص (للمعادن مثلاً).

3.2.2 التوزع:

يعتمد توزع المادة الغريبة، داخل العضوية، على معدلات الامتصاص (القبط)، والاطراح، وعلى جريان الدم إلى النسج، وألفتها لهذه المادة. ويمكن تقسيم السموم إلى أربع مجموعات رئيسية:

- السموم المنحلة في سوائل الجسم.
- السموم المحبة للشحوم، وتبدي ألفة عالية للنسج والأعضاء الغنية بالشحوم (الجهاز العصبي المركزي)
- السموم المشكلة لجسيمات غروانية ،ويتم احتجازها من قبل خلايا الجهاز البطاني الشبكي للنسج، والأعضاء.
- السموم التي تبدي ألفة عالية للعظام، والنسج الضامة (عناصر مؤثرة في العظم، مستهدفات العظم)، مثل الرصاص.

حجم التوزع: هو كمية المادة في الجسم في زمن معين،مقسمة بتركيزها في الدم، أو البلاسما، أو المصل، في ذلك الوقت. والقيمة ليست ذات معنى كحجم فيزيائي، إذ إن العديد من المواد لا تتوزع بشكل منتظم في العضوية، ويشير حجم التوزع الأقل من 1/كغ من وزن الجسم، إلى توزع مفضل في الدم (أو المصل أو البلاسما)، في حين تشير القيمة الأعلى من 1 إلى أفضلية للنسج المحيطية، مثل النسيج الشحمي؛ وذلك بالنسبة للمواد المنحلة في الشحوم.

التراكم: هو تجمع المادة في نسيج، أو عضو، بسويات أعلى منها في الدم، أو البلاسما، ويشير أيضاً إلى التجمع التدريجي في العضوية مع الزمن.

الحواجز: تملك الأوعية الدموية في الدماغ، والخصى، والمشيمة، مميزات تشريحية، تثبط مرور الجزيئات الكبيرة، وهي الحاجز الدماغي الدموي والحاجز الدموي الخصيوي، والحاجز المشيمي الدموي، وهذه الحواجز عديمة الأهمية بالنسبة للمواد الحيوية الغريبة التي يمكن أن تنتشر عبر الأغشية الخلوية.

الارتباط بالدم: يمكن للمواد أن ترتبط بخلايا الدم الحمراء، أو مكونات البلاسما، والجزء غير المرتبط يبقى متاحاً للترشيح، أوالانتشار إلى أعضاء الإطراح. لذلك يزيد الارتباط بالدم من زمن بقاء المواد الغريبة في العضوية إلا أنه يخفف من امتصاصه (قبطه) من قبل الأعضاء الهدف.

4.2.2 التخلص من السموم

وهو زوال المادة من الجسم. وتشمل هذه العملية الاطّراح من الجسم، أو التحول الحيوي لها إلى مواد أخرى. ويعبر عن معدل الزوال، بثابت معدل الاطراح، أو نصف العمر الحيوي أو التصفية. ويمكن للعديد من العوامل أن تؤثر في معدل التخلص من السموم، ومستقلباتها من الجسم:

- الخصائص الفيزيائية – الكيميائية للسموم .
- مستوى التعرض وزمن الإزالة الذي يلي التعرض.
- التوزع في حجرات الجسم.
- معدل التحول الحيوي للسموم المحبة للشحوم إلى مستقلبات أكثر حباً للماء.
- الحالة الصحية العامة للعضوية وبخاصة أعضاء الاطّراح.
- وجود سموم أخرى يمكن أن تتداخل مع عملية الإزالة.

منحنى التركيز - الزمن: إن منحني التركيز في الدم (أو البلاسما) مقابل الزمن، هو طريقة ملائمة لتوصيف امتصاص المادة الحيوية الغريبة، وإطراحها .

نصف العمر الحيوي: هو الزمن اللازم بعد نهاية التعرض لخفض الكمية، في العضوية إلى النصف، ولما كان من الصعب تقييم

الكمية الإجمالية للمادة، فإننا نستخدم القياسات؛ مثل التركيز في الدم (البلاسما). وقد يتغير نصف العمر الحيوي مع الجرعة، وطول فترة التعرض.

التصفية: هي حجم الدم (البلاسما) في واحدة الزمن المصفى، بشكل كامل من المادة،ولتمييزها عن التصفية الكلوية، يضاف إليها في الغالب كلمة استقلابية، أو الدم (البلاسما).

التصفية داخلية المنشأ: وهي قدرة الأنزيمات الداخلية على تحويل المادة، ويعبر عنها بالحجم في واحدة الزمن. وعندما تكون التصفية الفعلية، في عضو ما، أخفض بكثير من جريان الدم، يقال عن الاستقلاب إنّه محدود السعة. وبالعكس عندما تكون التصفية الفعلية أعلى بكثير من جريان الدم، يكون الاستقلاب محدود الجريان.

5.2.2 الاطّراح

الاطّراح هو خروج المادة ومنتجات تحولها الحيوي من العضوية.

الاطّراح الكلوي: تعد الكلى من أعضاء الاطّراح الرئيسية، الأكثر أهمية.فهي عضو متخصص في إطراح سموم ومستقلبات عديدة منحلة بالماء، وهذا يحافظ على استتباب العضوية.ويشمل الاطّراح الكلوي ثلاث آليات مختلفة:

- الترشيح الكبيبي عبر محفظة بومان.
- النقل الفاعل في النبيب القريب
- النقل المنفعل في النبيب البعيد.

اللعاب: يمكن لبعض الأدوية والشوارد المعدنية أن تطرح عبر مخاطية الفم؛ عن طريق اللعاب، مثل الرصاص (خط الرصاص). يتم ابتلاع السموم بعد ذلك؛ لتصل إلى الطريق المعدي المعوي؛ حيث يمكن إعادة امتصاصها أو إطراحها عن طريق البراز.

العرق: يمكن طرح العديد من المركبات غير المتحللة كهرلياً، بشكل جزئي عبر الجلد، عن طريق العرق.

الحليب: يجري طرح العديد من المعادن (الرصاص)، والمذيبات العضوية، وبعض المبيدات الكلورية العضوية، وخاصة المنحلة بالشحوم، عبر غدة الثدي في حليب الأم، ويمكن أن يشكل خطراً على الأطفال الرضع.

الشعر: يمكن اللجوء إلى تحليل الشعر كمؤشر على استتباب بعض المواد الفيزيولوجية. كما يمكن تقييم التعرض لبعض السموم، وخاصة المعادن الثقيلة (الرصاص) عبر هذا النوع من المعايرة الحيوية.

طرق أخرى للإطراح: بعض المواد مثل المذيبات العضوية، ومنتجات التفكك، هي مواد طيارة، ذات انحلالية منخفضة في الدم، يمكن أن يطرح جزء كبير منها عبر الزفير بعد الاستنشاق، بينما يتم إطراح السموم، ذات الانحلالية العالية في الدم، بطرق أخرى. ويتم طرح بعض المواد، وبخاصة الحموض ذات الأوزان الجزيئية العالية، مع الصفراء.

6.2.2 النماذج الحركية السمية

وهي نماذج رياضية مهمة، لفهم وتوصيف امتصاص، وإطراح المادة السامة ومعظم النماذج مقسمة إلى أجزاء، أو حجرات، أي أن

العضوية ممثلة بواحدة أو أكثر من الحجرات. والحجرة عبارة عن حجم نظري كيميائياً، وفيزيائياً، يفترض توزع المادة فيه بشكل متجانس وثابت.

ونميز هنا بين مجموعتين من الحجرات:

1- نظام سريع التبادل . في هذه الحجرات يكون التركيز النسيجي للسم مماثلاً للتركيز في الدم.

2- نظام بطيء التبادل. حيث يكون التركيز النسيجي للسم أعلى من الدم؛ نتيجة الارتباط والتراكم .

3. الرصاص - ومركباته

1.3 وجود الرصاص، وانتشاره في الطبيعة

يوجد معدن الرصاص، بكميات قليلة في الصخور، والتربة، والنباتات، أما خامات الرصاص فتوجد في أجزاء كثيرة من العالم موزعة في القشرة الأرضية مع عدد كبير من المعادن، والخام الأساسي هو (galena) كبريتيد الرصاص الطبيعي، وهو المصدر التجاري الرئيسي للرصاص. يترافق galena عادة مع كبريتيد الفضة، والانتموان والقصدير، والبزموث، والنحاس، وقد يوجد متحداً مع الزنك في (sphalerite) إسفاليريت كبريتيد الزنك. وهناك خامات رصاص أخرى شائعة، تتضمن سيروسيت (cerussite) كربونات الرصاص، وانجليسيت (anglesite) كبريتات الرصاص، وكورسيت (corcoite) كرومات الرصاص، ولفنيت (wulfenite) موليبدات الرصاص (molybdate)، وبيروموفيت (pyromorphite) فوسفات الرصاص، ماتلوكيت (mutlockite) كلوريد الرصاص، وفاندينيت (vanadinite) فانادات الرصاص.

وفي معظم الحالات تحتوي خامات الرصاص على معادن أخرى سامة. وينتج الرصاص اقتصادياً عبر سلسلة من العمليات - استخراج الفلز من المناجم، ثم فصل المعدن عن الشوائب الأخرى بواسطة السحق الجاف، والطحن الرطب، وبعدها صهر معادن الرصاص المتحررة من خلال عملية، ذات ثلاث مراحل من التحضير (المزج - التكييف....)، والتلبيد بالدفع الهوائي، وخفض الفرن العالي، ثم تكرر سبيكة الفرن العالي؛ بإزالة النحاس، والقصدير، والزرنيخ، والانتموان، والزنك، والفضة، والبزموت.

2.3 الخصائص الفيزيائية والكيميائية للرصاص ومركباته

1.2.3 الرصاص pb (82)

CAS No.: 7439-92-1

التصنيف: مادة شديدة السمية ضارة بالبيئة

الرمز: **pb** (رمزه الكيميائي جاء من اسمه اللاتيني plumbum)

النوع: معدن ثقيل من مجموعة الكربون (المجموعة الرابعة عشرة في الجدول الدوري للعناصر الكيميائية)

تصنيف الخطر : 6.1

مجموعة التعبئة : II or I

عبارات السلامة : [S:53-45-60-61]

عبارات الخطورة : [R:61-20/22-33-50/53-62]

الأسماء المرادفة : رصاص معدني.

الخصائص الفيزيائية:

- الوزن الذري: 207.2
- الحجم الذري: 18.17 سم^3/مول
- الكثافة: 11.34 غ/سم^3
- التكافؤ: 4-2
- الصلابة: 1.5 موهز
- درجة الانصهار: 327.5 درجة مئوية
- درجة الغليان: 1740 درجة مئوية
- قابلية الانحلال بالماء :لا توجد
- النظائر: 35 ، نصف العمر الإشعاعي معروف، عدد النوكلونات (181-215) ثلاثة منها فقط مستقرة (pb^{206}-pb^{207}-pb^{208}).

الحالة الفيزيائية والمظهر الخارجي:

هو معدن ثقيل، رمادي اللون، مائل للزرقة، أو (رمادي فضي)، صلب بأشكاله المختلفة، وهو معدن طري، قليل النفاذية، له بريق عندما يقطع حديثاً، ويفقد بريقه في الهواء الرطب؛ ليشكل غلافاً رمادياً باهتاً، الرصاص معدن لين جداً قابل للسحب والطرق ومقاوم للتآكل، وموصل ضعيف للكهرباء.

المخاطر الفيزيائية:

احتمال انفجار الغبار إذا كان على شكل مسحوق أو حبيبياً ممزوجاً بالهواء.

المخاطر الكيميائية:

تتشكل الأبخرة السامة بالتسخين، يتفاعل الرصاص مع العوامل المؤكسدة ، ويتفاعل مع حمض النتريك المركز الساخن، ومع حمض الهيدروكلوريك المركز المغلي، وحمض الكبريتيك. يهاجم من قبل الماء النقي، والأحماض العضوية الضعيفة، بوجود الأوكسجين.

حدود التعرض المهني:

قيمة الحد العتبي: 0.05 مغ/م^3 لمتوسط التعرض الزمني (8 ساعات)

IDLH: 100 مغ/م^3

A3 : (عامل مسرطن مؤكد للحيوان)

3B : فئة العوامل المسرطنة

3A: المجموعة المطفرة للخلايا الجنسية

EU OEL : متوسط التعرض الزمني (TWA) 0.15 مغ/م^3

التأثيرات البيئية:

يتراكم الرصاص في النباتات، والثدييات، لذلك يوصى بعدم دخوله إلى البيئة.

2.3.3 خلات الرصاص (Lead Acetate)

CAS No.: 301-04-2

الصيغة الكيميائية:

$C_4H_6O_4Pb$

$(CH_3COO)_2Pb$

الكتلة الجزيئية : 325.3

RTECS : AI5250000

EINECS: 206-104-4

تصنيف الخطر : 6.1

مجموعة التعبئة : III

عبارات السلامة : [S:53-45-60-61]

عبارات الخطورة : [R:61-33-48/22-50/53-62]

الخصائص الفيزيائية:

درجة الانصهار : 280 درجة مئوية

الكثافة النسبية (WATER=1): 3.3

قابلية الانحلال بالماء، غ/100مل في درجة حرارة 20 درجة مئوية: 44

الحالة الفيزيائية والمظهر الخارجي:

بلورات عديمة اللون، أو مسحوق أبيض

المخاطر الكيميائية:

تتفكك المادة بالتسخين، والاحتراق، مطلقة أبخرة سامة، وأكالة، تحتوي أكسيدات الرصاص وحمض الخل. تتفاعل بقوة مع البرومات، والفوسفاتاز، والكربونات، والفينولات.

حدود التعرض المهني:

قيمة الحد العتبي: بدرجة مساوية للرصاص 0.05 مغ/م^3 لمتوسط التعرض الزمني (8 ساعات)

A3 : (عامل مسرطن مؤكد، للحيوان)

3B : كالرصاص من فئة العوامل المسرطنة

3A : المجموعة المطفرة للخلايا الجنسية

التأثيرات البيئية

تعد هذه المادة سامة للكائنات المائية. وهي خطرة على البيئة، لذلك يجب أخذ الحذر وخاصة بالنسبة للطيور، والثدييات، وتلوث

التربـة، والمـاء. قـد يحـدث تراكـم حيـوي لهـذه المـادة الكيميائيـة في النباتات والحيوانات. لذلك يوصـى بعـدم دخولهـا إلى البيئـة؛ لأنهـا تبقى فيها دائماً.

3.2.3 زرنيخات الرصاص (Lead Arsenate)

الصيغة الكيميائية: $PbHASO_4$

التركيب الكيميائي:

ARSENIC : %21.58

HYDROGEN : % 0.29

LEAD : %59.69

OXYGEN : %18.44

CAS No.: 7784-40-9

الكتلة الجزيئية : 347.1

RTECS : CG0980000

EINECS: 232-064-2

تصنيف الخطر : 6.1

مجموعة التعبئة : **II**

عبارات السلامة : [S:53-45-60-61]

عبارات الخطورة : [R:45-61-23/25-33-50/53-62]

الخصائص الفيزيائية:

درجة الانصهار (يتفكك): 280 درجة مئوية

الكثافة النسبية (WATER=1): 5.79

قابلية الانحلال بالماء: لا توجد

الحالة الفيزيائية والمظهر الخارجي

مسحوق ثقيل، أبيض، عديم الرائحة.

المخاطر الكيميائية:

تتفكك المادة بالتسخين بحرارة فوق 270 درجة مئوية مطلقة أبخرة سامة، تحوي على الزرنيخ، والرصاص، ومركباته.

حدود التعرض المهني:

قيمة الحد العتبي: إلى درجة مساوية لـ $(Pb_3(Aso_4)_2)$ 0.15 مغ/م^3 لمتوسط التعرض الزمني (8 ساعات)

A1 : (عامل مسرطن مؤكد، للبشر)

1 : فئة العوامل المسرطنة

3A : المجموعة المطفرة للخلايا الجنسية

التأثيرات البيئية

تعد هذه المادة سامة للكائنات المائية. يوصى بتجنب إطلاقها في البيئة في ظروف مغايرة للاستخدام الطبيعي.

LEAD BIS(DIMETHYLDITHIOCARBAMATE) 4.2.3

الصيغة الكيميائية: $C_6H_{12}N_2PbS_4$

$((CH_3)_2NCS.S)_2Pb$

CAS No.: 19010-66-3

الكتلة الجزيئية: 447.6

RTECS : OF8850000

EINECS: 242-748-2

تصنيف الخطر : 6.1

الخصائص الفيزيائية:

درجة الانصهار> 310 درجة مئوية

الكثافة: 2.43 غ/سم^3

قابلية الانحلال بالماء: لا توجد

الحالة الفيزيائية والمظهر الخارجي :

مسحوق أبيض

المخاطر الكيميائية:

تتفكك المادة بالاحتراق معطية أبخرة سامة.

حدود التعرض المهني:

غير مثبتة.

5.2.3 سيروسيت (كربونات الرصاص)

LEAD CARBONATE

الصيغة الكيميائية: $Pbco_3$

الكتلة الجزيئية: 267.2

RTECS : OF9275000

EINECS: 209-943-2

تصنيف الخطر : 6.1

CAS No.: 598-63-0

عبارات السلامة : [S:53-45-60-61]

عبارات الخطورة : [R:61-20/22-33-62-50/53]

الخصائص الفيزيائية:

الصلابة: 3-3.5 موهز

درجة الانصهار (يتفكك) :310 درجة مئوية

الكثافة: 6.6 غ/سم^3

قابلية الانحلال بالماء، غ/100مل:0.0001

الحالة الفيزيائية والمظهر الخارجي

بلورات عديمة اللون، أو بيضاء، أو رمادية، أو زرقاء، أو خضراء.

المخاطر الكيميائية:

تتفكك المادة بالتسخين لدرجة 315 مئوية، معطية أبخرة سامة، من أوكسيد الرصاص. تتفاعل بقوة مع الفلورين؛ مسببة خطر الحريق.

حدود التعرض المهني:

قيمة الحد العتبي: إلى درجة مساوية للرصاص 0.05 مغ/م^3 لمتوسط التعرض الزمني (8 ساعات)

A3 : (عامل مسرطن مؤكد، للحيوان)

3B : كالرصاص من فئة العوامل المسرطنة

3A : المجموعة المطفرة للخلايا الجنسية

التأثيرات البيئية

توجد في السلسلة الغذائية المهمة للإنسان، حيث يحدث التراكم الحيوي خاصة في النباتات والثدييات. ينصح بشدة ألا تدخل هذه المادة إلى البيئة؛ لأنها تبقى فيها دائماً.

6.2.3 كورسيت (كرومات الرصاص)

LEAD CHROMATE

الصيغة الكيميائية: $PbCro_4$

الكتلة الجزيئية: 323.2

RTECS : GB2975000

EINECS: 231-846-0

CAS No.: 7758-97-6

تصنيف الخطر : 6.1

مجموعة التعبئة : **III**

عبارات السلامة : [S:53-45-60-61]

عبارات الخطورة : [R:61-20/22-33-62-50/53]

الخصائص الفيزيائية:

درجة الانصهار :844 درجة مئوية

الكثافة:6.3 غ/سم^3

قابلية الانحلال بالماء،غ/100مل بدرجة حرارة 25 مئوية: 0.0000058

الحالة الفيزيائية والمظهر الخارجي

بلورات في مسحوق أصفر إلى برتقالي مصفر

المخاطر الكيميائية:

تتفكك المادة بالتسخين معطية أبخرة سامة، تحوي أوكسيدات الرصاص. يتفاعل بقوة مع المواد المؤكسدة مثل: الماء الأوكسجيني. ويتفاعل مع المركبات العضوية في درجات الحرارة المرتفعة؛ مسبباً خطر الحريق، ويتفاعل مع الحديد(III) سداسي سيانوالحديدات، كما يتفاعل مع aluminium dinitronaphthalen.

حدود التعرض المهني:

قيمة الحد العتبي: إلى درجة مساوية للرصاص 0.05 مغ/م^3 لمتوسط التعرض الزمني (8 ساعات)

قيمة الحد العتبي: إلى درجة مساوية للكروم 0.012 مغ/م^3 لمتوسط التعرض الزمني (8 ساعات)

3B : فئة العوامل المسرطنة

التأثيرات البيئية

خطر على البيئة، قد تتراكم هذه المادة الكيميائية في السلسلة الغذائية، على سبيل المثال:في الأسماك، والنباتات، والثدييات.

7.2.3 ثاني أوكسيد الرصاص
(LEAD DIOXIDE)

الصيغة الكيميائية: PbO_2

الكتلة الجزيئية: 239.2

RTECS : OGO700000

EINECS: 215-174-5

CAS No.: 1309-60-0

تصنيف الخطر : 5.1

مجموعة التعبئة : III

عبارات السلامة : [S:53-45-60-61]

عبارات الخطورة : [R:61-20/22-33-62-50/53]

الخصائص الفيزيائية:

درجة الانصهار : 290 درجة مئوية

الكثافة: 9.38 غ/سم^3

قابلية الانحلال بالماء: لا توجد

الحالة الفيزيائية والمظهر الخارجي

مسحوق، أو بلورات بنية اللون

المخاطر الكيميائية:

تتفكك المادة بالتسخين لدرجة 290 مئوية، معطية الأوكسجين وأبخرة سامة.

تتفاعل بقوة مع المواد القابلة للاشتعال، والمركبات العضوية، والكبريت، والماء الأوكسجيني، والفوسفور؛ مسببة خطر الحريق.

حدود التعرض المهني:

قيمة الحد العتبي: إلى درجة مساوية للرصاص 0.05 مغ/م^3 لمتوسط التعرض الزمني (8 ساعات)

A3 : (عامل مسرطن مؤكد، للحيوان)

3B : كالرصاص من فئة العوامل المسرطنة

3A : المجموعة المطفرة للخلايا الجنسية

التأثيرات البيئية

خطر على البيئة، قد تتراكم هذه المادة الكيميائية في النباتات، والشدييات. وينصح بعدم السماح لهذه المادة بالدخول إلى البيئة.

8.2.3 نفثينات الرصاص

(**LEAD NAPHTHENATE**)

CAS No.: 61790-14-5

الصيغة الكيميائية: $[(CH_2)Ncoo]_2Pb$

تصنيف الخطر : 6.1

عبارات السلامة : [S:53-45]

عبارات الخطورة : [R:61-20/22-33]

الخصائص الفيزيائية:

درجة الانصهار: 100 درجة مئوية

الكثافة النوعية: 1.2

قابلية الانحلال بالماء: لا توجد

نقطة الوميض: قابل للاشتعال

الحالة الفيزيائية والمظهر الخارجي

معجون نصف شفاف، أصفر اللون

المخاطر الكيميائية:

يشكل بالاحتراق أبخرة سامة، تحوي أوكسيد الرصاص.

حدود التعرض المهني:

غير مثبتة.

9.2.3 نترات الرصاص

(LEAD NITRATE)

الصيغة الكيميائية: N_2O_6Pb

$Pb(NO_3)_2$

الكتلة الجزيئية: 331.2

RTECS : OG2100000

EINECS: 233-245-9

تصنيف الخطر : 5.1

CAS No.: 10099-74-8

مجموعة التعبئة : **II**

عبارات السلامة : [S:53-45-60-61]

عبارات الخطورة : [R:61-20/22-33-62-50/53]

الخصائص الفيزيائية:

درجة الانصهار (يتفكك) : 290 درجة مئوية

الكثافة النسبية (WATER=1): 4.6

قابلية الانحلال بالماء، غ/100مل بدرجة حرارة 20 مئوية: 52

الحالة الفيزيائية والمظهر الخارجي

بلورات بيضاء، أو عديمة اللون والرائحة.

المخاطر الكيميائية:

تتفكك المادة بالتسخين لدرجة 290 مئوية، مطلقة أبخرة سامة، من أكاسيد النتروجين، وأكاسيد الرصاص. وهي مؤكسد قوي، تتفاعل بقوة مع المواد القابلة للاشتعال، والمواد المختزلة، ويتفاعل بقوة مع ثيوسينات الأمونيوم، والكربون الملتهب، وهيبوفوسفات الرصاص.

حدود التعرض المهني:

قيمة الحد العتبي: إلى درجة مساوية للرصاص 0.05 مغ/م^3 (TWA)

A3 : (عامل مسرطن مؤكد، للحيوان)

3B : كالرصاص من فئة العوامل المسرطنة

3A : المجموعة المطفرة للخلايا الجنسية

التأثيرات البيئية

تعد هذه المادة سامة للكائنات المائية. قد تسبب هذه المادة تأثيرات طويلة الأمد في البيئة المائية، ويحدث التراكم الحيوي في السلسلة الغذائية، الضرورية للبشر، وخاصة في الكائنات البحرية والبرية. ينصح بشدة ألا تدخل هذه المادة إلى البيئة؛ لأنها تبقى فيها دائماً.

10.2.3 رباعي أوكسيد الرصاص

(**LEAD TETROXIDE**)

CAS No.: 1314-41-6

الصيغة الكيميائية: Pb_3O_4

الكتلة الجزيئية: 685.6

RTECS : OG425000

EINECS: 215-235-6

عبارات السلامة : [S:53-45-60-61]

عبارات الخطورة:

[R:61-20/22-33-62-50/53]

الخصائص الفيزيائية:

درجة الانصهار (يتفكك): 500 درجة مئوية

الكثافة: 9.1 غ/سم^3

قابلية الانحلال بالماء: لا توجد

الحالة الفيزيائية والمظهر الخارجي

مسحوق، أو بلورات حمر.

المخاطر الكيميائية:

تتفكك المادة بالتسخين؛ مطلقة الأوكسجين، وأبخرة سامة. تتفاعل بقوة مع العوامل المختزلة؛ مسببة خطر الحريق.

حدود التعرض المهني:

قيمة الحد العتبي: إلى درجة مساوية للرصاص 0.05 مغ/م^3 (TWA)

A3 : (عامل مسرطن مؤكد، للحيوان)

3B : كالرصاص من فئة العوامل المسرطنة

3A: المجموعة المطفرة للخلايا الجنسية

التأثيرات البيئية

خطر على البيئة، قد تتراكم هذه المادة الكيميائية في النباتات، والثدييات. وينصح بعدم السماح لهذه المادة بالدخول إلى البيئة.

11.2.3 زرنيخيت الرصاص (LEAD ARSENITE)

CAS No.: 10031-13-7

الصيغة الكيميائية: AS_2O_4Pb

$Pb(ASO_2)_2$

الكتلة الجزيئية: 421.0

RTECS : OF8600000

EINECS: 233-083-9

عبارات السلامة : [S:(1/2-)20/21-28-45-60-61]

عبارات الخطورة : [R: 23/25-50/53]

تصنيف الخطر : 6.1

مجموعة التعبئة : **II**

الخصائص الفيزيائية:

الكثافة: 5.85غ/سم^3

قابلية الانحلال بالماء: لا توجد

الحالة الفيزيائية والمظهر الخارجي

مسحوق أبيض

المخاطر الكيميائية:

تتفكك المادة بالتسخين، مطلقة أبخرة سامة من الزرنيخ، والرصاص. تتفاعل مع المواد المؤكسدة، وتتفاعل بقوة مع الأحماض القوية.

حدود التعرض المهني:

قيمة الحد العتبي: إلى درجة مساوية للرصاص 0.05 مغ/م^3(TWA)

قيمة الحد العتبي: إلى درجة مساوية للزرنيخ 0.01 مغ/م^3 (TWA)

A1 : (عامل مسرطن مؤكد، للإنسان)

1 : فئة العوامل المسرطنة

3A: المجموعة المطفرة للخلايا الجنسية

التأثيرات البيئية

قد تكون هذه المادة خطرة على البيئة. يجب أخذ الحذر بالنسبة للكائنات المائية. وينصح بعدم السماح لهذه المادة بالدخول إلى البيئة.

12.2.3 أوكسيد الرصاص
(LEAD OXIDE)

الصيغة الكيميائية: Pbo

الكتلة الجزيئية: 223.2

RTECS: OG1750000

EINECS: 215-267-0

CAS No.: 1317-36-8

عبارات السلامة : [S:53-45-60-61]

عبارات الخطورة: [R:61-20/22-33-62-50/53]

تصنيف الخطر : 6.1

الخصائص الفيزيائية:

درجة الغليان: 1470 درجة مئوية

درجة الانصهار: 888 درجة مئوية

الكثافة: 9.5غ/سم^3

قابلية الانحلال بالماء: لا توجد

الحالة الفيزيائية والمظهر الخارجي

بلورات صفراء إلى حمراء اللون.

المخاطر الكيميائية:

تتفاعل بالتسخين مع مسحوق الألمنيوم، فتتشكل أبخرة سامة.

حدود التعرض المهني:

قيمة الحد العتبي: كالرصاص 0.05 مغ/م^3

A3 : (عامل مسرطن مؤكد، للحيوان)

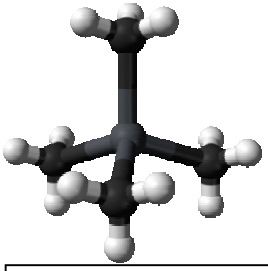
II(8): مثل 0.1 مغ/م^3 من الرصاص، فئة حد الذروة.

3B : فئة العوامل المسرطنة

B : مجموعة خطرة على الحمل.

التأثيرات البيئية

خطر على البيئة، قد تتراكم هذه المادة الكيميائية في النباتات، والثدييات. وينصح بعدم السماح لهذه المادة بالدخول إلى البيئة.



CAS No.: 75-74-1

13.2.3 رباعي ميتيل الرصاص (TETRAMETHYL LEAD)

الصيغة الكيميائية: $Pb(CH_3)_4/C_4H_{12}Pb$

الكتلة الجزيئية: 267.4

RTECS : TP4725000

EINECS: 200-897-0

عبارات السلامة : [S:53-45-60-61]

عبارات الخطورة: [R:61-26/27/28-33-62-50/53]

تصنيف الخطر : 6.1

مجموعة التعبئة : **I**

الخصائص الفيزيائية:

درجة الغليان عند 1.33 kpa : 110 درجة مئوية

درجة الانصهار: 27.5- درجة مئوية

الكثافة النسبية (WATER=1):2.0

الكثافة النسبية لمزيج الهواء/البخار في درجة 20 مئوية (الهواء=1): 1.23

الضغط البخاري، كيلو باسكال في درجة 20 مئوية: 3.0

الكثافة البخارية النسبية (الهواء=1):6.5

حدود الانفجار، حجم % في الهواء: 1.8-

درجة الوميض: 37.8 درجة مئوية cc

درجة حرارة الاشتعال الذاتي: 254 درجة مئوية

معامل تقاسم الماء/الأوكتانول: 6.2

قابلية الانحلال بالماء: لا توجد

الحالة الفيزيائية والمظهر الخارجي

سائل عديم اللون مع رائحة مميزة.

المخاطر الكيميائية:

قد ينفجر لدى تسخينه لدرجة حرارة تزيد على 90 درجة مئوية. وتتفكك المادة عند احتراقها، مطلقة أبخرة سامة تحوي الرصاص، وأوكسيدات الرصاص. تتفاعل بقوة مع المواد المؤكسدة القوية.كما تتفاعل مع الأحماض القوية، وبقوة مع حمض النتريك، يهاجم المطاط.

حدود التعرض المهني:

قيمة الحد العتبي: مثل الرصاص 0.15 مغ/م^3 (TWA)

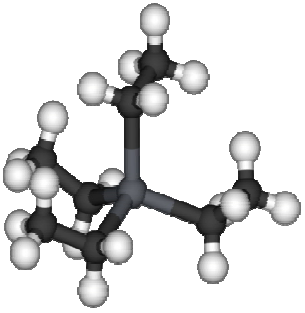
II(2) فئة حد الذروة

(H) امتصاص عبر الجلد

(D) مجموعة خطرة على الحمل.

التأثيرات البيئية

هذه المادة سامة جداً بالنسبة للكائنات المائية، يحدث التراكم الحيوي لهذه المادة الكيميائية، قد يحدث على طول السلسلة الغذائية؛ مثال: في الرخويات، والأسماك.



CAS No.: 78-00-2

14.2.3 رباعي إيتيل الرصاص
(TETRAETHYL LEAD)

الصيغة الكيميائية: $Pb(C_2H_5)_4$

الكتلة الجزيئية: 323.45

RTECS : TP4550000

EINECS: 201-075-4

عبارات السلامة : [S:53-45-60-61]

عبارات الخطورة : [R:61-26/27/28-33-62-50/53]

تصنيف الخطر : 6.1

مجموعة التعبئة : **I**

الخصائص الفيزيائية:

درجة الغليان (يتفكك تحتها): 200 درجة مئوية

درجة الانصهار: 136.8- درجة مئوية

الكثافة النسبية (WATER=1): 1.7

الكثافة النسبية لمزيج الهواء/البخار في درجة 20 مئوية (الهواء=1) : 1.00

الضغط البخاري، كيلو باسكال في درجة 20 مئوية: 0.027

الكثافة البخارية النسبية (الهواء=1): 8.6

حدود الانفجار، حجم % في الهواء: 1.8–

درجة الوميض: 93 درجة مئوية cc

درجة حرارة الاشتعال الذاتي: فوق 110 درجة مئوية

معامل تقاسم الماء/الأوكتانول: 4.15

قابلية الانحلال بالماء: ضعيفة جداً

الحالة الفيزيائية والمظهر الخارجي

سائل لزج عديم اللون، مع رائحة مميزة.

المخاطر الفيزيائية:

البخار أثقل من الهواء.

المخاطر الكيميائية:

تتفكك المادة بالتسخين مطلقة أبخرة سامة. تتفاعل بقوة مع المؤكسدات القوية، والأحماض، والهالوجينات؛ مسببة خطر الحريق، والانفجار. يهاجم المطاط، وبعض أشكال البلاستيك، والطلاء الخارجي.

حدود التعرض المهني:

قيمة الحد العتبي: مثل الرصاص0.1 مغ/م^3 (TWA)

الجلد.

(ACGIH)A4

II(2) فئة حد الذروة

(D) مجموعة خطرة على الحمل.

التأثيرات البيئية

خطرة على البيئة. هذه المادة سامة جداً بالنسبة للكائنات المائية، قد تحدث تأثيرات طويلة الأمد في البيئة المائية، وينصح بعدم السماح لهذه المادة بالدخول إلى البيئة.

3.3 تطور استخدامات الرصاص ومركباته

الرصاص هو المعدن اللاحديدي الأكثر استعمالاً في العالم، ومازال استخدامه هو ومركباته يؤدي دوراً هاماً في الصناعة الحديثة. وبالرغم من التقييدات المطبقة على استخداماته منذ الثمانينات (كالمواد المضافة إلى البنزين، والدهانات، ولحام المعلبات) إلا أن الإنتاج العالمي الحالي يقارب 6.7 مليون طن، إذ إن 33% منه ينتج في الولايات المتحدة، و30% في آسيا، و28% في أوروبا. وتقع معظم مناجم الرصاص في الولايات المتحدة، في ولايتي ميسوري وآلاسكا. ويوضح الجدول (1) الإنتاج العالمي لمناجم الرصاص.

يذهب حوالي 70% من استهلاك الرصاص، في أنحاء العالم لصناعة البطاريات (وخاصة بطاريات السيارات)، في حين يستخدم 10% في الأصبغة. وتستهلك الذخيرة الحربية حوالي 6% من الرصاص المنتج عالمياً. ويستخدم الباقي في إنتاج منتجات أخرى، حاوية على الرصاص، ومنها سبائك اللحام، والبلاستيك، والمطاط، وتغليف الكابلات الكهربائية، والخزانات، وإحكام الوصلات، والعديد من المنتجات الأخرى.

أضيف الرصاص، كمركب عضوي (رابع ايتيل الرصاص)، إلى البنزين، بكميات كبيرة، لأكثر من نصف قرن لرفع فاعلية الأوكتان في كسح الجذور الحرة (عامل مانع للخبط)، ووصل إلى ذروة استخدامه في عام 1970 وبسبب تأثيره الخطر على الصحة، وتداخله مع أنظمة السيطرة على انبعاثات المركبات، انخفض استعماله في أنحاء العالم، وتبعه إدخال بنزين قليل الرصاص، ثم بنزين خال من الرصاص. إلا أن دولاً في أمريكا اللاتينية، وآسيا،

وأفريقيا ما زالت تستخدم البنزين المضاف إليه الرصاص حتى الآن. أما في الولايات المتحدة فقد ألغي تدريجياً إضافة رابع إيتيل الرصاص عام 1978 وحظر إضافته إلى البنزين المستخدم في النقل عام 1995. كما حظر الاتحاد الأوروبي البنزين الحاوي على الرصاص عام 2000.

الجدول (1) الإنتاج العالمي لمناجم الرصاص لعام 2000

الدولة	الإنتاج (بالطن)	الدولة	الإنتاج (بالطن)
الجزائر	818	كازاخستان	40000
الأرجنتين	14115	المكسيك	137975
أستراليا	739000	المغرب	81208
بوليفيا	9523	مينامار	1200
البوسنة والهرسك	200	نامبيا	11114
البرازيل	8832	بيرو	270576
بلغاريا	10500	بولونيا	51200
كندا	152765	كوريا	2724
تشيلى	785	رومانيا	18750
الصين	660000	روسيا	13300
كولومبيا	226	صربيا والجبل الأسود	9000
كوريا الديمقراطية	60000	جنوب إفريقيا	75262

الشعبية			
إكوادور	200	إسبانيا	40300
جورجيا	200	السويد	106584
اليونان	18235	طاجاكستان	800
الهندوراس	4805	تايلندا	15600
الهند	28900	مقدونيا	25000
إيران	15000	تونس	6602
ايرلندا	57825	تركيا	17270
إيطاليا	2000	بريطانيا	1000
اليابان	8835	أمريكا	465000
فيتنام	1000	الإنتاج العالمى 2000/	3180000

أما المواد الرصاصية المضافة (إضافة إلى الرصاص العضوي) فلا تزال موجودة في البنزين لاستخدامات معينة، مثل سيارات السباق، والطيارات، ومحركات معينة لا تستخدم في النقل.

يعد الرصاص معدناً عالي القابلية لإعادة التدوير، حيث أن أكثر من 80% من الرصاص المكرر ناتج عن المعادن الخردة، كما تعد صناعة البطاريات أكبر مستخدم للرصاص في العالم، وهناك ارتفاع في إنتاج البطاريات المخزنة، ويتوقع زيادة في الاستخدامات المستقبلية للرصاص في هذا المجال. كما يستخدم الرصاص في الصناعات الإلكترونية (لحام خلائط الرصاص، والزجاج المعالج بالرصاص)، ويعتبر الرصاص مادة تدريعية هامة للوقاية من الإشعاعات الإيونية؛ إذ يستخدم في وحدات توليد الطاقة (غرف

أشعة X)، وفي المفاعلات النووية، وفي مصادر الطاقة (لمعدات النقل كالروافع الصناعية، ومركبات الخدمة العامة)، واستخدامه في أجهزة خاصة؛ لتجنب انقطاع أنظمة الطاقة الكهربائية في المستشفيات، وأجهزة الكمبيوتر، وشبكات الاتصالات الهاتفية، تمثل مجالات أخرى لتزايد الطلب عليه.

تناقص استخدام الرصاص، غير العضوي في الدهانات بشكل كبير، في الكثير من الدول، خلال العقدين الماضيين، وخاصة بعد إصدار التشريعات التي تلغي تدريجياً استخدام الدهان الحاوي على الرصاص منذ اكتشافه سبباً رئيسياً لتسمم الأطفال الصغار المعرضين في المنازل لابتلاع رقاقات الدهان المنشطرة الحاوية على الرصاص على الأسطح الداخلية للمنازل. فقد كانت أملاح الرصاص تشكل أساس كثير من الأصبغة والدهانات، إذ استخدمت كربونات الرصاص، وكبريتات الرصاص صباغاً أبيض، وكذلك كرومات الرصاص (صفرة الكروم - برتقالية الكروم - حمرة الكروم - خضرة الكروم)، وقد بدأت الولايات المتحدة الأمريكية تطبيق التشريعات القاضية بتخفيض محتوى الرصاص من الدهانات الداخلية في عام 1972، وحظر استخدام الرصاص في الدهان بحلول عام 1978 . إلا أن هذه الدهانات ما تزال موجودة في الكثير من البيوت القديمة، وتشكل خطراً كبيراً على قاطنيها، وخاصة الأطفال. وعلى الرغم من توقف استخدام الدهانات الحاوية على الرصاص إلا أن الرصاص الأحمر (pb_3o_4) ما زال مستخدماً في الكثير من الدول لتغليف المعادن، وحفظها كمقاوم جيد للعوامل الجوية، ومانع للتآكل في مستلزمات صناعية معينة، وكمادة واقية للسفن، والجسور، وسكك الحديد، وهياكل الفولاذ والحديد المتنوعة.

أما خلات الرصاص فكان لها استخدامات في المواد التجميلية، وصباغات الشعر، وفي علاجات شعبية قديمة ، وما زالت تستخدم في الصناعات الكيميائية.

4.3 مصادر التعرض البيئي للرصاص

يتعرض كل شخص لكميات من الرصاص عبر الهواء، والتربة، وغبار المنزل، والطعام، وشرب الماء، ومن خلال منتجات استهلاكية متنوعة. وقد تزايدت كمية الرصاص في الهواء خلال الثورة الصناعية، وارتفعت بشكل ملحوظ في العشرينيات، من القرن الماضي، مع دخول الرصاص إلى البنزين،إلا أن مستوياته في الهواء بدأت تتناقص في السبعينيات؛ بسبب منع استخدامه تدريجياً في البنزين، والدهان، وعلب الأطعمة المحفوظة.

1.4.3 الهواء:

ينطلق الرصاص في الهواء من خلال الانبعاثات الصناعية، ومن المسابك، ومصانع تكرير الرصاص. وكان البنزين المعالج بالرصاص المصدر الأساسي لانبعاثات الرصاص في الغلاف الجوي، وللتلوث البيئي بالرصاص لعقود عديدة. فقد أضيف رابع ايتيل الرصاص للبنزين كعامل مانع للخبط في العشرينات، من القرن العشرين، وأسهم إسهاماً كبيراً في تلويث البيئة العامة. حيث تتفكك ألكيلات الرصاص في أثناء الاحتراق إلى أوكسيدات الرصاص، التي تتفاعل مع كاسحات الهالوجين الموجودة في المواد المضافة إلى البنزين لتولد هاليدات الرصاص، وهي مركبات تتحلل إلى كربونات الرصاص، وأوكسي كربونات، وأوكسيدات، وتنبعث كمية من الرصاص العضوي

في أبخرة العادم بهذه الأشكال ، ويقدر أن 90% من الرصاص الجوي، متولد من عوادم السيارات، إذ إن استخدام البنزين قليل الرصاص، والخالي من الرصاص، صاحبه انخفاض ملحوظ في مستويات الرصاص الجوي، فقد انخفض في الولايات المتحدة الأمريكية بمقدار 93 % ، بين عامي 1982 و2002، وانخفض في كندا بمقدار 76%، بين عامي 1973 و1985، ومنذ حظر استخدام البنزين المعالج بالرصاص، عام 1990 انخفضت نسبة الرصاص في هواء معظم المدن الكندية إلى مادون الحدود الممكن قياسها . كما تنطلق كميات كبيرة من أبخرة الرصاص في عمليات تنقية الرصاص الثانوية، وتعد البطاريات المستعملة مصدراً غنياً وشائعاً للرصاص المستخلص، ويمكن أن تنطلق أيضاً عند حرق النفايات البترولية، أو ورق الصحف الملون، أو أغلفة البطاريات، أو الخشب المطلي بدهان حاوٍ على الرصاص.

والشمعة التي تحوي الرصاص في فتيلها قد تطلق مستويات ضارة من أبخرة الرصاص عند احتراقها . وهذه الأبخرة تستقر قرب الأسطح على شكل أغبرة .

2.4.3 التربة:

تعد التربة مصدراً مهماً للتعرض للرصاص،إذ يصل الرصاص إلى التربة عن طريق الهواء، أو من حت الصخور، الحاوية على الرصاص؛ بفعل العوامل الجوية، وقد ينتقل غبار الرصاص لمسافات طويلة قبل أن يستقر قرب الأرض، وعلى التربة.

تصاحب الازدحام المروري، واستهلاك البنزين الحاوي على الرصاص، مع ازدياد تراكيزه في التربة السطحية، التي يلتصق

الرصاص بجزيئاتها بقوة. كما أسهم تفكك دهانات الأسطح الخارجية للمباني، والهياكل المعدنية، الحاوية على الرصاص؛ بفعل العوامل الجوية، في زيادة نسبته في التربة. وأسهم الاستخدام الواسع لزرنيخات الرصاص (LEAD ARSENATE)، وزرنيخيت الرصاص (LEAD ARSENITE)، كمبيدات، وخاصة في أشجار الفواكه في التلوث البيئي، وقد حظر استخدامهما في عام 1998 .

3.4.3 الطعام:

وجدت آثار الرصاص في معظم الأطعمة . فالرصاص المحمول بالهواء يستقر على المحاصيل، أو التربة، ويمتص من قبل المزروعات، إضافة إلى استخدام الرصاص في لحام العلب المعدنية، الحاوية على الأطعمة المحفوظة، وهذا يشكل مصدراً مهماً لمستهلكي هذه الأطعمة، وقد يدخل الرصاص إلى الطعام، وخاصة الحمضي؛ مثل: عصير الفواكه الموضوع في أوانٍ فخارية، أو زجاجية، مطلية بطبقة زجاجية معالجة بالرصاص. وكذلك بالنسبة إلى الكريستال، المعالج بالرصاص والمستخدم في تقديم المشروبات، فعندما يحصل تماس مع المشروب، وخاصة الحمضي ينحل بعض الرصاص في السائل ، وكمية الرصاص المنحلة تتوقف على محتوى الرصاص في الكريستال، ونوع المشروب، والوقت الذي استغرقه بقاء المشروب داخل إناء الكريستال. أما الأطفال الرضع فيمكن أن يمتصوا الرصاص عن طريق حليب أمهاتهم المعرضات للرصاص المهني.

4.4.3 مياه الشرب:

كان الرصاص ولسنوات عديدة، مكوناً رئيسياً للأنابيب والقنوات والوصلات المعدنية لشبكات مياه الشرب ، وارتشاح الرصاص في الماء

كان مصدراً مهماً لتلوث مياه الشرب. فالمنازل المبنية قبل عام 1950 تحوي أنابيب، ووصلات حاوية على الرصاص. أما في المنازل الأحدث فيمكن أن نجد الرصاص في وصلات لحام أنابيب مياه الشرب لسنوات عدة. وقد يوجد الرصاص في المياه الحمضية، أو الفقيرة بالمعادن أو في البيوت القديمة جداً، والحديثة جداً. تزداد مستويات الرصاص في مياه الصنبور كلما بقيت المياه أكثر في الأنابيب، مياه سبيل الشرب قد تحوي مستويات أعلى من الرصاص تفوق مستوى مياه الصنبور، لأن المياه تبقى عادة لفترات أطول وقد يكون في شبكتها وصلات لحام أكثر.

5.4.3 مصادر أخرى:

هناك مصدر آخر للتعرض المفرط للرصاص والمرتبط بثقافات معينة، كاستخدام الأدوية الشعبية التقليدية والعشبية في الشرق الأقصى، وشرق الهند، وغرب آسيا، وفي ثقافات أمريكا اللاتينية. حيث يضاف الرصاص وغيره من المعادن الثقيلة إلى الأدوية الشعبية كعناصر علاجية، وتستخدم لطيف واسع من الأمراض؛ بما فيها الأعراض المعدية المعوية، والالتواءات والتشنجات الحيضية، كما تطبق على الأطفال في مرحلة بزوغ الأسنان. وهناك بعض الممارسات الشعبية، في دول شرق ووسط آسيا، وشمال إفريقيا، كوضع الكحل في العينين، ترافقت مع ارتفاع معدلات الرصاص في الدم.

5.3 مصادر التعرض المهني للرصاص

يكمن الخطر الأكبر في التعرض للرصاص في أماكن العمل الصناعية، إذ ترافقت نحو 120 مهنة وخطر التعرض للرصاص، خلال العقدين الماضيين.

وتعتبر عمليات سبك الرصاص وصهره (الأولي والثانوي) من أهم مصادر التعرض البيئي والمهني؛ يشتمل صهر الرصاص الأولي على استخراج المعدن من المعادن الحاوية على الرصاص؛ بطرق مختلفة (منها تسخينه إلى الدرجة 600 مئوية)، أما صهر الرصاص الثانوي فيعتمد على تدوير الرصاص من المعادن الخردة، وتتم غالباً في مسابك متوسطة الحجم، أو في ورش صغيرة، يتم في العديد منها صهر البطاريات المستعملة والتالفة؛ للحصول على قوالب الرصاص الخام؛ لاستخدامها في العديد من العمليات الصناعية والإنشائية: (صناعة البطاريات الجديدة - لوازم البناء - صناعة الكابلات - الدروع الواقية من الإشعاعات الإيونية.....)

تعتمد معظم الورش والمسابك الصغيرة، طرقاً قديمة في فصل البطاريات؛ إذ يقوم العمال بتكسير البطاريات، وفصل ألواح الرصاص، وهذا يعرضهم لأكاسيد الرصاص وغيرها من الأتربة، والمواد العالقة، المحملة بأغبرة الرصاص، ويتطلب استخلاص الرصاص عملية صهر للخردة في أفران الصهر، حيث تنطلق أبخرة معدنية وغازات عضوية خطرة، تكون نسبة الرصاص في هذه الانبعاثات نحو 70 %. ومن ثم يكرر الرصاص في أفران التكرير، في درجة 400 مئوية، لتنقيته من الشوائب وصبه؛ لإنتاج قوالب الرصاص الخام .

أما صناعة البطاريات فتعد من أهم مصادر التعرض المهني، وخاصة بطاريات السيارات.حيث تنطوي على بيئة عمل معقدة في معظم خطوات التصنيع،وتترافق مع خطر التعرض للرصاص، مثل صب وقولبة ألواح وصفائح الرصاص، ومزج أوكسيدات الرصاص في معجون، وتطبيقها على الصفائح، وتجفيف وتجميع البطاريات. وبالرغم من التحسينات الأخيرة التي طرأت على هذه الصناعة من تشغيل آلي، وتطبيق تدابير السيطرة، لمنع دخول الرصاص عن طريق التنفس إلا أن خطر التماس المباشر مع مركبات الرصاص مازال مرتفعاً.

تعتبر العمليات المختلفة التي تطبق على معدن الرصاص أو الأسطح المغلفة بالرصاص، مثل: التسخين، أو الهرس، أو الرش، أو اللحام، أو الحرق مصدر تعرض خطر لأدخنة الرصاص وأبخرته وخاصة عند تسخينه، إذ تتشكل أبخرة سهلة الاستنشاق والامتصاص، وهذا ينطبق أيضاً على العاملين في المشغولات الحديدية الزخرفية، وفي صناعة الأواني الخزفية المطلية بالرصاص، والزجاج الكريستالي وتمتد المخاطر لتشمل هواة صناعة الأواني الخزفية، والزجاج الملون في المنازل، أو في غرف صغيرة قرب المنازل، وعلى العاملين في تركيب الهياكل المعدنية والجسور وإعادة تأهيلها وترميمها، حيث تعتبر عمليات ربط الرصاص أو حرقه، من الممارسات الشائعة في البناء، وترميم المباني القديمة، وإزالة الطلاء الرصاصي عن الأسطح الداخلية (بمدفع حراري أو أجهزة التقشير الميكانيكية)، وكذلك عمال فك السكك الحديدية القديمة وصيانة المفاعلات النووية. ويعد استخدام حملاج الأوكسجين، والاستيلين، والبروبان، لقطع هياكل الفولاذ المطلية بالرصاص، مصدراً مهماً للتسمم بالرصاص.

يتعامل بعض العمال في تصنيع البلاستيك الذي أساسه كلوريد متعدد الفنيل، مع مادة مقرة تحتوي على الرصاص، منها فثالات الرصاص الصخرية، وكلوروسيليكات الرصاص، وكربونات الرصاص الأساسية، وتشكل المواد المقرة الرصاصية نحو 60% من استهلاك المواد المقرة وتستخدم في المركبات البلاستيكية التي تتطلب استقراراً حرارياً ومقاومة للشد، كما في العزل الكهربائي. كما تستخدم في تصنيع الأسلاك والكابلات وجدلها، وكان لاستبدال مسحوق المواد المقرة بمواد أخرى على شكل كرات صغيرة، الأثر الكبير في تخفيض الخطر الذي يتعرض له العاملون في تصنيع الكابلات. وتبذل حالياً جهود كبيرة في العديد من الدول الأوروبية، لتطوير مواد مقرة خالية من الرصاص؛ بهدف التخلص منها بحلول عام 2010 .

وعلى الرغم من الإجراءات المتخذة؛ لتحسين السيطرة على التعرض المهني إلا أن الكثير من العمال يتعرضون لمستويات غير آمنة من الرصاص، والأرقام لا تعكس عادة الحجم الحقيقي للمشكلة؛ لأن الكثير من أصحاب العمل لا يجرون فحصاً دورياً للرصاص الدموي لعمالهم، فضلاً عن خطر انتقاله إلى المنزل، وأفراد العائلة وخاصة الأطفال. إذ تنتقل ملوثات مكان العمل الخطرة إلى المنزل، بشكل غير مباشر، عن طريق: (الجلد - الشعر - الثياب - الأحذية - حقيبة الأدوات)؛ فتؤثر في الجهاز الإنجابي للمرأة /الرجل أو في صحة الجنين، أو الوليد، أو أفراد الأسرة.

كما ينتقل الرصاص إلى الطفل الرضيع عن طريق حليب الأم، فهو ينحل بالمواد الدسمة في حليب الأم؛ ملحقاً الأذى بالطفل في مرحلة هامة من عمره. وقد يؤثر الرصاص على وظيفة الإرضاع، حيث يقلص مدته ويقلل كمية الحليب، ويغير طعمه، فيمتنع عنه الرضيع.

4. دورة حياة الرصاص داخل جسم الإنسان

1.4 آلية دخول الرصاص إلى الجسم وامتصاصه

تدخل العناصر الغريبة جسم الإنسان بثلاث طرق رئيسية:

- الطريق التنفسي: استنشاق الهواء الملوث.
- الطريق الهضمي: ابتلاع الطعام، أو المشروبات، أو مواد أخرى ملوثة.
- الطريق الجلدي: امتصاصها عبر الجلد.

يتأثر امتصاص الرصاص بطريقة التعرض، فالخصائص الفيزيائية الكيميائية للرصاص،ووسيلة التعرض، والعمر، والحالة الفيزيولوجية للشخص المتعرض، (الصيام، تركيز العناصر الغذائية؛ مثل الكالسيوم ونسبة الحديد).

يمتص الرصاص اللاعضوي عن طريق استنشاق جزيئاته الدقيقة، أو عن طريق الابتلاع، وهو أقل حدوثاً، أما خطر امتصاص الرصاص اللاعضوي عن طريق الجلد، فلا أهمية له قياساً بطرق الامتصاص الأخرى، إلا أن الجلد المصاب، أو المتأذي ميكانيكياً، أو كيميائياً، أو عبر الأمراض الجلدية، قد يكون طريقاً سهلاً لدخول مركبات الرصاص اللاعضوية؛ مثل أسيتات الرصاص. وعلى العكس، فالمركبات المعدنية العضوية قابلة للذوبان في الشحوم،

ومركبات الرصاص العضوية؛ مثل رابع ايتيل ورابع ميتيل الرصاص، سهلة الامتصاص عبر الجلد، وتشكل مشكلة صحية صناعية معقدة، نسبة إلى مركبات الرصاص اللاعضوية.

إن الطريق الرئيسي لدخول الرصاص إلى الجسم في بيئات العمل الصناعية، هو الطريق التنفسي. ويتوقف معدل الامتصاص التنفسي للرصاص على معدل التنفس، وحجم الجزيء، وشكله، وشحنته، ودرجة انحلاله في سوائل الجسم، ومتوسط قطر جزيئات الرصاص الجوي، إذا كانت ضمن المجال الممكن ترسبه واحتباسه في الطرق التنفسية. ترتبط نسبة الرصاص المترسبة بحمل الرصاص في الهواء، وقدر معدل ترسب الرصاص المحمل بالهواء 40%، تقريباً لدى اليافعين. نصف عمر احتباس الرصاص في الرئتين 15 ساعة (Marrow وآخرون 1980). وتترسب كمية معينة من الرصاص في القصبات الهوائية، وحالما تترسب في الطرق التنفسية السفلية يمتص معظمه في مجرى الدم الرئوي، ويبدو أن جميع الأشكال الكيمائية المختلفة للرصاص اللاعضوي، تمتص بشكل متساو (Marrow وآخرون 1980 USEPA 1986)، وتعتمد درجة الامتصاص على حجم الجزيئات وخاصة إذا كانت الجزيئات صغيرة (أقل من 5 ميكرون)، وعلى حجم الدقيقة التنفسية للشخص المعرض. فقد أظهرت جزيئات رصاص أصغر من 1µm معدلات امتصاص وترسيب، أكبر في الرئتين؛ نسبة إلى الجزيئات الأكبر حجماً (Hodgkins وآخرون 1991، ATSDR 1999)، ويترسب عند اليافعين نحو (30-50%) من الرصاص المستنشق في الطرق التنفسية؛ بحسب حجم الجزيئات، ومعدلات التهوية لدى الأفراد.

وأظهرت دراسات أخرى أن معدل ترسب الرصاص المحمول بالهواء، يراوح بين (30-85 %) عند البالغين، في حين يزداد المعدل بالنسبة للأطفال المعرضين، لاختلاف فيزيولوجية جهازهم التنفسي، فالأطفال يستنشقون حجماً أكبر من الهواء نسبة لكتلة أجسامهم قياساً بالكبار. وبذلك يعتبر حجم جزيء مركب الرصاص، وقابلية انحلاله في سوائل الجسم محددين مهمين للتسمم بالرصاص. وإدراك هذه الحقائق مهم جداً لتقييم الخطر المترافق والتعرض المهني، فعلى سبيل المثال، معدل الامتصاص الرئوي لكبريتيد الرصاص (galena)، المادة الخام الرئيسية في مناجم الرصاص محدودة، بينما المادة الخام التي تحتوي على كبريتات الرصاص وكربونات الرصاص، أكثر قابلية للانحلال في سوائل الجسم، وتشكل خطراً كبيراً على العمال.

وعلى عكس المعدل العالي المرتبط بترسب الرصاص وامتصاصه بالطريق التنفسي لدى الكبار، فامتصاصه عبر الجهاز الهضمي منخفض جداً، وقدر معدل الامتصاص الهضمي بنحو (10-15%)، وتتأثر درجة الامتصاص المعدي المعوي بعوامل عديدة، فهناك: (حجم الجزيء، ومدة بقائه في الجهاز الهضمي، ودرجة الحموضة الموضعية، وقابلية انحلاله، ونوع الرصاص، والصفات الفيزيوكيميائية للوسيطة المبتلعة، والتمعج، واحتمال وجود سموم أخرى...وغيرها). وقد تزداد درجة الامتصاص بشكل ملحوظ؛ بالصيام، أو نقص الكالسيوم، أو الحديد، أو الفوسفور، أو النحاس، أو الزنك. يحدث امتصاص الرصاص بشكل رئيسي، في الاثني عشري، إذ يحدث نقل فاعل و/أو انتشار عبر الخلايا الظهارية المعوية (العابر للخلايا)، أو فيما بين الخلايا، وقد يشمل الرصاص

المتـأين (Pb^{2+}) و/أو معقـدات الرصـاص العضويـة أو غـير العضويـة (Mushak،1991).

أمـا امتصـاص الرصـاص بـالطريق الهضمـي لـدى الأطفـال، والرضع، فأعلى بنحو 50% من الكبار، ويعود ذلك لممارسات الطفل الخاطئة، كعادة مص الإبهام ، أو وضع الألعاب البلاستيكية المطلية بالرصاص في فمه، أو تناول رقاقات الدهان المنشطرة عن الجدران ، أو رضاعة حليب الأم الحاوي على نسبة من الرصاص. وعلى الرغم من معدل الامتصاص الهضمي غير العالي نسبياً، إلا أنه يجب أخذ الحيطة والحذر لتقليص دخوله عبر الجهاز الهضمي، وخاصة في بعض أماكن العمل التي تتزايد فيها خطورة التعرض للرصاص (مثل: معامل تصنيع البطاريات)، حيث يمكن ابتلاعه بطريقة عرضية، أو تناول الطعام الملوث، أو التدخين بأيد ملوثة وفي أماكن ملوثة، أو ابتلاع الجسيمات التي انتقلت من الجهاز التنفسي.

2.4 توزع الرصاص في الجسم

بعد امتصاص الرصاص، عبر أي من طرق الدخول الرئيسية، وبالأخص الطريق التنفسي. سيصل إلى الدم، أو اللمف، أو سوائل الجسم الأخرى، ويمثل الدم السواغ الرئيس لنقل السموم، ومستقلباتها إلى الأعضاء المستهدفة الحساسة. حيث ينتقل نحو 99% من الرصاص بواسطة الكريات الحمر، و 1% بالبلاسما؛ لينتشر في ثلاث مناطق رئيسية: الدم – النسج الرخوة (الكلى، نقي العظام، الكبد...) – النسج المشبعة بالمعادن/المتمعدنة (العظام، الأسنان).

1.2.4 نماذج الحرائك السمية للرصاص

ولما كان الرصاص اللاعضوي لا يستقلب، ولا يهضم في الأمعاء، ولا تزال سميته في الكبد، ونصف عمره الحيوي طويل، فإنه يتراكم في جسم المصاب مع مرور الزمن.

وقد اقترحت نماذج رياضية متعددة لصفات الحرائك السمية للرصاص، أحد هذه النماذج التقليدية يقسم حمل الرصاص في الجسم إلى:

- جميعة (POOL) قابلة للتبادل السريع في الدم، والنسج الرخوة.
- جميعة وسيطة للرصاص القابل للتبادل في الجلد والعضلات.
- جميعة مستقرة في الهيكل العظمي. وهذه الجميعة تحتوي على قسمين :

1- جميعة وسيطة قابلة للتبادل في نقي العظام في القسم التربيقي من العظم.

2- جميعة أبطأ في العظم الكثيف ومنها الأسنان.

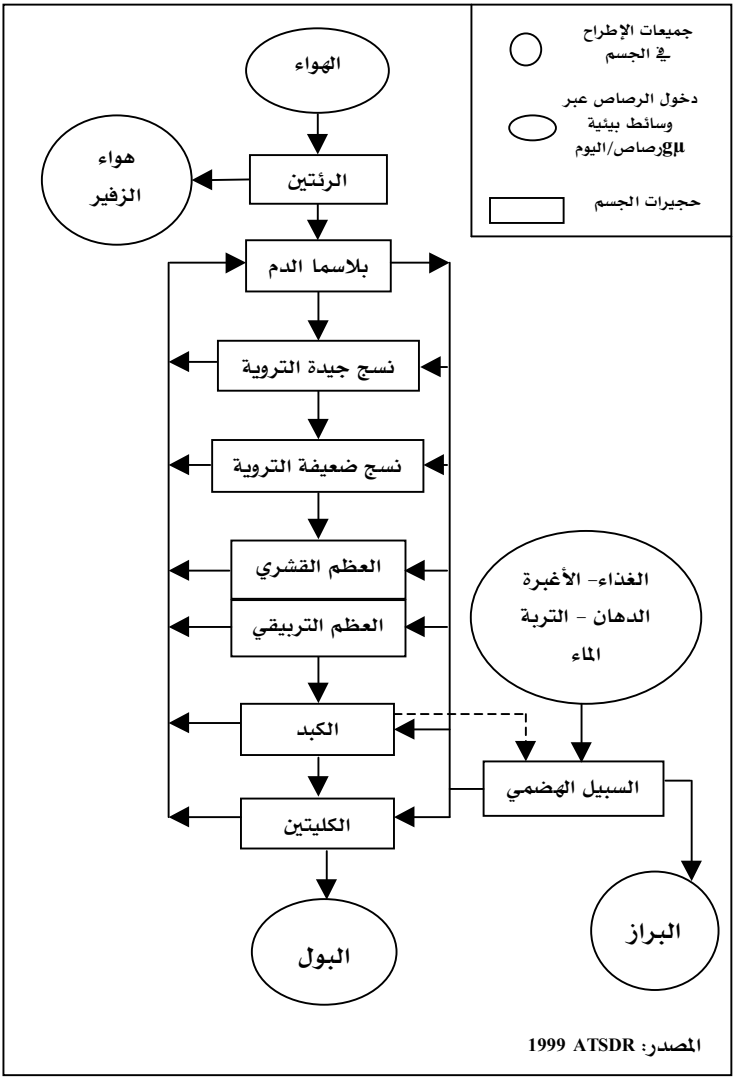
وقد أعير الاهتمام في نموذج آخر متعدد الأقسام ،إلى انتشار الرصاص في العظم؛ إضافة إلى التفاعلات بين الرصاص في البلاسما، والكريات الحمر. إذ افترض تقسيم حجيرات الرصاص الدموي إلى أربعة أقسام فرعية:

الرصاص القابل للانتشار في البلاسما - الرصاص المرتبط بالبروتين في البلاسما - جميعتا كريات حمر.

وقد طورت نماذج أخرى معقدة في محاولة لمعرفة كمية الرصاص الممتص وتوزعه، وتقييم الخطر الكلي وبعضها يوفر معلومات منذ الولادة إلى البلوغ، وبعضها الآخر يركز على تقييم الخطر لدى الأطفال.

يوزع حمل الرصاص الإجمالي في العضوية،ويتنوع النشاط الحيوي للرصاص بين الحجيرات، والقسم الأسرع تبادلاً للرصاص في الدم، هو الجزء الأكثر نشاطاً من الناحية البيولوجية، بالنسبة لحمل الجسم. فعلى سبيل المثال استخدم نموذج O'Flaherty مقياساً (بارامتر) ذا أساس حيوي؛ لتفسير الحجم، والتركيب، والنشاط الاستقلابي للدم والنسج الذي يعين سبل إفراغ الرصاص من الجسم. يوضح الشكل (1) الحجيرات والمسالك في نموذج O'Flaherty (1999 ATSDR)

الشكل (1) حجيرات ومسالك تبادل الرصاص في نموذج O'Flaherty



2.2.4 توزع الرصاص في الدم

يوجد الرصاص في الدم بشكل رئيسي؛ داخل خلايا الدم الحمراء، وقسم صغير يوجد في البلاسما، ويرتبط ببروتينات البلاسما.

فيرتبط حوالي 99% من المعدن بالكريات الحمر، ووجد أن البروتين الأساسي الذي يرتبط به الرصاص هو ديهيدراتاز حمض دلتا - أمينوليفولينيك (ALAD)، ويعرف أيضاً بأنزيم مخلقة طليعة البرفوبيلين (PBGS).

تعد أجزاء الرصاص المرتبطة بالألبومين في البلاسما، وفي السوائل خارج الخلية، هي السواغات الرئيسية التي يصل بها الرصاص إلى بقية أعضاء الجسم.

يشكل الرصاص في البلاسما، المؤشر المباشر للتعرض الحالي والجرعة الداخلية، وأثبتت دراسات حديثة متعددة، استخدمت آليات فائقة الحساسية، لقياس الرصاص في البلاسما، أن مستويات الرصاص في البلاسما قد تختلف اختلافاً جوهرياً عن مستويات الرصاص في الدم. ولهذا السبب يبقى قياس تركيز الرصاص في الدم المؤشر الأسهل، والأكثر استخداماً في المخابر لتقييم التعرض للرصاص وامتصاصه في الجسم.

أكدت دراسات عديدة أن قياس الرصاص في المصل، يعكس بشكل أفضل كمية الرصاص المتاحة في الدورة الدموية المخصصة للتبادل مع الأعضاء الهدف؛ مثل الجهاز العصبي المركزي، والكليتين، والجنين. (Manton وcook، 1984، Flaherty'O،1998 Smith وآخرون 1998، BERGDAHL وآخرون 1999) ولوحظ وجود ترابط أقوى بين معدل

الرصاص في البلاسما/الرصاص الدموي وتركيز الرصاص في العظم، قياساً بتركيز الرصاص الدموي الإجمالي (Cake وآخرون، Hemander-Avila وآخرون، 1998). إن التركيز المنخفض للرصاص في البلاسما، قياساً بخلايا الدم الحمراء جعل من الصعب جداً قياس تراكيز الرصاص في البلاسما بدقة، وخاصة عندما يقل تركيز الرصاص الدموي عن 20 µg/dl (Schütz وآخرون، Hemander-Avila وآخرون، 1998)، تعتبر البلاسما مصدر الرصاص المتاح لعمليات التوزيع والاطراح، إذ يتناسب إطراح الرصاص عن طريق البول مباشرة مع تركيز الرصاص في البلاسما، وليس مع تركيز الرصاص الدموي (O'Flaherty 1993).

لدى التعرض الثابت للرصاص يحدث التوازن بين الدم والأنسجة، ويخرج الرصاص من الدم بسرعة أكبر نسبياً قياساً بأجزاء الجسم الأخرى. والعمر النصفي لهذا الجزء نحو 3 أسابيع/ 25 يوماً، ونحو 40 يوماً في النسج الرخوة، أما القسم الثابت في العظم فعمره النصفي أكثر من 25سنة. فالجسم يراكم هذا المعدن مدى الحياة، ويتخلص منه ببطء.

يمثل تركيز الرصاص الدموي في معظم الأحيان، كمية الرصاص حديثة الامتصاص في الجسم، ومن الصعب التنبؤ بالحالة الثابتة في ظروف التعرض المترافقة مع زيادة تركيز الرصاص الدموي، أو انخفاضه بشكل مفاجئ، وإنما هي نتيجة مدة التعرض وشدته إضافة إلى حمل الجسم الإجمالي. نستنتج من ذلك أن تركيز الرصاص الدموي ليس دليلاً معتمداً لحمل الجسم الإجمالي من الرصاص المتراكم على فترات طويلة، باستثناء الجزء الصغير من الرصاص الموجود في الدم ، فمعظم الرصاص المتراكم يمكن أن نجده

في الهيكل العظمي الذي يعد العضو المثالي للقياس، كمؤشر على الرصاص المتراكم الذي يزداد تركيزه مع العمر.ويمكن أن يساهم تحرير الرصاص العظمي في رفع مستويات الرصاص الدموي؛ نتيجة للتعرض المهني غير المستمر أو لوجود استقلاب مفرط النشاط، وتتراكم أيضاً كميات من الرصاص في الشعر، والأظافر؛ لأنها تحتوي على الكيراتين، ومجموعات سلفهيدريل قادرة على مخلبة الكاتيونات المعدنية.

3.2.4 توزع الرصاص في العظم

يدخل الرصاص الجسم وتسيطر الحرائك الرصاصية خلال الأسابيع القليلة الأولى من التعرض بنصف عمر حيوي ظاهري يقارب عدة أسابيع، وحالما يتقارب التوازن بين النسج الرخوة والدم يحدد تركيز الرصاص في الدم بمجمله عن طريق التوازن بين الامتصاص، والاطراح، والنقل من العظام وإليها . وفي حال غياب التعرض المستمر، يمثل نصف العمر الحيوي لكامل الجسم، بفقد الرصاص من العظم.

يدخل الرصاص إلى العظم ويغادره، بآليات مميزة فيزيولوجياً، وتشمل التبادل السريع بين بلاسما الدم والعظام على كامل سطوح العظم. فيساهم الرصاص في تشكيل العظم، ويخرج عبر الارتشاف العظمي. ويعود التوزع البطيء جداً للرصاص في العظم المستقر إلى التراكم التدريجي لكميات كبيرة من العناصر الباحثة عن العظم مثل الرصاص في العظم القشري الهامد بشكل كبير (Marshall ، 1968،Onkelinx). يقترن تشكيل العظم بارتشاف العظم بإحكام، وخلال مرحلة الطفولة يكبر العظم بسرعة، ويعاد تشكيله باستمرار،

وبالرغم من أن معدل التشكيل يزيد بكثير على معدل الارتشاف، إلا أن العمليتين نشيطتان داخل العظم،إلى أن يكتمل النمو في نهاية سن المراهقة، فيتساوى معدل الارتشاف والتشكيل. وبشكل متتالٍ يرتشف العظم القديم، ويشكل العظم الجديد الذي يحدث في العظم بمجمله، وذلك للحفاظ على نسج عظمية صحية، ولإعادة هيكلة العظم؛ استجابة للمتطلبات الفيزيائية المتغيرة، ويحدث هذا النشاط في العظم التربيقي.

إن اقتران تشكيل العظم وارتشافه، سلاح ذو حدين ، فهنا لابد من التفكير بأن العظم هو مجمع للرصاص، ومصدر خطر له. فعندما يكون الارتشاف كبيراً، وكذلك التشكيل فإن عودة الرصاص إلى بلاسما الدم ستعوض بإعادة ترسبه في العظم المتشكل، ولما كان العظم التربيقي عامة أسرع تقلباً من العظم القشري فإن محتوى الرصاص في العظم التربيقي يستجيب للمتغيرات - زيادة أو نقصاناً - بسرعة أكبر من محتوى العظم القشري. (O'Flaherty / 1993).

ويمكن أن تصل جميعة الرصاص أيضاً إلى الجنين خلال فترة نمو هيكله العظمي، كما ينطلق الرصاص العظمي إلى الدم خلال فترة الإرضاع، وبعد سن الإياس، حيث تنخفض الكثافة العظمية بشكل فعلي ويتحرر الرصاص من العظم. ويعود ذلك إلى فك الاقتران جزئياً بين الارتشاف العظمي والتشكل العظمي، وبشكل مؤقت خلال الخمس سنوات الأولى بعد سن الإياس لدى النساء، حيث يزيد معدل ارتشاف العظم دون زيادة تعويضية في معدل تشكيل العظم، بعد ذلك يتناقص معدل ارتشاف العظم ويعود إلى مستوى مشابه للمستوى الملاحظ لدى الرجال في نفس العمر (والنساء في المرحلة التي تسبق سن اليأس)،

(Nilas وChristiansen، 1988). أما خلال الإرضاع والحمل، فيزداد معدل ارتشاف العظم لتزويد الجنين بالكالسيوم.

3.4 الاطراح

يطرح نحو 50% من الرصاص الدموي الممتص في الظروف الثابتة، بسرعة عن طريق الكلى، أو عبر التصفية الصفراوية، أو عبر الطريق المعدي المعوي.

يطرح الرصاص عن طريق البول (75-80%)، وعن طريق البراز (نحو 15%).

إذ يحتوي الرصاص في البراز على الرصاص غير الممتص في السبيل المعدي المعوي،والرصاص المطروح في الصفراء، (الاطراح البرازي داخلي المنشأ). ويمكن أن يصل الرصاص المطروح عن طريق البراز إلى 90%؛ عندما يكون التعرض عن طريق الابتلاع (Smith وآخرون 1994).

أما الرصاص في البول فيظهر بسرعة بعد امتصاص كمية متوسطة منه، إلى أن يصل الجسم إلى حالة توازن بين الامتصاص والاطراح؛ إذ تكون كمية الرصاص المطروحة في البول، والبراز، والصفراء، والعرق، والشعر، والأظافر مقابلة للكمية الممتصة.

يطرح الرصاص عن طريق العرق بكميات صغيرة، وتتفاوت بحسب التعرض ويمكن أن ترتفع بشكل ملحوظ لدى العاملين في صناعة الرصاص؛ قياساً بالأشخاص غير المعرضين.

ويعد حليب الأم أيضاً وسيلة لطرح الرصاص الموجود في جسم الأم،فهناك علاقة خطية بين تركيز الرصاص في حليب الأم، وتركيز الرصاص في مجمل الجسم.

5. التأثيرات السمية للرصاص، ومركباته

1.5 المظاهر البيوكيميائية لسمية الرصاص

الرصاص معدن سام، يصيب العديد من أجهزة جسم الإنسان، ويؤثر في وظائفها، فهناك آليات كيميائية حيوية معينة، ترتبط بتغيرات في اختبارات الاستجابة البيولوجية التشخيصية، وبالأعراض السريرية لارتفاع الرصاص .

ويمكن تصنيف التأثيرات البيوكيميائية الرئيسية للرصاص ضمن أربع مجموعات. يعد الرصاص معدناً كهرجابياً عالي الألفية لمجموعات السلفهيدريل، المشحونة سلباً، ويتجسد ذلك في أعضاء متعددة عن طريق تثبيط الأنزيمات المعتمدة على السلفهيدريل، وتثبيط أنزيم نازعة الماء حمض دلتا- أمينوليفولينيك (ALA-D) وأنزيم فيروكيلاتاز (Ferrochelatase). وقد استخدم أنزيما السبيل التخليقي الحيوي للهيم في تطوير بعض الاختبارات التشخيصية الأساسية.

ويشبه الرصاص ثنائي التكافؤ في كثير من الجوانب، الكالسيوم، ويعمل بشكل تنافسي مع هذا العنصر، في عدة أجهزة بيولوجية، مثل تنفس المتقدرات، والوظائف العصبية المختلفة. فقد أظهر الرصاص مثلاً تأثيره في إشارات الكالسيوم، كوظيفة الكالسيوم/ II، أنزيم كيناز البروتين المعتمد على كالمودولين (بروتين رابط للكالسيوم)، وهو

بدوره حرج بالنسبة لتكييف التخليق الحيوي، والتعلم، والذاكرة، ولتطور المخ، وعمله، وتفسر أوجه التشابه بين الكالسيوم والرصاص التبادل الحاصل بين هذين العنصرين في العظام، ويفسر أيضاً سبب أن أكثر من 95% من حمل الجسم الإجمالي، من الرصاص مخزن في الهيكل العظمي.

كما يصيب الرصاص الأحماض النووية (الحمض النووي الريبي المنقوص الأوكسجين DNA، والحمض النووي الريبي RNA بآليات لا تزال غير معروفة تماماً،إلا أنها مرتبطة بثنائية تكافؤ أيون الرصاص، إذ إن تأثيره في الأحماض النووية أظهر نتائج بيولوجية مهمة، فقد أظهرت بعض الدراسات معدلات متزايدة من زيغ الصبغيات، والتبادلات الكروماتيدية (SCE) المتكررة، والمتزايدة، والإفراغ غير الطبيعي، لحمض البيتا أمينوايزوبوتيريك المشتق من DNA في كل من حيوانات التجربة، والعمال المعرضين للرصاص.

إن لعنصر مؤكسد الإجهاد وتثبيط إنتاج أكسيد النتريك تأثيرات بيولوجية مهمة ذات علاقة بالمرض المزمن، مثل: تحريض تخليق أكسيجناز هيم -1 في الخلايا النجمية، وتضييق الأوعية الذي يؤدي إلى ارتفاع الضغط.

فيما يتعلق بالعمل الأنزيمي، يقوم الرصاص بتثبيط بيريميدين -5- نوكليوتيداز الكريات الحمر (P5N) لدى الأطفال، والكبار المعرضين للرصاص، الذي يؤدي إلى تراكم النيوكليوتيدات في الكريات الحمر، مؤثرة بذلك في استقرار غشاء الخلية. اقترح اعتبار هذه التفاعلات وغيرها، والتي تحدث مع الأغشية مثل: التداخل مع نشاط Na+/K+ 3- فوسفات الادينوزين (ATPase)، ومضخة Na+/K+ ونظام نقل المواد عبر الجدار الخلوي Na+/K+، قاعدة

بيوكيميائية؛ لتنوع التأثيرات المتعلقة بالرصاص بما فيها : قصر فترة حياة الكريات الحمر وانحلال الدم، والسمية الكلوية، وفرط الضغط.

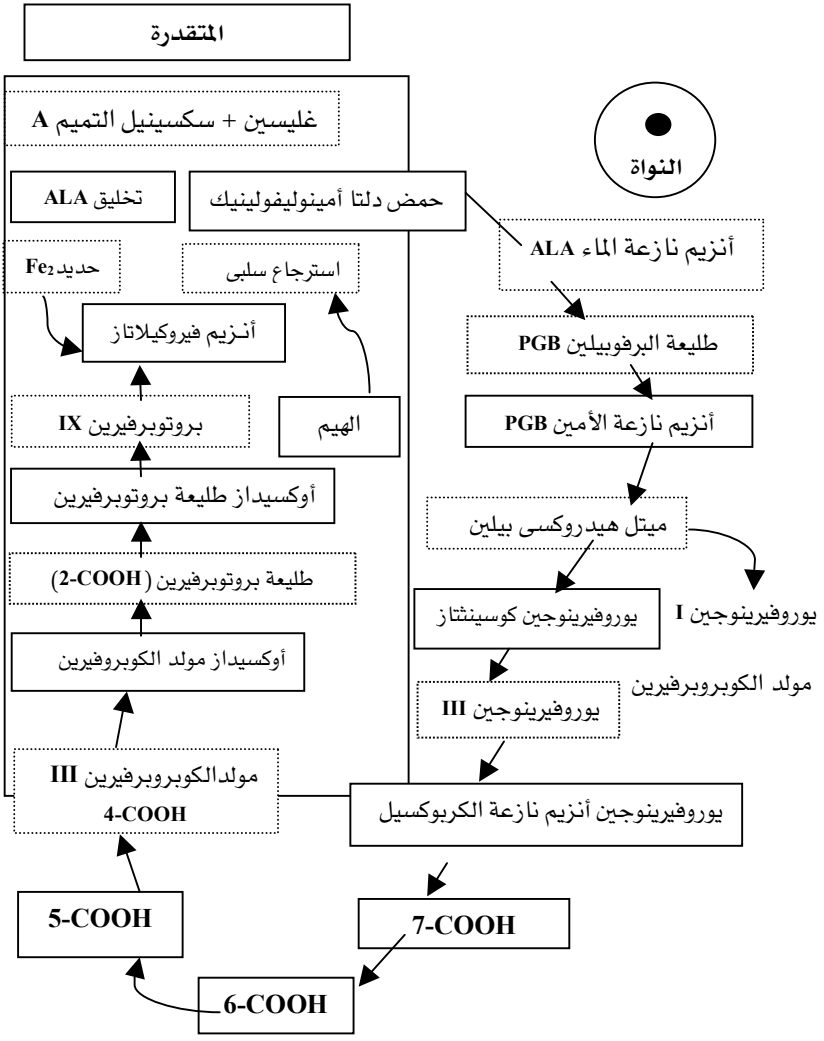
1.1.5 آلية تأثير الرصاص في تخليق الهيم

يعد تأثير الرصاص في أنزيمات متعددة في مسلك تخليق الهيم بيولوجياً، أحد الآليات المهمة لسمية الرصاص إذ يعتبر الجهاز المكون للدم أحد الأعضاء الحرجة المستهدفة من قبل الرصاص الذي يدخل في عملية تخليق الهيم، ويعد أحد المكونات الرئيسية للمظاهر البيوكيميائية، والسريرية، للتسمم بالرصاص. (يوضح الشكل 2 تخليق الهيم بيولوجياً في الخلية).

تهدف بعض التحاليل الدموية التشخيصية الأساسية إلى التحري مبكراً عن التبدلات تحت السريرية وارتباطاتها البيوكيميائية بتأثير سمية الرصاص في تخليق الهيم.

يكون الرصاص أشد تأثيراً في موقعين يشكلان هدفاً في مسلك تخليق الهيم وهما مواقع نشاط ALA-D وأنزيم فيروكيلاتاز ferrochelatase، إذ يثبطهما الرصاص أولاً خلال تداخله مع مجموعات السلفهيدريل. إضافة إلى تأثيره االتحفيزي في أنزيم مخلقة دلتا- حمض أمينوليفلينيك (ALA-S)، وهي الخطوة المحددة لمعدل السرعة في تخليق الهيم بيولوجياً ويحدث ذلك من خلال إزالة الأنزيمات الارتجاعي. حيث يحفز ALA-S تشكيل ALA . ويسبب تثبيط ALA-D، وتحفيز ALA-S زيادة في ALA التي يمكن قياسها في الدم والبول.

الشكل (2) تخليق الهيم بيولوجياً في الخلية



يعد ALA-D المؤشر الأكثر حساسية لتأثيرات الرصاص الحادة والمزمنة، ويتناقص نشاطها مع ارتفاع مستويات الرصاص الدموي، اعتقد فيما مضى أن أقل مستوى رصاص دموي مؤثر شوهد لدى الأطفال، هو 10ميكروغرام في الديسيليتر،وقد تم تخفيضه وفقاً للبيانات الحديثة.ولم يصدر حد عتبي جازم حتى الآن.

لا يعتبر استخدام درجة تثبيط ALA-D عملياً، كبارامتر فحص عملي في الأماكن الصناعية، بسبب مستوى حساسيته المرتفع للرصاص عند مستويات الرصاص الدموي المنخفضة، وعدم التأكد من النتائج الصحية لنشاط ALA-D المثبط. وحيث إنه تم التحري عن التأثيرات الضارة لتراكيز الرصاص الدموية القريبة من 10 ميكروغرام في الديسيليتر (التي تتضمن شذوذات في السلوك العصبي، وفشلاً في استقلاب 1.25 - ثنائي هيدروكسي فيتامين D لدى الأطفال) وقد يظهر من جديد تعيين ALA-D مؤشراً حساساً لسمية الرصاص في المستقبل. يعرض ALA-D أشكالاً متعددة بوجود أليلي ALA-D : ALA-D-2 ، ALA-D-1 وثلاثة أنماط جينية: ALA-D-1،1 وALA-D-1،2 وALA-D-2،2 .

فتح وجود الأشكال المتعددة ل ALA-D مجالاً جديداً للاستقصاءات التي قد تحدد استعداد الأشخاص لتأثيرات الرصاص السامة في أجهزة الأعضاء المتعددة. افترضت بعض الدراسات أن حاملي ALA-D-1,2 وALA-D-2,2 لديهم مستويات رصاص دموي أعلى من حاملي ALA-D-1,1 في ظروف تعرض متماثلة. قد يصيب تعدد الأشكال تحركات الرصاص، وألفته الترابطية مع الأليلات المختلفة، وتوزعه بين الحجيرات المختلفة. يعمل أنزيم فيروكيلاتاز نحو إتمام مسلك تخليق الهيم بيولوجياً، من خلال إدخال ذرة حديد

داخل بروتوبرفيرين IX. ويقوم الرصاص بتثبيط نشاط أنزيم فيروكيلاتاز، وبذلك يمنع تضمين الحديد داخل جزء البرفيرين وبالتالي يمنع دخوله إلى الهيموغلوبين. وينتج عن هذا التداخل تراكم البروتوبرفيرين في طلائع الكريات الحمر داخل نقي العظام، ويعرف ببروتوبرفيرين الكريات الحمر الحر(FEP) في دوران الكريات الحمر، ويمكن استخراجه من خلايا الدم الحمر كمياً؛ بطرق مجهرية متنوعة. أشيع في عام 1974 أن (FEP) لدى المصابين بالتسمم بالرصاص لا يظهر حراً في الكرية الحمراء ولكن يوجد كخلابة معدنية، مثل ZPP . يرتبط ZPP مع جزء غلوبين من جزيء الهيموغلوبين؛ والهيموغلوبين، لدى الأشخاص المصابين بالرصاص، يحتوي على تراكيز عالية من ZPP. وعلى الرغم من أن قياس (FEP)، في الكريات الحمر يحتاج إلى تقنيات مخبرية ،فإن اكتشاف ZPP في الكريات الحمر ينتج عن تطور اختبار استجابة البيولوجية التشخيصية الواسعة الاستخدام في هذه الأيام. فالتقنية العملية البسيطة لقياس ZPP، يعتمد على قياس تألق السطح الأمامي، الذي يستخدم أداة محمولة، وقد أثبتت الفائدة الكبيرة لقياس التألق الدموي، كاختبار استجابة بيولوجي في المسوح السريرية.

يبقى ZPP في الكرية الحمراء لفترة 120 يوماً من مدة حياة الخلية، ولذلك يكون قياس ZPP مؤشراً على التأثير المرتبط بالرصاص في النسج المكونة للكريات الحمر بمتوسط يزيد على ثلاثة شهور، في حين يعكس تركيز الرصاص الدموي الحالة الأكثر حداثة لامتصاص الرصاص.

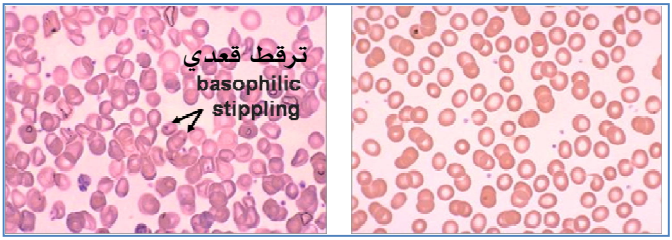
كما تسبب أنيميا نقص الحديد ارتفاع مستويات ZPP، وهي حالة موجودة غالباً لدى الأطفال، الأكثر عرضة للإصابة بالتسمم

بالرصاص، لذلك يجب اعتبار نقص الحديد عاملاً مربكاً مهماً في تفسير نتائج اختبار ZPP. وقد أوضحت دراسات تجريبية تفاعلات ZPP مع استقلاب الحديد والأنزيمات الأخرى التي تعمل في تخليق الهيم.

على الرغم من أن الأنيميا هي دليل الوجود السريري المميز لمراحل متقدمة من التسمم بالرصاص، فإنه يمكن أن يفسر جزئياً بفشل تخليق الهيم. الأنيميا المرتبطة بالرصاص هي فقر الدم السوي الكريات الحمر، وفقر الدم السوي الصباغ (أو فقر الدم ناقص الصباغ)، ويمكن تفريقه في معظم الحالات عن فقر الدم ناقص الحديد، والذي هو فقر دم صغير الكريات، وفقر دم ناقص الصباغ. وغالباً ما يكون مستوى الحديد المصلي طبيعياً، أو مرتفعاً في التسمم بالرصاص. ويسهم قصر فترة حياة الكريات الحمر وانحلال الدم والشذوذات في استقرار غشاء الكريات الحمر في انخفاض مستويات الهيموغلوبين، الذي يتجسد غالباً في مرضى التسمم بالرصاص. اقترح خلل إنتاج اريثروبويتين المترافق والتأذي الكلوي عاملاً مشاركاً آخر للأنيميا المرتبطة بالرصاص.

كان يعتبر الترقط القعدي لخلايا الدم الحمر ،والذي يعكس تكدس الريبوسومات،علامة تقليدية على التسمم بالرصاص، إلا أن هذه الظاهرة تحدث في عدة حالات أخرى (مثل التسمم بالزرنيخ) وبذلك يعتبر كشفاً غير نوعي. ومع ذلك يدعم وجوده تشخيص التسمم بالرصاص في حال كان الكشف المخبري والسريري دالاً على المرض. كما يوضح الشكل (3) الترقط القعدي عند مرضى التعرض المديد للرصاص.

الشكل (3) الترقط القعدي لدى المصابين؛
مع تعرض مديد وشديد للرصاص

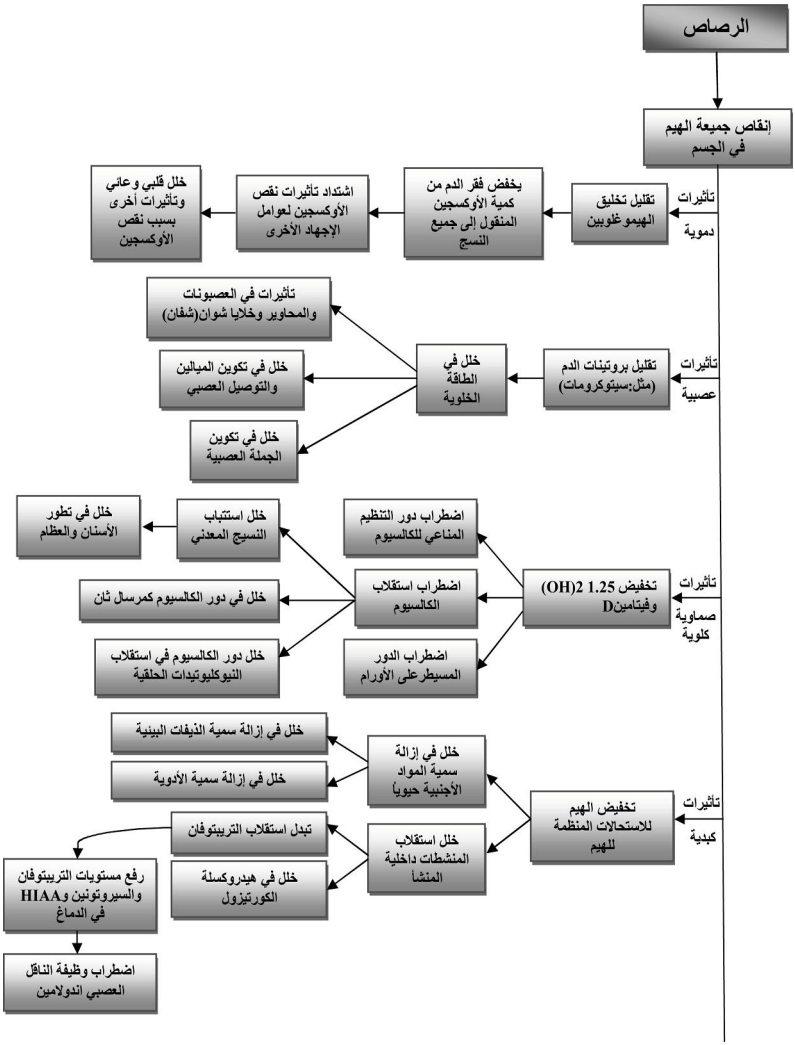


كريات الدم الحمراء الطبيعية التسمم بالرصاص

إن تأثيرات الرصاص المحدثة في تخليق الهيم غير محدودة بالجهاز المكون للدم،على الرغم من أن العلامات الحيوية الدموية الملحوظة لتأثيرات الرصاص تعكس تثبيط الهيم.فتداخل الرصاص على تخليق الهيم قد يصيب وظائف أعضاء أخرى مثل الكبد، والمخ، ويفسر خلل الأداء الوظيفي المرتبط بالرصاص. وللرصاص تأثير مثبط لوظائف معينة، فأنزيمات الأوكسيداز المختلطة الوظائف، المعتمدة على الهيم في الكبد ،أساسية لاستقلاب وإزالة سمية المواد الغريبة بيولوجياً، بالإضافة إلى أهميتها في استقلاب مركبات معينة داخلية المنشأ كالهرمونات. أما فيما يتعلق بالتأثيرات الدماغية، فيؤدي فشل تخليق الهيم إلى ارتفاع مستويات ALA التي قد تصيب وظيفة حمض الغاما- أمينوبوتيريك (GABA)، ويتداخل مع أنزيمات أخرى معتمدة على الهيم، وهذا يزيد من تحرير سيروتونين الناقل العصبي.

الشكل (4)

تأثير نقص جميعة الهيم الناجم عن الرصاص في عدة أعضاء في الجسم



2.5 التأثيرات الصحية الناجمة عن التسمم بالرصاص ومركباته

يعد التسمم بالرصاص، بالدرجة الأولى، مرضاً مزمناً ،يسببه التراكم التدريجي لحمل الجسم من الرصاص. ويعتمد الوقت الفاصل بين بداية التعرض وظهور المرض سريرياً، على شدة التعرض. ففي مستويات التعرض المهنية المنخفضة، والمسيطر عليها جيداً، يحتاج ظهور المرض إلى شهور، أو حتى سنوات من التعرض، وقد ينقضي الوقت قبل ظهور الأعراض السريرية رغم حدوث تغيرات في الاختبارات المتنوعة للاستجابة البيولوجية. وعلى العكس، عند التعرض لمستويات خطرة ومرتفعة، وسائدة بين عمال قطع الهياكل المعدنية، المدهونة بالرصاص بواسطة اللهب وبدون استخدام واقٍ تنفسي مناسب، قد يظهر تراكم في مستويات الرصاص الدموي السامة المترافقة مع الأعراض السريرية بسرعة أكبر خلال أيام أو أسابيع.

يجب أن تدرس التأثيرات السامة للرصاص عند الإنسان من خلال الطيف الواسع للمظاهر المخبرية والسريرية التي تراوح بين الشذوذات الخفيفة البيوكيميائية تحت السريرية، والحالات الإسعافية السريرية الوخيمة. أما النهاية تحت السريرية للطيف التي تعني غياب الأعراض السريرية ، فهي نقطة بداية سلسلة متصلة من توالي التأثيرات الضارة الملحوظة، والتي تبدأ بتثبيط الأنزيمات والزيغ البيوكيميائي، ومن ثم يتطور تدريجياً إلى مرحلة تتميز بأعراض التسمم بالرصاص .

ولما كان من الممكن قياس التبدلات الأنزيمية في مسلك تخليق الهيم بيولوجياً(ALA-D)، أو قياس تراكم ركائز الأنزيم (ALA،ZPP،FEP) بسهولة، فالفرصة موجودة لتعيين تأثيرات الأوضاع الخطرة في مرحلة مبكرة نسبياً بهدف منع الإصابة بتسمم الرصاص السريري الصريح.

1.2.5 تأثير الرصاص في الجهاز العصبي

يعد الجهاز العصبي المحيطي والمركزي من الأعضاء الأهداف للتسمم بالرصاص.

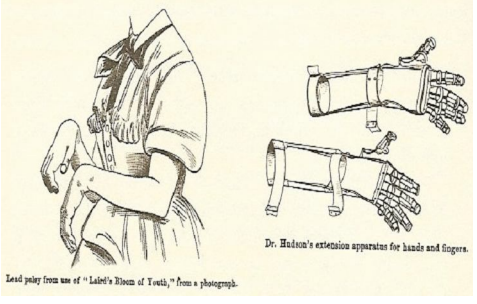
إن الشكل الأكثر خطورة للتسمم بالرصاص نادر الحدوث في أماكن العمل الصناعية هذه الأيام، وتكون فيه الاضطرابات العميقة للجهاز العصبي المركزي بارزة. وتتضمن اختلاجات وهذياناً وغيبوبة. أما الشكل الأكثر تكراراً فهو الذي يحدث عند مستويات تعرض مهنية متوسطة ومنخفضة، وتكون الأعراض المرتبطة بالجهاز العصبي ضعيفة، وغير نوعية. فهذه الأعراض لا يمكن ربطها بسهولة دائماً بالتسمم بالرصاص، إلا إذا كان الطبيب الفاحص مدركاً لمصدر التعرض المحتمل وأخذ التاريخ المهني للعامل بدقة. وتتضمن هذه الأعراض تعباً وصداعاً ودوخة واضطرابات في النوم وضعفاً في الذاكرة، وتغيرات في الشخصية؛ كازدياد التهيج والعنانة، وتناقص الشبق.

تتراوح التظاهرات العصبية لتسمم الرصاص بين شكاوى خفيفة وغير نوعية واعتلال دماغي شديد، وهو التظاهر السريري الأكثر خطورة للتسمم بالرصاص. أما الاعتلال الدماغي الحاد فهو نادر جداً، إلا أنه قد يصادف لدى الأطفال، بعد دخول مفاجئ

وكثيف لكمية كبيرة من الرصاص. وفي مثل هذه الحالات تكون المراجعة الدقيقة لتاريخ الأبوين المهني والبيئي مهمة جداً؛ للكشف عن مصدر التعرض المحتمل.

ما يزال هناك عمال معرضون للرصاص، وبالتالي لخطر الإصابة بخلل أداء الجهاز العصبي، بالرغم من الجهود المبذولة للحد من التعرض المفرط للرصاص في مكان العمل. وهناك دليل على وجود شذوذات في طيف واسع من الاختبارات النفسية العصبية المطبقة على العمال المعرضين للرصاص. حيث تتوافق بعض هذه الشذوذات مع تشخيص المتلازمة العضوية النفسية ، فالأداء العليل في الاختبارات النفسية يترافق مع مستويات رصاص دموي وتراكيز ZPP مرتفعة، ويتضح تناقص سرعة توصيل العصب بنفس النمط لدى مجموعات عديدة من العمال المعرضين للرصاص. وقد سجلت بعض هذه الحالات عند تراكيز 40 ميكروغرام في الديسيلتر وما دون.

هناك إجماع على أن قياس هذا البارامتر يبدو مفيداً في توثيق التغيرات المبكرة في عمل العصب المحيطي، وهو عكوس أحياناً. كان من المعروف أن بارامترات توصيل العصب أكثر ارتباطاً بالدالة المحسوبة لتراكم الدم عبر السنين (آخذين بالحسبان مدة التعرض، وتراكيز الرصاص الدموي) نسبة إلى مستويات الرصاص الدموي


Dr. Hudson's extension apparatus for hands and fingers.

Lead palsy from use of "Laird's Bloom of Youth," from a photograph.

الحالية. المميز الوحيد للاعتلال العصبي المحيطي هو الشلل الحركي أي (تدلي الرسغ، وتدلي القدم) وهو نادراً ما يشخص بين العمال في الصناعات الحديثة؛ لما أجري من تحسينات في السيطرة على التعرض البيئي، وتطبيق الأنظمة الحكومية.

كشفت دراسات سابقة أجريت على تأثيرات الرصاص في الجهاز العصبي المركزي (CNS)، وخاصة السلوكية العصبية، والجهاز العصبي المحيطي (PNS) عن تأثيرات ضارة في القدرات المعرفية والقوة العضلية، وزمن رد الفعل، والتناسق البصري الحركي، والمزاج، عند مستوى رصاص دموي أقل من 60 ميكروغرام في الديسيلتر وهي تقدم دليلاً واضحاً على تأثيرات الرصاص في الجهاز العصبي. وبشكل عام، تدعم جميع الدراسات النتائج التي تفيد بأن التأذي العصبي يحدث عند مستوى رصاص دموي أقل من المسموح به في معايير إدارة السلامة والصحة المهنية الأمريكية (OSHA)، فالجرعتان الحديثة والمتراكمة هامتان في التعرض لخطر التأثير على الجملة العصبية المركزية والمحيطية. وكل من الآليتين الحادة والمزمنة قد يكون فعالاً.

قد يصيب الرصاص تنفس المتقدرة الدماغية، وثنائي فوسفات الأدينوزين (ADP) كما يؤثر في المكونات العصبونية في الحصين hippocampus المتشكلة حديثاً، مؤدية إلى تطور دماغي غير سوي وإلى تبدلات سلوكية. وقد يوجد الرصاص فعلياً في نسيج العصب، وقد يتوضع الرصاص في حيز غمد الليف العصبي للعصب الشظوي وفي الغمد الميالييني، كما يتداخل الرصاص مع جمل النقل العصبي التي تترافق مع اضطرابات سلوكية، تتظاهر لدى الأطفال على شكل فرط نشاط مع تزايد امتصاص الرصاص. وقد درست التأثيرات

العكسية للرصاص في جمل النقل العصبي بتفصيل، وخاصة في الجمل الدوباميـنية، والكولينية، والغلوتامية، وتم التركيز على الجملة الغلوتامية ووظيفتها في تقوية الدفع العصبي طويل الأمد في الحصين الأساسي للتعلم والذاكرة. ووجد أن الرصاص يضعفها، وخاصة خلال مراحل التطور المبكرة. أما تداخل الرصاص على الوظيفة الكولينية فيثبط تحرر الناقل العصبي استيل كولين الذي يرتبط أيضاً بخلل أداء الذاكرة والتعلم. تتضمن تأثيرات الرصاص في الجملة الدوباميـنية المحرضة تقليل تخليق الدوبامين وتحريره. ويتداخل الرصاص أيضاً مع عمل الكالسيوم، فيؤثر في عمليات عدة داخل النسيج العصبي، فكيناز بروتين C المعتمد على الكالسيوم هو مادة أساسية في تخليق الناقل العصبي، وتتظاهر التبدلات التي يحدثها الرصاص في نشاط الكيناز في تثبيط تشكيل الأوعية الدقيقة، وغالباً ما تصيب نفوذية الحاجز الدموي الدماغي.

يعتقد أن الخلل الذي يحدثه الرصاص في الدماغ السمعي، والقوقعة يسهم بقوة في الاضطرابات المعرفية وصعوبات التعلم المترافقة مع التعرض لمستويات منخفضة من الرصاص، إلا أن التأثيرات النوعية لتراكيز الرصاص الدموية المرتفعة في فيزيولوجية الجملة العصبية المركزية، والجملة الحسية، وخاصة الجهاز السمعي لم تفسر بشكل واضح، علاوة على أن الدراسات السابقة التي أجريت على تأثيرات الرصاص السمية في فيزيولوجية جذع الدماغ، والوظائف العصبية الحسية السمعية، أدت إلى نتائج متضاربة (أوتو وفوكس 1993)، كما كشفت دراسات أخرى عديدة على أشخاص معرضين للرصاص، عن ظهور شذوذات في الجذع الدماغي السمعي، وفقدان سمع ملحوظ.

2.2.5 تأثير الرصاص على الكليتين

تشكل الكليتان السبيل الرئيسي لاطراح الرصاص؛ مع أن الطريق المعدي المعوي يؤدي دوراً مهماً أيضاً. إلا أنه يوجد تنوع شخصي كبير في القدرة الإفراغية للرصاص، ويشمل الاطراح الترشيحي الكبيبي، إضافة إلى النقل عبر الخلايا النبيبية. يمتص الرصاص الموجود في الرشاحة الكبيبية المستدقة عن طريق النبيبات. وتعد النسج الكلوية، إضافة إلى كونها سبيل طرح هاماً، أحد النسج الرخوة التي تحوي أعلى التراكيز من الرصاص، كما أنها مصدر إنتاج ALA . فالنسج الكلوية هي هدف لسمية الرصاص، وقد أوضحت دراسات عدة طيفاً واسعاً من العيوب الوظيفية للجهاز الكلوي يتظاهر ببيلة بروتينية، وخلل في نقل الغلوكوز، والأنيونات العضوية، وبيلة الأنزيم.

يشمل اعتلال الكلية بالرصاص خلال الطور الحاد للتسمم المترافق مع تراكيز الرصاص الدموي العالية، تأذي النبيب الداني، مع خلل في الأداء، وتعيين تغيرات بنيوية مستدقة، تتضمن مشتملات داخل النواة في الخلايا الظهارية للنبيب الداني، وتغيرات في خلايا العضيات، وخاصة المتقدرة. وغالباً ما يوصف خلل أداء النبيب الداني لدى العمال المعرضين للرصاص كما يشاهد أيضاً لدى تسمم الأطفال بالرصاص، الذي يتظاهر بمتلازمة فانكوني المتميزة ببيلة حمضمينية، وبيلة غلوكوزية، وفرط فوسفاتاز البول.هذه المتلازمة ليست عابرة، بل تستمر لما يزيد على عشر سنوات تبعاً للتسمم. في حين اعتبر خلل الأداء النبيبي تأذياً مبكراً لتسمم رصاصي واضح سريرياً ومن المحتمل أن يكون عكوساً عند المعالجة. قد يؤدي التعرض المهني الشديد والمديد، للرصاص إلى مرض كلوي متقدم

يتصف بتصلب حبيبي، وتليف خلالي منتشر، وقصور كلوي. وقد يحدث خلال النوبات الحادة للتسمم بالرصاص تضيق أوعية شريانية، وشرينية كلوية، وتعتبر عوامل سببية مهمة.

وقد أقر وجود ترابط بين الشذوذات البيوكيميائية في تخليق الهيم واختبارات وظائف الكلى لدى عمال صهر الرصاص المعرضين لتراكيز عالية من الرصاص.

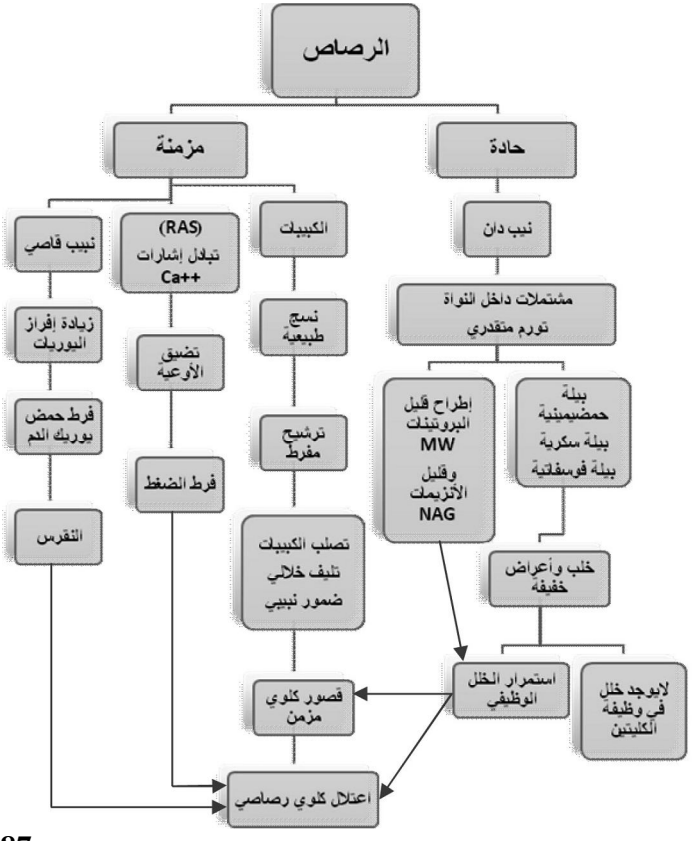
أما المرض الكلوي المزمن الملاحظ لدى العاملين بالرصاص، فيترافق عادة مع تراكيز رصاص دموية مرتفعة طويلة المدى (60 إلى 80 ميكروغرام في الدسيليتر).

يمكن الكشف عن خلل الأداء غير الملحوظ، بقياس إطراح الأنزيمات النبيبية الكلوية مثل N –اسيتيل- بيتا –D- غلوغوز أميناز (NAG)، وهو مقياس حساس للخلل النبيبي. كما تمت الإشارة إلى التغيرات الكلوية المبكرة التي تتضمن تبدلات في ديناميكيا الدم الكلوي (حالة فرط الترشيح)، عند مستويات تعرض متوسطة للرصاص. وعلى نحو مماثل لتخفيض الحدود العتبية للعيوب السلوكية العصبية، فقد ظهر أن التأثيرات الكلوية التي تنعكس في البيلة البروتينية والبيلة الأنزيمية، قد تم اكتشافها عند مستويات الرصاص الدموي (20-50 ميكروغرام في الديسيليتر)، وهي سائدة في المواقع المهنية. كما يوجد تباين فيما يتعلق بالعمر، وارتفاع ضغط الدم، والسكري، فهناك افتراض بأن النقص في معدل الترشيح الحبيبي، قد يبدأ عند مستويات رصاص دموية أقل من 20 أو 10 ميكروغرام في الديسيليتر .

يستخدم مصطلح النقرس الرصاصي (saturnine gout)؛ لوصف العلاقة بين الامتصاص المفرط للرصاص والاعتلال الكلوي

النقرسي. ويشاهد لدى بعض المرضى الذين يعانون من الاعتلال الكلوي النقرسي زيادة في حمل الجسم من الرصاص؛ بحسب اختبار حركة ايديتات الكالسيوم الذي يشير إلى العلاقة السببية للرصاص؛ بزيادة المستويات المصلية لحمض البول الناجم عن تفاقم الاعتلال الكلوي النقرسي. ويلخص الشكل 5 عواقب التعرض المفرط للرصاص على الكليتين.

الشكل (5) عواقب التعرض المفرط للرصاص على الكليتين



3.2.5 تأثير الرصاص في الجهاز القلبي الوعائي

إن الترابط بين التعرض للرصاص والأمراض القلبية الوعائية، وخاصة ارتفاع الضغط، هو حالة تتعلق أكثر بالصحة العامة، وذلك تبعاً لبدايات الاستقصاء السريري في عام 1935، الذي افترض وجود علاقة بين التعرض للرصاص وارتفاع الضغط، وقد أوضحت دراسات عدة حول معدل الوفيات لدى العمال المعرضين للرصاص وجود خطر متزايد من الإصابة بأمراض دماغية وعائية، وأمراض كلوية مزمنة، وأمراض فرط ضغط الدم. فقد يرفع الرصاص ضغط الدم لدى الكبار، عند تراكيز رصاص دموية، تقل عن 20 ميكروغرام في الديسيليتر. ولوحظ في دراسة أجريت على نساء تراوح أعمارهن بين 40 - 59 سنة وجود ترابط وثيق بين الرصاص الدموي وارتفاع ضغط الدم الانبساطي والانقباضي .

وما يزال السؤال عما إذا كان التعرض إلى الرصاص يزيد من ضغط الدم حرجاً، إذ إن الزيادات في ضغط الدم معروفة جيداً كعامل خطورة رئيسي لنتائج عكسية؛ مثل السكتة، واحتشاء عضلة القلب، والفشل الكلوي. فالعلاقة الوبائية بين الرصاص الدموي وارتفاع ضغط الدم غير ثابتة؛ بالرغم من أن بعض الدراسات أظهرت نتائج سلبية أو أعراضاً ملتبسة.

من جهة أخرى، تعد مستويات الرصاص العظمي، وليست تراكيز الرصاص الدموي، منبئاً هاماً عن خطر مرتفع ناجم عن تفاقم ارتفاع الضغط. ففي دراسة أجريت على 798 عاملاً، معرضين للرصاص سابقاً، بعضهم ما يزال معرضاً، وجد أن كلاً من الرصاص الدموي والرصاص الظنبوبي، ترافق مع ضغط الدم

الانقباضي، في حين ترافق الرصاص الظنبوبي مع حالة ارتفاع الضغط. نستنتج أن الجرعتين الحديثة والمتراكمة قد تؤثران في ضغط الدم، وفي زيادة خطر الإصابة بارتفاع الضغط عند مستويات تعرض متوسطة نسبياً، ومثل هذه المستويات منتشرة في مواقع العمل الحالية. إن ارتفاع الضغط يعد عامل خطورة هاماً لمرض القلب والسكتة القلبية وأمراض الكلى ، والتعرض للرصاص قد يحدث تأثيراً هاماً في معدل الوفيات، فارتفاع الضغط يسبب أمراضاً كلوية، والأمراض الكلوية تسبب ارتفاعاً في الضغط.أما الخطر التاجي الناجم عن التعرض للرصاص فقد درس من قبل كيركبي وجينتلبرغ (kirkby&Gyntelberg) على 96 عاملاً معرضاً لمستويات مرتفعة جداً من الرصاص (متوسط تركيز الرصاص الدموي SD، 51±16 µg/dl) ويعملون في صهر الرصاص لمدة تراوح بين 9-45 سنة، وعلى مجموعة مرجعية (متوسط تركيز الرصاص الدموي 11±3 µg/dl) وغير معرضين للرصاص، بغرض الموازنة. مع الأخذ بالحسبان: العمر، والجنس، والطول، والوزن، والحالة الاجتماعية والمهنية، واستهلاك التبغ والكحول. فوجد أن العمال المعرضين للرصاص لديهم ارتفاع في ضغط الدم الانبساطي، وتغيرات كهربية قشرية إقفارية، وانخفاض في مستويات البروتينات الشحمية عالية الكثافة ،نسبة إلى المجموعة المرجعية. كما وجد لدى العمال المعرضين للرصاص والمصابين بتغيرات كهربية قشرية، ضغط دم أعلى من المجموعة المرجعية المصابة بتغيرات كهربية قشرية. تشير هذه النتائج إلى وجود خطورة تاجية أعلى لدى عمال صهر الرصاص، كما تدعم فرضية الترابط الإيجابي بين التعرض للرصاص والتصلب الشرياني، وضغط الدم المرتفع.

4.2.5 تأثير الرصاص في السبيل الهضمي

تعد الاضطرابات الهضمية من الشكاوي المتكررة لدى الأشخاص (أطفال ويافعين) الذين يتزايد لديهم امتصاص الرصاص، عند تراكيز رصاص دموية مرتفعة، تراوح بين 40-60 µg/dl، والكثير من هذه الأعراض غير نوعية، وهي عبارة عن انزعاج في المعي الخلفي، وغثيان، وفقد شهية، وفقدان وزن، وعسر هضم. في حين تترافق هذه الأعراض غير النوعية، مع تشنجات بطنية متقطعة وشديدة، تعرف بالمغص الرصاصي عند تراكيز رصاص دموية مرتفعة جداً، قد تتجاوز 80 µg/dl لدى الكبار. فالألم المترافق مع المغص الرصاصي شديد جداً. وتترافق هذه المتلازمة عادة مع إمساك لعدة أيام. ويرتفع ضغط الدم لدى المريض في أثناء الهجمة الشديدة للمغص ويتصاحب مع بطء في ضربات القلب. إذ يكون تأثير الرصاص مباشراً في توتر العضلة الملساء الحشوية، والتهيج المبهم المترافق مع إقفار معوي .

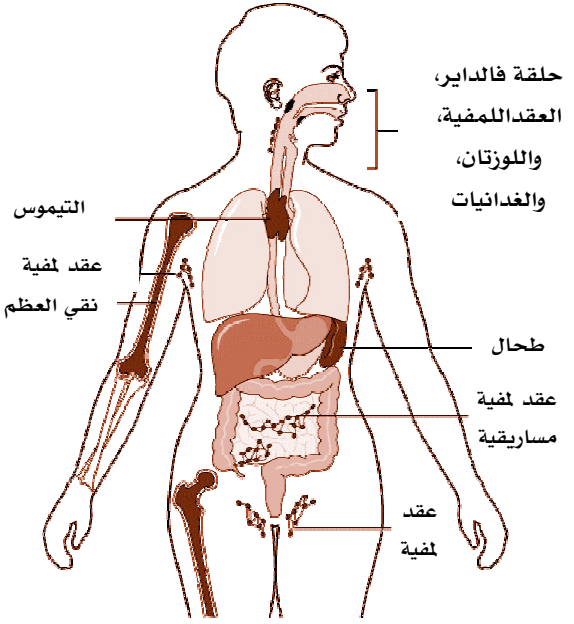
5.2.5 تأثير الرصاص في الجهاز المناعي

تتمثل وظائف الجهاز المناعي في حماية الجسم من العوامل الخمجية الغازية، وتأمين مراقبة مناعية تجاه نشوء خلايا ورمية جديدة. وعندما يكون هذا الجهاز هدفاً منفعلاً للأذيات الكيميائية تكون النتيجة انخفاض المقاومة للخمج، وأشكالاً محددة؛ لتكون الأورام، أو انعدام التنظيم/التنبيه المناعي الذي يفاقم الأرجية، أو المناعة الذاتية.

اتضح أن الرصاص يسبب طيفاً واسعاً من التبدلات في الجهاز المناعي، مؤثراً في الاستجابات المناعية الخلطية، والمناعية الخلوية،

وبشكل مماثل لكثير من التأثيرات المرتبطة بالرصاص، يبدو أن العضوية المتطورة أكثر حساسية؛ ففي الجرذان لوحظ انخفاض استجابة اللمفاويات للتنبيه المحدث للانقسام الفتيلي، وإخماد استجابة الأضداد لخلايا الدم الحمر لدى الخروف، وتقليل مستويات مصل الغلوبولين المناعي G (IgG). وأظهرت دراسات أخرى شذوذات في إنتاج السيتوكين، ورفع مستويات IgE المصلي. أما تغيير أنماط إنتاج السيتوكين لدى الفئران فتصيب انترفيرون- غاما (IFN-y) انترلوكين 2- (IL) و IL-4 عند تراكيز رصاص دموية منخفضة جداً، مرتبطة بمستويات الرصاص السائدة في بيئتها.

الشكل (6) الأعضاء والنسج اللمفية الأولية والثانوية



قد تترافق آلية تأثير الرصاص في الجهاز المناعي مع ألفية عالية للرصاص تجاه المستقبلات السطحية، وبذلك تداخله مع عمليات المستضدات. فوجد أن الرصاص يخفض المستويات المصلية (IgG) لدى العمال المعرضين لمستويات رصاص دموية مرتفعة (متوسط 74.8 µg/dl) إلا أنه لا توجد تأثيرات في (IgA وIgM).

كما أكد وجود علاقة بين المستويات المصلية IgE ومستويات الرصاص الدموية المنخفضة، لدى العمال المعرضين للرصاص. ومن بين التأثيرات الأخرى أيضاً، حدوث تبدلات في الخلايا التائية عند مستوى رصاص دموي (متوسط 74.8 µg/dl)، مع انخفاض في عدد خلايا +CD4، وفي متممات CD3 وCD4. كما لوحظ انخفاض في النسبة المئوية، وتعداد خلايا +CD3 و+CD4 عند مستويات رصاص دموية متوسطة 31.4 و14.6 µg/dl في حين وجد لدى الأطفال، ترابط بين المستويات المصلية لـIgE والرصاص الدموي (يراوح بين 1-45 µg/dl)، ففي دراسة أجريت على 1500 طفل، بمستويات رصاص دموية متوسطة 4-7 µg/dl معتمدة على الفئة العمرية، لوحظ ترابط بين زيادة IgA وigG وigM واللمفاويات B لدى الأطفال تحت عمر 3 سنوات، وخاصة إذا كان تركيز الرصاص الدموي أعلى من 15 µg/dl .

وفي مراجعة ل (Singh وآخرين / 2003) نوقش الدور المعدل المناعي للرصاص على المكونات الخلوية والخلطية للجهاز المناعي. مع الإشارة إلى تأثيره في الخلايا المستفعلة مثل: خلايا T، وخلايا B، والخلايا الفاتكة الطبيعية، والوسائط الذوابة؛ مثل سيتوكين، والمنشطات الكيميائية، وأوكسيد النترات (NO). كما نشرت دراسة

قـام بهـا (Mishra، وآخـرون/ 2003) أن الرصـاص قـد يؤثـر في استجابة الجهاز المناعي للعمال المعرضين.

6.2.5 تأثير الرصاص في الوظيفة الإنجابية

عرفت تأثيرات الرصاص العكسية في الوظيفة الإنجابية لدى الرجل والمرأة، منذ زمن طويل لدى العمال المعرضين لتراكيز عالية من الرصاص، إلا أنه تم التركيز خلال العقدين الأخيرين، على التأثيرات العكسية المحتملة للرصاص في الوظيفة الإنجابية عند مستويات رصاص دموية منخفضة نسبياً.

وثقت التأثيرات السمية للرصاص في الأعضاء الإنجابية للحيوانات (الذكر والأنثى). ووجد أن الرصاص يسبب انخفاضاً مرتبطاً بالجرعة في تحويل لاكتات C إلى ثاني أوكسيد الكربون في دراسات على استقلاب الطاقة في خلايا نطفية معزولة لجرذ. في حين أوضحت الدراسات التي أجريت على خلايا سيرتولي الحاضنة لأرومات النطاف، وجود زيادة في إنتاج اللاكتات، وانخفاضاً في تحويل الغلوكوز C إلى CO_2.

وقد تصبح الخصية معرضة للرصاص والمواد الأجنبية الأخرى التي تتداخل مع استقلاب الطاقة؛ بسبب النشاط الاستقلابي العالي المترافق مع الإنطاف والتراكيز المنخفضة من الأنزيم الحال للسكر في الخلايا النطفية، وأرومات النطفة.

1.6.2.5 تأثير الرصاص في خصوبة الرجل

ركزت الدراسات التي أجريت خلال العقود الثلاثة الأخيرة على التأثيرات الضارة للتعرض المهني للرصاص، في جودة النطاف.

وأظهرت إحدى هذه الدراسات الباكرة وجود انخفاض في جودة النطاف مرتبط بالجرعة، ويتضمن كثافة النطفة، وحركتها، وشكلها. وتعكس الشذوذات الملحوظة، التأثير المباشر للرصاص في الغدد التناسلية، ولم تسجل أية شذوذات في موجهة الغدد التناسلية وهرمون الاندروجين.

عززت هذه الاكتشافات بدراسة وازنت بين عمال مصانع البطاريات المعرضين للرصاص وعمال الإسمنت غير المعرضين. ولم تلاحظ هذه الدراسة وجود اختلافات في مستويات الهرمون، إلا أن كثافة نطاف عمال البطاريات أقل من المجموعة الأخرى. وأجريت دراسة حديثة على 503 عامل، هدفت إلى تقييم أثر التعرض للرصاص في تعداد النطاف وبنيتها الكروماتينية في ثلاث دول أوروبية، فأظهر تقييم التعرض عند متوسط تراكيز الرصاص الدموي 31 µg/dl (يراوح بين 4.6-64.5 µg/dl) لدى 362 عاملاً معرضين للرصاص و4.4 µg/dl لدى 141 عاملاً للموازنة ، انخفاض متوسط تركيز النطاف 49% لدى الرجال، ذوي تراكيز الرصاص الدموي فوق 50 µg/dl، وحددت الدراسة تركيز الرصاص الدموي 44 µg/dl حداً عتبياً محتملاً للتأثير في تركيز النطاف .

كما قُيّمت تأثيرات الرصاص في وظيفة الخصيتين، فوجد أن التأثيرات المصاحبة للرصاص على خلايا سيرتولي التي تؤدي إلى زيادة الإنتاج، قد تكون إحدى الآليات التي يصيب بها الرصاص الإنطاف. وقد تعكس العلاقة الإيجابية الواضحة بين المستويات المصلية لمستويات الانهيبين B (عامل مثبط للهرمونات في الخصية)، وتراكيز الرصاص الدموي لدى عمال صهر الرصاص هذا التأثير.

فمستويات الرصاص الدموي لدى عمال الصهر، تقارب 30 µg/dl وقد يكون الانهيبين B أداة إضافية لتقييم التأثيرات المرتبطة بالرصاص في خصوبة الرجل.

وأوضحت دراسات أخرى تأثير الرصاص في نطاف عمال، متوسط الرصاص الدموي لديهم تحت 40 µg/dl ولفترة طويلة من الزمن، بدون ذكر حد عتبي معين. فلوحظ انخفاض في تعداد النطاف عند مستويات رصاص دموي أقل من 24 µg/dl، ووجود ترابط بين خلل أداء النطاف ومستويات الرصاص الدموي، ومدة التعرض، ومستويات ALA-D الدموية، وهو الأنزيم الأكثر حساسية للرصاص عند تخليق الهيم. ووجد أيضاً خلل في أداء البروستات، والغدد الإضافية، أصاب حركة النطاف.

يساهم الزنك في استقرار كروماتين النطفة، ويرتبط ببروتامين2، وقد اكتشف حديثاً أن الرصاص ينافس الزنك؛ ليرتبط ببروتامين 2 (HP2)؛ مسبباً تغيرات في هيئة البروتين (Quintanilla-vego وآخرون/2000)، وهذا يخفض مجال ترابط HP2-DNA مما يؤدي إلى تبدلات في كروماتين النطفة، ترتبط بشدة مع وجود فصم في شريط DNA النطفة (Aravindgn Fecundity /1997)، يترافق مع انخفاض الخصوبة لدى الإنسان (Spano وآخرون/2000).

وتشير دراسة بعض الحالات أن معالجة بعض العمال الذكور، المعرضين لكميات كبيرة من الرصاص بالخلب أدى إلى تحسن جزئي في نوعية النطاف. كما أن تخفيض التعرض للرصاص يترافق أيضاً مع تحسن في نوعية النطاف.

2.6.2.5 تأثير الرصاص في الحمل

لوحظ لدى الحيوانات الأنثوية إخفاق في انغراس الخلية الأرومية بعد إعطاء مركبات الرصاص عند مراحل مختلفة من الحمل. فافترض بعد أن أحدثت المعالجة بالبروجسترون، والإيستراديول انغراساً طبيعياً، أن تثبيط الرصاص للانغراس يعود بشكل أساسي، إلى تأثيره في توازن الهرمون لدى الأم.

إن التأثيرات التي يحدثها الرصاص في الوظيفة الإنجابية للمرأة أقل وضوحاً، ولكن توصلت استقصاءات كثيرة، أجريت على نساء معرضات لدرجات متفاوتة من الرصاص، إلى أنه يسبب زيادة في عدد الإسقاطات التلقائية، والإجهاضات، والإملاصات (ولادة الوليد ميتاً) المرتبطة بتعرض المرأة الحامل إلى مستويات مرتفعة من الرصاص. فالرصاص يعبر الحاجز المشيمي، ويصل بسهولة إلى الجنين. وتفاقم التغيرات الاستقلابية المترافقة مع تحرير مخازن الرصاص لدى الأم من تعرض الجنين.

خلال العقود الماضية ترافقت التعرضات المهنية والبيئية العالية، مع تمزق أغشية الخدج، وولادة الخديج مع محتوى رصاص مرتفع في الأغشية الجنينية.أوضحت دراسات وبائية سابقة انخفاضاً في عدد الولادات لدى عائلات العمال المعرضين مهنياً للرصاص، وزيادة في معدل الإجهاضات لدى النساء اللاتي يتعرض أزواجهن للرصاص. وقدم بعد ذلك إثبات، اقترح أن تعرض الأبوين المهني للرصاص هو عامل مهم في إحداث خلل في الوظيفة الإنجابية، ونتاج إنجابي غير مرغوب، يشمل الإجهاض التلقائي.

كما قيّم تأثير الرصاص العظمي لدى الأم في طول المواليد والأطفال في سن الشهر الواحد، وفي محيط رأسهم ، فوجد أن طول

الوليد يتناقص بزيادة تراكيز الرصاص في الظنبوب، ويرتبط رصاص الرضفة إيجابياً، وبشكل ملحوظ مع خطر علامة محيط الرأس القليل (Hernandez-Avila / 2002).

استقصت الدراسات الحديثة مدى تعرض الأم والأب عند مستويات التعرض السائدة حالياً في الصناعات الحديثة المسيطر عليها جيداً، والمترافقة مع الإجهاض التلقائي وفشل نمو الجنين . ترافقت تراكيز الرصاص الدموي الأبوي التي تراوح بين 25 إلى 40 µg/dl، معتمدين على مدة التعرض،مع تزايد خطورة الإجهاض التلقائي، وانخفاض نمو الجنين. في حين ترافقت مستويات الرصاص الدموي لدى الأم التي تقارب 10 µg/dl مع خطر ارتفاع الضغط الحملي، والإجهاض التلقائي، وخلل في التطور العصبي السلوكي للجنين. إضافة إلى الارتفاع الملحوظ في معدل التشوهات الخلقية لدى الأطفال الذين يتعرض آباؤهم للرصاص مهنياً حتى عند تراكيز رصاص دموية منخفضة 20 µg/dl .

3.6.2.5 تأثير الرصاص في الإجهاض

يتزايد خطر الإجهاض التلقائي (ويعرف بفقدان الحمل الذي يحدث قبل الأسبوع العشرين من الحمل ، ولكن بعد مرحلة الفقد تحت السريري) بتعرض الأم لتراكيز عالية من الرصاص .

قدم (Torelli/1930) في دراسة له، بيانات عن الحمل في ميلانو. حيث كانت صناعة الطباعة مصدراً مهماً للتعرض لمستويات عالية من الرصاص، فكان حينها معدل خطر الإجهاض التلقائي العام 4.5%، و14% لدى الأمهات اللاتي يعمل أزواجهن في صناعة الطباعة، و24% عند النساء اللاتي يعملن بأنفسهن في الطباعة. أما

معدلات وفيات الأطفال فكانت أكثر من الضعف لدى الأمهات المعرضات قياساً بمعدل وفيات الأطفال في إيطاليا : 320 مقابل150 من المواليد .

وكشفت دراسات عديدة أن تأثيرات الرصاص في الخصوبة والإجهاض، ليست واحدة مورفولوجياً أو كمياً، وهي أكثر تنوعاً وتأثيراً على تعداد النطاف وتركيزها . ولم يحدد بعد إن كان الرصاص يؤثر مباشرة في الأعضاء الإنجابية، أو في تحكم الغدد الصم بالإنجاب أوفي كليهما معاً . كما أن آلية حدوث الإجهاض غير واضحة تماماً، فإضافة إلى التأثير الذي يحدثه الرصاص في صبغيات النطفة، فقد يحدث تأثيراً ماسخاً للجنين مباشرة، أو يتداخل مع البيئة الهرمونية بين الأم والجنين، أو يحدث تأثيرات وعائية في المشيمة، وارتفاع الضغط الحملي، كما لوحظ نشاط الانفتاح الصماوي المترافق مع الرصاص والسمية التطورية، لدى الجنين.

7.2.5 تأثير الرصاص في العين

أثبت أن الرصاص يصيب الجهود المحرضة الإبصارية، على الرغم من أن المعلومات في هذا المجال ضئيلة نسبياً . أما فيما يخص التأثيرات الأخرى فهناك بعض البراهين من دراسة تربط تفاقم الساد (Ctaract) مع الرصاص المقيس في الظنبوب.

وقد أبلغ عن حالات خلل في وظيفة الشبكية؛ وخاصة إصابة النبابيت في الشبكية بين عمال الرصاص، وحديثاً بين الأطفال. فقد يؤثر الرصاص على الشبكية النامية عند مستوى رصاص دموي أقل من10 µg/dl لدى الأم في الثلاثة أشهر الأولى من الحمل، مشيرة إلى حساسية هذا العضو العالية للرصاص في أثناء التطور.

في دراسة قام بها (Araki وآخرون /1987) على 19 سباك لمعادن الأسلحة، معرضين للرصاص (تراكيز الرصاص الدموية 16-64 µg/dl). فوجدوا أن طور الكمون (الخفاء) N2 - زمن التوصيل من الشبكية إلى القشرة البصرية - للجهود المحرضة للإبصار (VEP) قد طال بشكل ملحوظ. وعاد طور الكمون N2 إلى المستوى الطبيعي بعد 12 شهر من تحسين ظروف بيئة العمل. ويرتبط هذا التغير بشكل إيجابي بمؤشرات امتصاص الرصاص، وعلى نحو عكسي بالزنك والنحاس. ويفترض أن الرصاص يتداخل مع وظيفة الرؤية، وهذا التداخل يقاوم من قبل الزنك والنحاس. وتشير نتائج الدراسات أن الرصاص يصيب الوظيفة العصبية حتى عند مستويات تعرض مسموح بها .

الجدول (2) ملخص مستويات التأثير الأقل ملاحظة؛ للتأثيرات الصحية التي يحدثها الرصاص

مستوى التأثير الأقل ملاحظة (PbB) dl/µg	تخليق الهيم والتأثيرات الدموية	التأثيرات الهرمونية والعصبية والمناعية	التأثيرات في الكلى وفيتامين D	التأثيرات في الوظيفة الإنجابية	التأثيرات القلبية الوعائية	التأثيرات المعدية المعوية
100-90		خطورة عالية من ظهور أعراض وعلامات الاعتلال الدماغي				أعراض شديدة مع وجود خطر على القولون
90-80						
70-60			اعتلال كلية مزمن			
60-50	تخفيض إنتاج خضاب الدم وفقر الدم	أعراض عصبية تحت اعتلال دماغي واضحة				
50-40	زيادة ALA البولي وارتفاع الكوبروبورفيرين	أعراض غير نوعية حادة،عيوب نفسية عصبية، تبدلات هرمونية درقية، خلل وظيفة العصب المحيطي (يبطئ سرعة التوصيل العصبي)، عيوب مناعية	انخفاض فيتامين D	تأثيرات في الهرمونات الإنجابية		أعراض غير نوعية خفيفة (انزعاج، غثيان، فقد شهية).
40-30						
30-20	ارتفاع بروتوبورفيرين الكريات الحمراء لدى الرجال	عيوب نفسية عصبية	بيلة أنزيمية، بيلة بروتينية	تبدل الوظيفة الخصوية، انخفاض تعداد النطاف، إجهاض تلقائي، خلل في نمو الجنين (مستوى دم الأبوين)		
20-10	ارتفاع بروتوبورفيرين الكريات الحمراء لدى النساء		انخفاض في معدل الترشيح الكبيبي اعتلال كلية مزمن	شذوذات في النطاف إجهاض تلقائي، عيوب تطورية عند المولود (مستوى دم الأبوين)	ارتفاع ضغط الدم	
10>	تثبيط ALA-D	عيوب عصبية نفسية لدى الأكبر سناً	انخفاض في معدل الترشيح الكبيبي		ارتفاع ضغط الدم	

8.2.5 الرصاص والسرطان

توجد أدلة على أن بعض مركبات الرصاص غير العضوية؛ مثل أسيتات الرصاص (خلات الرصاص)، وتحت أسيتات الرصاص، وفوسفات الرصاص، هي مركبات مسرطنة لحيوانات التجارب . وتعد الأورام الكلوية من الأورام الأكثر شيوعاً بين الحيوانات.

كما أنجزت عدة دراسات، خلال العقدين الماضيين على الإنسان؛ وخاصة بين العمال المعرضين للرصاص، واقترحت دراسة تحليلية وجود علاقة بين التعرض للرصاص وسرطان المعدة، والرئة، والمثانة.هذا إضافة إلى خطر الإصابة بسرطان الكلى،وأثبتت تقارير حالات الإصابة بسرطان الكلى بين العمال، والمترافق مع اعتلال عصبي، ارتباطه بالرصاص. ونشرت دراسات موسعة كثيرة، أجريت على عمال صهر الرصاص وعمال مصانع البطاريات الرصاصية، نتائج وبائية عن خطر الإصابة بالسرطان بين المجموعات المعرضة للرصاص ومركباته

[(1975/Cooper&Gaffey)، (1976/Cooper)، (Kang وآخرون/ 1980)، (Cooper /1981) ، (Cooper وآخرون /1985)، (Cooper /1988)، (wong&Harris /2000)]. ويلخص الملحق (1) النتائج الوبائية لهذه الدراسات الاستباقية عن خطر الإصابة بالسرطان بين المجموعات المهنية المعرضة للرصاص ومركباته.

كما خضع العاملون في إنتاج الزجاج؛ من صهر وسبك ونفخ وطحن وصقل، المعرضون لمستويات رصاص عالية، إضافة إلى معادن أخرى (زرنيخ ، كادميوم، كروم، انتموان، نحاس)، مع التعرض للقليل من السيليكا . فاستنتجت مجموعة العمل (IARC, 1994) أن فن تصنيع الزجاج هو مهنة محتملة السرطنة للإنسان.

وقد أجريت العديد من الدراسات على علاقة هذه المهنة بالسرطان، وأعطى بعضها نتائج إيجابية لتعرض عمال الزجاج لخطر الإصابة بالسرطان الرئوي (Milne وآخرون / 1983، Lynge وآخرون/1988)، أو السرطان الدماغي (Milne وآخرون/1989).

فيما يخص التعرض للرصاص العضوي، فقد قيمّت (IARC،1989) عوادم محركات البنزين كعامل محتمل السرطنة للإنسان، ومن المعروف أن مركبات الرصاص العضوية؛ مثل رباعي ايتيل الرصاص، ورباعي متيل الرصاص، كانت تستخدم كمادة مضافة للبنزين.ولا يمكن هنا الفصل بين تأثير مركبات الرصاص وباقي مكونات العادم.

وعلى الرغم من أن دليل خطر إصابة العمال المعرضين للرصاص بالسرطان ليس قاطعاً، إلا أن نتائج دراسات حيوانات التجربة قدمت دليلاً كافياً. فقد صنفت الوكالة الأمريكية لحماية البيئة، وإدارة الخدمات الصحية والبشرية، والوكالة الدولية لأبحاث السرطان، الرصاص غير العضوي عاملاً محتمل السرطنة للإنسان. ومن المتوقع منطقياً أن يكون الرصاص ومركباته مسرطنات بشرية.

9.2.5 تأثير الرصاص في الأطفال

يعتبر التسمم بالرصاص، لدى الأطفال المشكلة الصحية الرئيسية في كثير من دول العالم، ويعرف بالخطر البيئي الأكثر خطورة على الأطفال. شوهدت أولى الحالات سريرياً في استراليا (Gibson & Turner) عام 1905 .

ومن ثم أصبح التأثير المدمر للرصاص على الأطفال، واضحاً خلال العقود الثلاثة الأخيرة، كما ترافقت تراكيز الرصاص الدموية

السائدة في هذه الفترة مع تأثيرات خطيرة في التطور المعرفي، والسلوكي العصبي الطفولي. والحقيقة أن تحري مستويات التعرض الحالية للرصاص في المجتمعات الغربية الحديثة كشفت عن تأثيرات غير سوية في نمو الأطفال وتطور الأجنة.

توجد عدة مصادر محتملة للرصاص في بيئة الطفل،كابتلاع رقائق الدهان الحاوي على الرصاص لحلاوة طعمها، الذي يعد المصدر الأكثر أهمية، والمؤدي إلى تعرض مفرط حاد، وتسمم بالرصاص.وهذه الحقيقة كانت السبب في إصدار تشريع إلغاء الرصاص تدريجياً من الدهان. ويعتبر الأطفال مستقبلين حرجين لتأثيرات التلوث البيئي بالرصاص الناجم عن الانبعاثات الصناعية، وعوادم المركبات . ويتعرض الأطفال الذين يقطنون بجوار المصانع التي ينبعث منها الرصاص، وقرب مواقع النفايات الخطرة، وكذلك الأطفال ممن يعمل آباؤهم، أو أقاربهم في صناعات مرتبطة بالرصاص، إلى خطورة عالية من جراء تزايد امتصاص الرصاص.

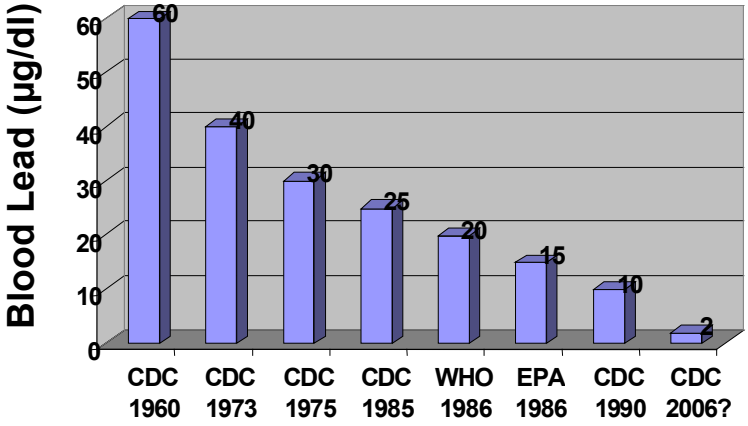
إن الأطفال أكثر عرضة من الكبار للتأثيرات السامة للرصاص، فالجملة العصبية النامية معرضة بشكل خاص لسمية الرصاص التي تصيب وظائف متعددة في المخ؛ معتمدة على مرحلة النمو التي حدث فيها التسمم، وقد تكون النتيجة دائمة. وأظهرت بعض الدراسات أن عدم تناول كميات كافية من الحديد والكالسيوم وفيتامين D، قد يزيد من التأثيرات العكسية للرصاص.

مستويات الرصاص الدموي المترافقة مع التأثيرات الضارة، أخفض بكثير من تلك المرتبطة تقليدياً بتسمم الرصاص الطفولي الحاد والواضح سريرياً، والناجم عن مصادر معينة للتعرض؛ مثل ابتلاع رقائق الدهان. كما أثبتت استقصاءات متعددة أن الضرر الذي

يلحق بالجملة العصبية لدى الأطفال، عند مستويات رصاص دموية أقل من التي كانت تعتبر طبيعية وآمنة. ويشمل هذا الخلل الوظيفي تأثيرات عكسية في تطور الذكاء (IQ)، وشذوذات سلوكية، وصعوبات في التعلم، تؤدي إلى أداء مدرسي سيء. ويوضح الشكل (7) انخفاض مستويات الرصاص الدموي المسموح بها عند الأطفال من قبل الجهات الدولية المختصة مع مرور الزمن.

وتحدث هذه التأثيرات عند الأطفال بدون وجود تاريخ لتسمم واضح بالرصاص. فقد وجد أن تعرض الأبوين ومنه إلى الجنين، هو بعد هام في تقييم حالة تعرض طفل في طور النمو.وقد تعقدت الخطورة المتوقعة؛ نتيجة الأبحاث الحديثة التي أظهرت أن الجنين مهدد بالتعرض للرصاص؛ من جراء حركة مخازن الرصاص في الهيكل العظمي للأم المتراكم عبر السنين،حتى في حال عدم تعرض الأم في أثناء فترة الحمل للرصاص. إضافة إلى ما كشفته القياسات المباشرة التي أجريت على مستوى الرصاص في عظم الأم؛ باستخدام KXRF ،أن الرصاص العظمي لدى الأم ينبئ بوليد أقل وزناً، وطولاً، ومحيط رأس أصغر، وأداء أقل، عندما يبلغ الوليد السنتين من العمر؛ بحسب قياسات Bayley للتطور الذهني .وقد حفزت حقيقة أن للرصاص نصف عمر حيوي في العظام؛ بحسب السنين والعقود، إلى مزيد من الاهتمام بتخفيض تعرض الفتيات والنساء للرصاص. ووجدت بعض البراهين التي تثبت أن إعطاء كالسيوم إضافي، يمكن أن يخفض من ارتشاف العظم لدى الأم في أثناء الحمل وبهذا يقلل من تعرض الجنين للرصاص. ويلخص الجدول (3) مستويات التأثير الأقل ملاحظة للتأثيرات الصحية التي يحدثها الرصاص عند الأطفال.

الشكل (7) مستويات الرصاص الدموي المقبولة لدى الأطفال



الجدول (3) ملخص مستويات التأثير الأقل ملاحظة؛ للتأثيرات الصحية التي يحدثها الرصاص عند الأطفال

مستوى التأثير الأقل ملاحظة (PbB) µg/dl	تخليق الهيم والتأثيرات الدموية	التأثيرات العصبية والتطورية	التأثيرات في الكلى وفيتامين D	التأثيرات المعدية المعوية
80-70		أعراض الاعتلال الدماغي وعلاماته	متلازمة فانكوني، بيلة حمضمينية، بيلة سكرية، فرط فوسفاتاز البول	
70-60				أعراض معدية معوية شديدة تتضمن القولون

60-50			بيلة حمضمينية	
50-40				
40-30	فقر دم،زيادة ALA البولي وكوبروبورفيرين	أعراض غير نوعية في الجملة العصبية المركزية		أعراض معدية معوية غير نوعية
30-20	تخفيض إنتاج خضاب الدم،زيادة إنتاج اريثروبويتين، فقر دم وشيك	تبدل استجابات فيزيولوجيا الأعصاب المحيطية الكهربائية	تبدل استقلاب فيتامين D	
20-10	ارتفاع بروتوبورفيرين الكريات الحمراء	تخفيض العمر الحملي للجنين ووزن المولود (تعرض الأبوين)	أذية النبيب الداني	
10>	تثبيط ALA-D،تثبيط نشاط P-5-N	خلل في التطور العصبي وعيوب سلوكية عصبية، التأثير في النضج الجنسي		

3.5 العلاقة بين الرصاص والتغذية

تعتبر معرفة الحالة الغذائية للفرد مهمة في تقييم خطر امتصاص الرصاص، وتأثيراته السامة. وللحالة الغذائية تأثير خاص في الأطفال.يتأثر امتصاص الرصاص بدخول الغذاء الحاوي على عدة مواد؛ منها الكالسيوم، والفوسفور، والحديد، وفيتامين D، والدسم. فمثلاً الغذاء منخفض الكالسيوم والحديد يزيد من امتصاص الرصاص، ومن تفاقم التأثيرات السامة، في حين أن الغذاء الغني بالشحوم يزيد من تخزين الرصاص في نسج عدة. ووجد أن الكالسيوم

والفوسفور يقللان من امتصاص الرصاص من السبيل الهضمي. وقد وثق التآثر بين نقص الحديد وزيادة امتصاص الرصاص، وسميته، لدى الأطفال خاصة. ويلخص الجدول (4) التأثيرات الأساسية للتآثر (التفاعل المتبادل) بين الرصاص ومعدن آخر.

ولوحظ أن فيتامين C والثيامين، إضافة إلى ترافق الثيامين مع الزنك، أو فيتامين E، يقاوم بعض التأثيرات السامة للرصاص.

توجد بعض الإثباتات الوبائية التي تشير إلى أن التناول غير الكافي للثيامين وحمض الاسكوربيك، والفولات، قد يترافق مع مستويات رصاص عالية في الدم لدى النساء، في سن الإنجاب، والتناول الكافي لهذه المواد أساسي؛ لتخفيض تراكيز الرصاص الدموية، مما يقلص من تعرض الجنين.

وحيث إن الحليب يحوي على تراكيز عالية؛ من الكالسيوم، والفوسفور، والزنك، والبروتين، فقد اعتبر مكملاً غذائياً تقليدياً، له تأثيرات وقائية ضد التسمم بالرصاص. فهناك ممارسة انتشرت لسنوات عديدة، وهي إضافة الكثير من الحليب لوجبات العمال المعرضين للرصاص. كان إعطاء الحليب في العقود الماضية شائعاً كجزء من المعالجة في حالات التسمم الحاد بالرصاص المترافق مع المغص الرصاصي. وكان يعتقد أن الرصاص يصاحب الكالسيوم داخل الهيكل العظمي، وأن الشكل النشط الحيوي للرصاص في النسج الرخوة، سيخزن بسرعة أكبر في العظام ، وبذلك يتم تجنب التأثيرات البيولوجية المهمة.

أوضحت التجارب المخبرية أن اللاكتوز يزيد من امتصاص الرصاص المعوي؛ والتفاعل المتبادل بين الرصاص والكالسيوم معقد جداً.

إضافة الكالسيوم بغرض المداواة للأطفال ممن تزيد مستويات الرصاص الدموي لديهم عن 45 µg/dl، لا يؤثر في مستويات الرصاص الدموية، أو القياسات الدموية أو البيوكيميائية.

أما قضية إعطاء حليب إضافي كواق من التسمم بالرصاص في مواقع العمل، فهي مثيرة للجدل، علماً أن لهذه الممارسة جذوراً قوية في الكثير من مجموعات العمل، ومن الصعب التخلي عنها. فلا تزال قيد الاستخدام ويفترض أن لها تأثيرات وقائية محتملة ضد الاعتلال العصبي المحيطي.

الجدول (4) التأثيرات الأساسية للتآثر بين الرصاص ومعدن، أو شبه فلز آخر

المعدن	التأثيرات الأساسية للتآثر (التفاعل المتبادل) مع المعادن الأخرى
الرصاص pb	يضعف من استقلاب الكالسيوم، يزيد الغذاء ناقص الكالسيوم، معدل امتصاص الرصاص غير العضوي، ويزيد من سميته. يضعف من استقلاب الحديد، ويزيد الغذاء ناقص الحديد من سمية الرصاص، في حين أن تأثيره في معدل امتصاص الرصاص لا تزال موضع جدل. يضعف من استقلاب الزنك ويزيد الاطراح البولي للزنك، يزيد الغذاء ناقص الزنك من معدل امتصاص الرصاص غير العضوي ويزيد من سميته. يخفض السلينيوم من سمية الرصاص. أما المعطيات حول التآثرات مع النحاس والمغنزيوم فملتبسة.

إلا أنه من الواضح أن اتخاذ التدابير الوقائية ضد التسمم المهني بالرصاص، يجب أن يعتمد على ممارسات الإصحاح الصناعي

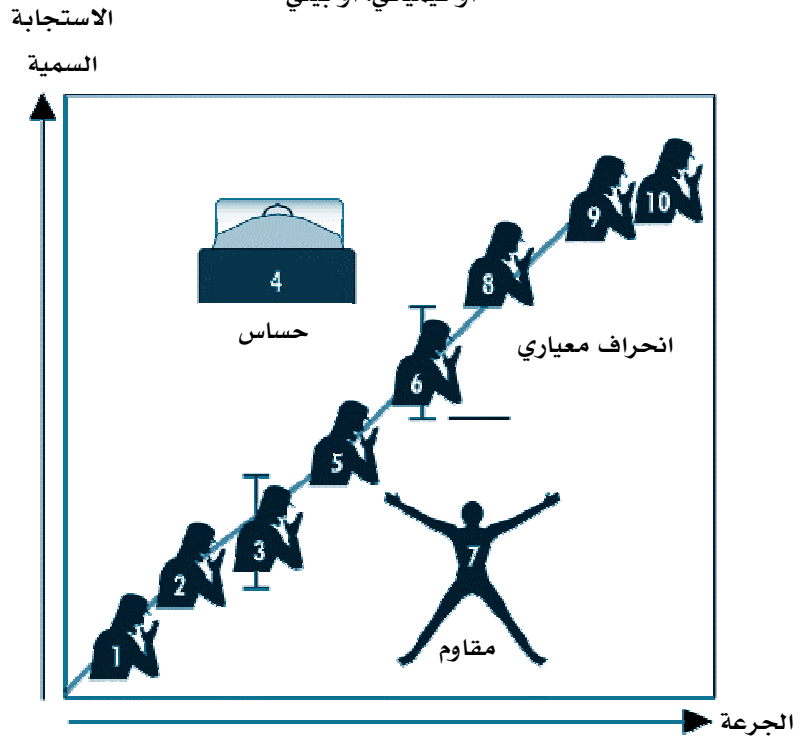
الكافية في بيئة العمل، مترافقة مع الإشراف الطبي، وليس معتمداً على العوامل الغذائية؛ كإضافة الحليب مثلاً.

4.5 الاستعداد الجيني للتسمم بالرصاص

أدرك منذ زمن بعيد الاختلاف في استجابة كل شخص للمواد الكيماوية السامة، أي قابلية تأثره بالتأثيرات المؤذية لهذا التعرض الكيميائي. وتم التركيز على العوامل الوراثية التي تشكل الأساس لقابلية الشخص للتأثر بأي تعرض، وهو ما يعرف بالوراثة البيئية، كان ميدان البحث الرئيسي في عالم الوراثة الذي ظهر في الصحة البيئية هو التآثر البيئي الجيني (أي تحديد العوامل الجينية التي يمكن أن تستخلص بعض الأفراد الأكثر عرضة للتأثيرات السمية للملوثات). حيث يتطلب تقييم التعرض والرصد الحيوي معلومات حول التركيب الجيني لكل شخص، فالاختلافات الوراثية في ربط العوامل البيئية، تؤثر بشكل كبير في الاستجابة السمية.

ويوضح الشكل (8) أنه كلما ازداد التعرض كانت الاستجابة السمية أكبر، ويبدي معظم أفراد المجموعة انحرافاً وسطياً معيارياً للاستجابة السمية كدلالة على الجرعة. يمثل الناشز المقاوم، في أسفل يمين الشكل، شخصاً لديه استجابة أقل للجرعات العالية من التعرض. في حين يمثل الناشز الحساس أعلى يسار الشكل، شخصاً لديه استجابة مبالغ فيها لجرعة أو تعرض قليل نسبياً. فهؤلاء الأشخاص ذوو الاختلافات الكبيرة في الاستجابة قياساً بمعظم الأشخاص في المجموعة، يمثلون أنماطاً وراثية مهمة قد تساعد العلماء في فهم الآليات الجزيئية الأساسية للاستجابة السمية.

الشكل (8) العلاقة العامة بين أية استجابة سمية وأي عامل فيزيائي، أو كيميائي، أو بيئي



فيما يتعلق بالتسمم بالرصاص، أجريت بعض الدراسات بجهود أولية، وجهت نحو تحديد إذا كانت سمات التعددات الشكلية الوظيفية المعروفة، المرتبطة باستقلاب الرصاص، قد تؤثر بالاستعداد الشخصي. فمثلاً، الجين الذي يرمز ALA-D، المرتبط بتخليق الهيم، المعروف بأنه يرتبط بإحكام مع الرصاص،هو تعدد شكلي مع نحو 15% من متغاير اللاقحة (الزيجوت) القوقازي، أو

المتعلق بلواقح متماثلة الألائل، لألائل متفاوتة مع استبدال زوج قاعدة وحيدة (ALA-D-2 المتغير) الذي يحدث بروتيناً، قد يبدل سمات الربط المتعلقة بالرصاص.

في معظم الحالات، لم يحدد بعد تعدد شكلي جيني خاص،يسبب حساسية متبدلة بوضوح للتسمم بالرصاص.أما فيما يتعلق بـALA-D فقد كشفت بعض الدراسات أنه قياساً بالأشخاص ذوي النمط البري، أي الأشخاص ذوي الألائل متغيرة ALA-D-2 لديهم مستويات رصاص دموي أعلى، وحركيات متبدلة للرصاص في العظام والدم، وعند أي مستوى تعرض للرصاص تكون لديهم وظائف الكلى أسوأ، والأداء المعرفي أفضل، ومعرضون لخطر أكبر بالإصابة بالرعاش مجهول السبب.

6. مؤشرات التعرض، والتأثير للعمال المعرضين للرصاص

يوجد العديد من الاختبارات المخبرية المتاحة لتقييم درجة امتصاص الرصاص، والتأثيرات الصحية ذات الصلة، لدى العمال المعرضين مهنياً.

يعد الرصاص اللاعضوي سماً تراكمياً، يمتص من خلال الرئتين، والطريق المعدي المعوي، وتعد موثوقية الطرق الحيوية المستخدمة في تقييم التعرض الحديث، أو حمل الجسم، هي الأهم في الرصاص.

يعتبر تركيز الرصاص في الدم أفضل مؤشر عملي لامتصاص الرصاص الحالي، أو الجرعة الحالية، في مواقع التعرض الثابت والحديث. ولا يزال الطريقة الرئيسية المستخدمة للرصد الحيوي في العالم.

ويتناقص ارتفاع مستويات رصاص الدم تدريجياً؛ بازدياد مستويات التعرض للرصاص . وعندما يكون التعرض المهني مديداً، فإن توقف التعرض لا يؤدي بالضرورة إلى عودة قيم رصاص الدم إلى ما كانت عليه قبل التعرض، ويعود ذلك إلى تحرر الرصاص المستمر من النسج التي تخزنه.

إن المستويات المقبولة للرصاص في الدم 20 µg/dl، وفي البول 50 µg/g كرياتينين، ويزداد بازدياد الرصاص في الدم، ويعتبر مؤشراً للتعرض الحديث في حالات التعرض الثابت.

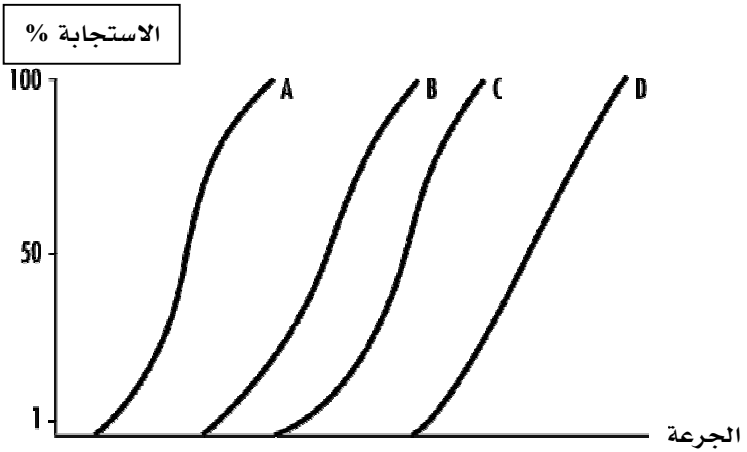
1.6 العضو الهدف للتأثيرات الحرجة للرصاص

إن التأثير الحرج كما عرفّته منظمة الصحة العالمية عام1989 هو التأثير العكسي الأول الذي يظهر لدى الوصول إلى الجرعة، أو التركيز العتبي في العضو الحرج.

يعتبر الجهاز المكون للدم، والجهاز العصبي المحيطي، من أهم الأعضاء الحرجة لدى البالغين، حيث تظهر التأثيرات الحرجة (مثل ارتفاع تركيز البروتورفيرين الحر في الكرية الحمراءFEP، أو تزايد طرح دلتا أمينوليفولينيك أسيد في البول ، أو ضعف ناقلية الأعصاب المحيطية)، وذلك عندما يصل مستوى الرصاص في الدم إلى 20-30 µg/dl . أما العضو الحرج لدى الأطفال الصغار فهو الجهاز العصبي المركزي،ووجد أن أعراض الاعتلال الوظيفي، المكتشفة باستخدام بطارية الاختبار النفسي، تظهر لدى المجموعات المختبرة حتى عند تراكيز رصاص دموي، تقارب 10 µg/dl .

ويعرض الشكل (9) المنحنيات الافتراضية للجرعة – الاستجابة لتأثيرات مختلفة. يمكن ل A في حالة التعرض للرصاص، أن يمثل تأثيراً تحت حرج (تثبيط ALA - ديهيدراتاز الكرية الحمراء) ويمثل B التأثير الحرج (زيادة في بروتوبورفيرين الزنك في الكرية الحمراء، أو زيادة في طرح دلتا أمينوليفولينيك أسيد) ويمثل C التأثير السريري (فقر الدم)، وD التأثير القاتل.

الشكل (9) منحنيات الجرعة - الاستجابة الافتراضية لتأثيرات متنوعة



هناك دليل قوي على أن التأثيرات الخاصة للتعرض تعتمد على تركيز الرصاص في الدم (المتمم العملي للجرعة)، سواء في شكل العلاقة الجرعة - الاستجابة أم بالعلاقة مع المتغيرات الأخرى مثل (الجنس، العمر..... الخ). إن تحديد التأثيرات الحرجة والعلاقة جرعة - استجابة لمثل هذه التأثيرات يتيح التنبؤ بتواتر تأثير مفترض من أجل جرعة مفترضة أو متممتها (التركيز في المادة الحيوية) لدى مجموعة محددة.

وبهدف تحديد التأثيرات العتبية للأفراد ، يجب وضع الافتراضات المتعلقة بمستوى التعرض (المدخول القابل للتحمل، العلامات الحيوية) بحيث يتوافق تواتر التأثير الحرج لدى المجموعة المعرضة لعامل الخطر المفترض، مع تواتر التأثير لدى المجموعة العامة. إن تركيز الرصاص الأقصى المسموح به في الدم، لعامة

الناس (20 µg/dl)، بمتوسط أدنى من 10 µg/dl (WHO 1987)، وهو أدنى من قيمة عتبة التأثير الحرج المفترض - المستوى المرتفع للبروتوبورفيرين الحر في الكرية الحمراء. قد تنطبق التأثيرات الحرجة في حالة التعرض المهني على جزء محدد من الأفراد (10%) مثلاً، وقد تم تبني التركيز الموصى به للرصاص في الدم، ليكون 40 µg/dl للرجال حيث إن نسبة الاستجابة 10% من أجل 5 mg/l من أمينوليفولينيك أسيد في البول، حدثت عند حدود 40-30 µg/dl تركيز الرصاص في الدم.

2.6 طرق المراقبة الحيوية للرصاص، ومركباته

تطورت طرق تحليل الرصاص في الدم والبول من الطرق البسيطة التي تعتمد على تشكيل المعقدات اللونية وقياس امتصاص تلك المعقدات؛ بواسطة مطياف ضوئي (Spectrophotometer)، إلى طرق تعتمد على استخدام تقنيات تحليلية حديثة ومتطورة، وتعتبر طريقة الامتصاص الذري من أكثر التقنيات المستعملة؛ لتحديد نسب المعادن الثقيلة ومن ضمنها رصاص الدم والبول.ويمكن تحليل الرصاص؛ بواسطة جهاز الامتصاص الذري بنظامي (نظام اللهبFlame System والنظام المزود بالفرن الكهربائي) وذلك عند تراكيز منخفضة جداً، وحساسيات عالية جداً. وطورت تقنية الومضان بالأشعة السينية؛ لقياس تركيز الرصاص في العظام (السلاميات، الظنبوب، عظم العقب، الفقرات) إلا أن حد الكشف عن الرصاص بهذه التقنية، يقيد استعمالها بالأشخاص المعرضين مهنياً.

ومن أكثر الطرق التحليلية استخداماً في المخابر : قياس طيف الامتصاص الذري بنظام الفرن الغرافي (GFAAS)، مقياس فولط بإزالة القرارة المترسبة مصعدياً (ASV) وقياس طيف كتلة البلازما المقترنة تحريضياً(ICP-MS).

وإن توفر جهاز فحص الرصاص الدموي المحمول ،غير المكلف نسبياً، المعتمد على طريقة (ASV)، جعل من الممكن الحصول على نتائج فحص رصاص دموي دقيقة ومضبوطة في مكان الفحص، أو في عيادة الطبيب.

أما اختبارات الاستجابة الحيوية مثل ZPP وFEP ،المطلوبة في كل مرة يجري فيها قياس مستوى الرصاص الدموي، فتعد مفيدة في تقييم التأثيرات الحيوية المرتبطة بالرصاص بين العمال المعرضين مهنياً، وخاصة في حالة التعرض طويل الأمد.

كما لاحظنا سابقاً أن قياس ZPP أوFEP وحده (أي بدون مستوى الرصاص الدموي المرافق) لا يوصى به كاختبار تحري التعرض للرصاص لأنه أظهر حساسية محدودة تجاه مستويات الرصاص الدموية المنخفضة. ومن الممكن إجراء اختبار بجهاز محمول في موقع الفحص الميداني، أو في عيادة الطبيب .

يعد إجراء القياسات الدورية حجر الأساس في الرصد الحيوي للعمال العاملين في مكان العمل حيث يوجد احتمال لتعرضهم المفرط للرصاص.

وهناك نقطة أخرى يجب أخذها بالحسبان، وهي العلاقة بين تراكيز الرصاص الدموي، ومستويات الرصاص في الهواء.وعلى الرغم من صعوبة وضع علاقة دقيقة؛ وضعت OSHA حدود تعرض مسموحاً بها وهي 50 $\mu g/m^3$ هواء لمدة 8 ساعات. من الممكن

السيطرة على تعرض الرصاص الجوي من خلال التصميم الهندسي، والتدابير المناسبة، التي تعمل على القضاء على مصدر الانبعاثات، أو تخفيض التعرض، وقد قدر أن مستوى التعرض الذي يقارب 50 $\mu g/m^3$ سيحقق الغرض من الحفاظ على مستوى رصاص دموي أقل من 40 $\mu g/dl$ لدى الغالبية العظمى من العمال.

ومن المفترض تأسيس برامج رصد حيوي، وبرامج إشراف طبي، في مكان العمل الذي يتوقع فيه زيادة التعرض للرصاص. يحدد تكرار رصد الرصاص الدموي، وZPP الإلزامي بمدة التعرض، وشدته. كما يطلب إجراء الاعتيان كل 6 أشهر في مواقع العمل التي يكون خطر التسمم السريري فيها منخفضاً نسبياً، (أي عندما تكون نتائج فحص الرصاص الدموي المتكرر أقل من 40 $\mu g/dl$). حيث يشترط معيار OSHA الحالي تكرار اعتيان مستويات الرصاص، وZPP كل شهرين على الأقل، إذا وجد أن تركيز الرصاص الدموي لدى العمال تزيد عن 40 $\mu g/dl$ وأقل من 50 $\mu g/dl$ والتي تستوجب إبعاد العامل عن مكان العمل، ويستمر الاعتيان على هذه الفترات إلى أن تصبح مستويات الرصاص الدموي لمرتين متعاقبتين، أقل من 40 $\mu g/dl$.

يجب أن يجرى فحص طبي سنوي للعامل الذي يشير فحص الدم لديه إلى مستوى رصاص دموي يساوي أو يزيد على 40 $\mu g/dl$ خلال الاثني عشر شهراً السابقة. وأي مستوى رصاص دموي يتطلب إبعاداً عن العمل يجب أن يؤكد باختبار لاحق في غضون أسبوعين، ويكرر كل شهر.

في حالة التسمم الشديد بالرصاص المترافق مع مستويات مرتفعة بشكل ملحوظ، قد يحتاج إلى أخذ العينات بتكرارية أكثر.

ويمكن أن يعود العامل إلى عمله عندما يصبح مستوى الرصاص الدموي يساوي أو يقل عن 40 µg/dl في اختبارين متتاليين.

إضافة إلى الفحوصات المخبرية يجب أن يتضمن الإشراف الطبي: الفحص البدئي والفحص الطبي الدقيق، مع مراجعة التاريخ المرضي والمهني والأعراض واختبارات الدم التكميلية، مثل ZPP وتعداد الدم الكامل، واختبار لطاخة دموية محيطية، وكرياتينين المصل، والبولة الدموية، وتحاليل البول الروتينية، وربما تحاليل أخرى يشير إليها التقييم الطبي أو طبيعة العمل. إضافة إلى تحليل النطاف، واختبار الحمل. وقد يطلب في حالات معينة ALA-D وALA البول وتركيز الرصاص البولي.

يستخدم في الرصد الحيوي: الكوبروبورفيرين coproporphyrin في البول، وحمض دلتا - أمينوليفولينيك delta - aminolaevulinic في البول، وبروتوبورفيرين protoporphyrin الكريات الحمر (أو بروتوربورفيرين الزنك zinc protoporphyrin) وأنزيم حمض دلتا - أمينولوفيلينيك ديهيدراتاز delta-aminolaevulinic acid dehydratase، وأنزيم بيريميدين -5- نوكليوتيد-5-pyrimidine nucleotidaze في خلايا الدم الحمر. وترتبط هذه المعالم بمستويات رصاص الدم إيجابياً(بالنسبة لكوبروبورفيرين البول، حمض دلتا-أمينولوفيلينيك في البول، بروتوبورفيرين الكريات الحمراء) أو سلبياً (أنزيم ديهيدرات حمض دلتا أمينولوفيلينيك، أنزيم بيريميدين- 5- نوكليوتيد). ويأخذ الاطراح البولي للكوبروبوفيرين (المصاوغ الثالث غالباً) وحمض دلتا- أمينولوفيلينيك بالازدياد عندما يبلغ تركيز الرصاص في الدم قيمة مقدارها نحو 40 µg/dl لدى الذكور و25 µg/dl لدى الإناث. وتبقى مستويات

بروتوبورفيرين الكريات الحمر مرتفعة بعد انتهاء التعرض المهني للرصاص، بما لا يتناسب مع المستويات الحالية لرصاص الدم ، وفي هذه الحالة يرتبط مستوى بروتوبورفيرين الكريات الحمر بمقدار الرصاص القابل للخلب، والمطروح في البول، بشكل أفضل من ارتباطه بمستوى رصاص الدم.

يسبب العوز الخفيف للحديد ارتفاعاً في تركيز بروتوبورفيرين الكريات الحمر، إذ إن خلايا الدم الحمر وحمض دلتا - أمينولوفيلينيك ديهيدراتاز، وبيريميدين- 5- نوكليوتيد حساسة جداً للتأثير التثبيطي للرصاص، وهناك ارتباط سلبي وثيق بين نشاط مجموعتي الأنزيمات ورصاص الدم، وذلك عندما تراوح مستويات رصاص الدم بين10-40 µg/dl .

و يعد مقدار الرصاص الذي يطرح في البول، بعد إعطاء عامل خالب (مثل:EDTA) دلالة على مخزون الرصاص القابل للتحريك، إذ إن مقدار الرصاص الذي يطرح في البول، خلال 24 ساعة بعد إعطاء غرام واحد من مادة EDTA بالوريد، لا يتجاوز عادة 600 µg، وتشير قيم الرصاص القابلة للخلب بشكل رئيسي إلى مخزون الرصاص في الدم والأنسجة الرخوة، وجزء صغير يأتي من العظام.

ومن الطرق التي استخدمت أيضاً؛ طريقة تحديد الرصاص في الشعر كطريقة لتقييم مخزون الرصاص القابل للتحريك، إلا أنه يصعب التمييز في مواقع العمل بين الرصاص الداخلي المنشأ والرصاص الذي امتز ببساطة على سطحها .

وتم اللجوء إلى تحديد تركيز الرصاص في عاج ما حول لب الأسنان الساقطة (الأسنان اللبنية المؤقتة)؛ وذلك لتقدير التعرض

للرصاص في مرحلة الطفولة الباكرة. كما تستخدم المعالم التي تشير إلى تداخل الرصاص مع العمليات الحيوية ،وذلك لتقييم شدة التعرض للرصاص.

تعد محددات الرصاص الدموي وZPP الدعامتين الرئيسيتين للرصد الحيوي. ويلخص الجدول (5) محددات المراقبة الحيوية الأساسية للتعرض المهني للرصاص (ACGIH). حيث يعكس مستوى الرصاص الدموي التعرض الحالي والحديث نسبياً في حين يمثل ZPP التأثير الاستقلابي في خلايا سلسلة الكريات الحمر في نقي العظام، في مدة تزيد على ثلاثة أشهر، وعندما يتوقف التعرض ينخفض الرصاص الدموي بشكل أسرع من ZPP، مع الأخذ بالحسبان التنوع، والاستعداد الشخصي، والتعرض.

وقد خلص العدد الكبير من الدراسات الوبائية الحديثة المستفيضة التي أجريت على التعرض للرصاص في مواقع العمل، إلى أن مستوى الرصاص الدموي 40 µg/dl مرتفع جداً، حيث أظهرت أن حمل الجسم التراكمي ينعكس، في معظمه، في مستويات الرصاص العظمية التي تعتبر المسبب الرئيسي لارتفاع الضغط، وللانحدار المتزايد في المعرفة لدى الكبار، وللتأثيرات المؤذية لدى الخدج. ولذلك قررت NIOSH تخفيض الحد الأقصى لمستوى التعرض للرصاص المسموح فيه للكبار.

نلاحظ أن الفحوصات المخبرية تستخدم كثيراً في تشخيص التسمم بالرصاص، وهو الشكل الوحيد لعملية التشخيص. فهناك الكثير من الأعراض العصبية، والمعدية المعوية غير النوعية عند مستويات الرصاص المنخفضة والمتوسطة، وعلى الطبيب أن يعي المصدر المحتمل للتعرض للرصاص. فمن الممكن تحديد تركيز

رصاص دموي أقل، لا تظهر عنده أية أعراض لدى بعض العمال، أو توجد الأعراض باستمرار لدى آخرين، فلا بد في هذا السياق من الأخذ بالحسبان، الاستعداد الشخصي للعامل. وبشكل عام، يتحرى الفحص الجسدي علامات قليلة للتسمم بالرصاص، تحدث من خلال مستويات تعرض في صناعات حديثة مسيطر عليها جيداً، فمن المطلوب مراجعة التاريخ العملي والأعراض والفحص الجسدي الكامل.

فالشحوب يوجد عند المرضى المصابين بفقر الدم، والفحص الدقيق للقوة الحركية، تكشف ضعفاً في العضلات الباسطة للرسغ والأصابع، خاصة اليد الأكثر استخداماً. فقد كان سقوط الرسغ الواضح في الماضي يلاحظ بكثرة بين العمال المصابين بتسمم الرصاص المزمن، المترافق مع ارتفاع مستويات الرصاص الدموي الطويلة الأمد، وأصبح نادر الوجود في الدول الصناعية في أيامنا هذه، وقد كان الشلل يصيب أيضاً عضلات أخرى كالعضلات الباسطة للرسغ وأصابع اليد، والباسطة للقدم وأصابع القدم.ويعد خط الرصاص اللثوي (حافة بيرتون الرصاصية)، أحد العلامات التقليدية للتسمم بالرصاص، وهو خط مرقط مزرق على طول القواطع السفلية، ويتألف من سلفيد الرصاص الناتج عن التفاعل بين الرصاص الممتص وكبريتات الهيدروجين المنبعثة من التفكك الجرثومي للمواد البروتينية بين الأسنان، وقلما يشاهد في الممارسات السريرية في هذه الأيام ، فتحسن السيطرة البيئية في الصناعة، والرعاية الصحية السنية الوقائية خففت من تكرار ظهور هذه العلامة حيث كان وجودها يدعم التشخيص بقوة.

الجدول (5) محددات المراقبة الحيوية للتعرض المهني للرصاص (ACGIH)

المحدد	الأوساط (الوحدات)	المستويات دون تعرض	مستوى التأثير الصحي غير الضار	مستوى التأثير السريري	توقيت أخذ العينة	الزمن النصفي	ملاحظات
الرصاص (LEAD)	الدم dl/µg	أقل من 2	20	أكثر من 20	غير حدي	بيانات غير كافية	الزمن النصفي للنسج الرخوة 1 شهر و20 سنة للعظام
بروتوبورفرين الزنك	الدم dl/µg	35-16	أقل من 35	بيانات غير كافية	غير حدي	4-2 أسابيع	يتباطأ الازدياد من 2-6 أسابيع بعد ارتفاع مستوى رصاص الدم: يفسر بروتورفرين الكرية الحمراء الحر بشكل يشابه بروتوبورفرين الزنك

أما الرصاص العضوي (ألكيل الرصاص)، فإن بعض الدول لاتزال تستعمله على شكل رابع ايتيل الرصاص tetraethyllead ورابع ميتيل الرصاص tetramethyllead كعامل مانع للخبط في وقود المركبات. ولا يعتبر رصاص الدم مؤشراً جيداً للتعرض، في حين يبدو أن رصاص البول مفيد لتقييم خطر التعرض المفرط.

7. طرق معالجة التسمم بالرصاص

عند تشخيص حالة تسمم بالرصاص لدى عامل في أحد مواقع العمل، أول ما يجب عمله هو إيقاف التعرض، حالما وصل مستوى الرصاص الدموي إلى 50 µg/dl أو أعلى. فوضعت (OSHA) معايير للرصاص في الصناعات عامة (الجدول 6)، [29CFR1910.1025] تستلزم اتخاذ تدابير معينة عند تراكيز محددة من الرصاص الدموي في جسم العامل، وقد وضعت هذه الإجراءات للوقاية من التأثيرات الصحية العكسية للتعرض للرصاص في مواقع العمل.

الجدول (6) التدابير المطلوبة في معيار الرصاص في الصناعة بحسب تراكيز الرصاص المختلفة في الدم (OSHA)

عدد الاختبارات المطلوبة	مستوى تركيز الرصاص الدموي (µg/dl)	التدابير الواجب اتخاذها
1	أعلى أو يساوي 40	إعلام العامل كتابة، إجراء فحص طبي واستشارة للعامل
3	أعلى أو يساوي 50	إبعاد العامل عن العمل محتمل التعرض للرصاص
1	أعلى أو يساوي 60	إبعاد العامل عن العمل محتمل التعرض للرصاص
2	أقل من 40	إعادة العامل إلى العمل محتمل التعرض للرصاص

اتخذت المعالجة الطبية أشكالاً غريبة عبر التاريخ، ومع التطور في مجالات الطب المختلفة أصبح مريض التسمم بالرصاص يعطى عوامل خالبة بغرض المعالجة. أما تحديد إن كان كافياً وقف التعرض، أو إعطاء العلاج بالخلب، فذلك يتوقف على درجة ارتفاع الرصاص الدموي وشدة الأعراض السريرية والاضطرابات البيوكيميائية والدموية وشكل التعرض. يجب أخذ كل هذه العوامل بالاعتبار في تحديد أهمية العلاج بالخلب، والاتجاه السائد في هذه الأيام، هو إعطاء معالجة عند مستويات رصاص دموية مرتفعة لا تترافق دائماً مع أعراض، وقد تختلف المؤشرات بين الأطفال والكبار.

عندما تستوجب الحالة المعالجة بعامل خالب كان أفضل دواء في الماضي هو CaN_2EDTA(EDTA)، خاصة في المواقع المهنية، والتي تتطلب إعطاءها عن طريق الحقن، قد استبدلت بإعطاء حمض 2-3- ديمركابتوساكسينيك (Succimer،DMSA)، ومن العوامل الخالبة المستخدمة؛ لمعالجة التسمم بالرصاص أيضاً ديمركابرول ود- بنسيلامين.

يعطى (EDTA) الذي يشكل خالباً معدنياً قابلاً للطرح عن طريق الكلى في حالات التسمم بالرصاص المصحوب بأعراض حادة، أو خلال مسار التسمم المزمن، في حالات التفاقمات الحادة التي تتظاهر بأعراض عصبية، وهضمية، أو بارتفاع سريع لمستويات الرصاص الدموية، وهما الحالتان الأساسيتان اللتان ينصح فيهما بالمعالجة الخالبة. وتنصح بعض الأنظمة العلاجية التي تتضمن إعطاء(EDTA) باتباعه Succimer عن طريق الفم.

إن إعطاء العلاج الخالب يجب أن يتم دائماً بعد وقف التعرض للرصاص وتحت إشراف طبي في المستشفى. ومن الواجب

ألا يتعرض المريض للرصاص خلال المعالجة ولعدة أسابيع، بعد المعالجة .

تصل الجرعات اليومية العلاجية إلى 50 mg /kg، بمعدل أقصى، يبلغ 20 mg /دقيقة، تقتصر مدة العلاج الإجمالي على خمسة أيام في بروتوكول المعالجة النموذجية. وفي أثناء هذه الفترة يجب تجميع بول 24 ساعة؛ لقياس كمية الرصاص المطروح خلال المعالجة. والبول المطروح، خلال 48 ساعة الأولى، يعكس المعلومات الأكثر دقة عن شدة الحالة قبل المعالجة، والذي يعبر عن كمية الرصاص التي تحررت من مخازن الأنسجة المختلفة. ومن الواجب البقاء في يقظة وحذر من حدوث محتمل لاضطراب النظم القلبي، والطفح، والحمى، والتأذي الكلوي (تنخر نبيبي حاد)، وهي تأثيرات جانبية محتملة للمعالجة، ولذلك يجب إجراء تحليل بول يومي .

وبسبب تحرك الرصاص من مخازن الأنسجة المختلفة، فإن فعالية المعالجة، كوسيلة لتخفيض مستوى الرصاص الدموي العالي، يمكن فحصها بعد نحو 5-7 أيام من مدة العلاج، وعندها يجب سحب عينة دموية للتحليل. لايزال موضوع إعطاء EDTA، أو كما يسمى اختبار تحريك EDTA أو اختبار الخلب الاستثاري، مجال بحث ونقاش. والنتيجة الإيجابية بعد إعطاء 2 g EDTA هي 600 µg رصاص في البول المجمع خلال 24 ساعة. وأظهرت الخبرة الطويلة في هذا المجال، أن هذا الاختبار نادراً ما يكون له دلالات في مواقع العمل، وقد استبدلته بعض المواقع بقياسات الرصاص العظمي noninvasive KXRF كطريقة لتقييم حمل الجسم الكلي .

كما أثبتت فعالية استخدام العامل الخالب الفموي DMSA (Succimer) دواء للتسمم بالرصاص، وقد يفوق EDTA في تعزيز

طرح الرصاص من مخازن الجسم، ذات الصلة المباشرة بالتأثيرات الصحية العكسية للرصاص. ينصح للكبار بجرعة فموية 10 mg /kg كل 8 ساعات، ولمدة خمسة أيام. أما تأثيراته الجانبية فهي خفيفة نسبياً إلا أنها تتضمن طفحاً، وانزعاجاً بطنياً مع غثيان، وفقد شهية، وإقياء.

بينما يزيد BAL من طرح الرصاص عن طريق البول والبراز، وتشمل دواعي استعمالاته، مستويات الرصاص الدموي المرتفعة في تسمم الرصاص المصحوب بالأعراض، وغير المصحوب بالأعراض. ولا يعتبر الفشل الكلوي مضاد استطباب لاستخدامه. غالباً ما يعطى مع EDTA ؛ لمنع أو تقليص حدوث الأعراض العصبية؛ كنتيجة لارتفاع مستويات الرصاص الدموية خلال المعالجة بالخلب. يعطى عن طريق العضل جرعة تراوح بين 50-70 mg / m^2 على ست جرعات، خلال 24 ساعة وفي مدة 3-5 يوم. وتتضمن الأعراض الجانبية أعراضاً هضمية وتسرعاً في ضربات القلب، وحمى وارتفاعاً في وظائف الكبد.

كما استخدم د- بنسيلامين (D-Penicillamine) لعدة عقود، في معالجة التسمم بالرصاص، ولهذا الدواء ميزة تناوله عن طريق الفم، وهذا يزيد من طرح الرصاص عن طريق البول. ويعتبر مضاد استطباب لدى المرضى الحساسين للبنسلين؛ بسبب التفاعلية المتصالبة. وتتضمن التأثيرات الجانبية طفحاً وحمى وطيفاً واسعاً من الأعراض الهضمية وتأثيرات دموية؛ مثل قلة الكريات البيض، ونقص الصفيحات الدموية.ويوصى بجرعة 10 mg /kg /24 ساعة لمدة 7 أيام، مع إمكانية إطالة مدة العلاج إلى 2-3 أسابيع إلا أن خطورة تأثيراته الجانبية حدت من استعمالاته.

و أجريت بعض المحاولات لإعطاء مواد أخرى لمعالجة التسمم بالرصاص لتقويم آثاره البيوكيميائية. فأعطي فيتامين C والثيامين مع الزنك وفيتامين E وقد قاوم هذا المركب بعض المظاهر السمية للرصاص. وهناك بعض البراهين على أن إعطاء فيتامين C عن طريق الفم له تأثير خالب بسيط. وقد تبنى بعض الممارسين جرعات يومية منه تقدر بحوالي 1000 mg /يوم كتوصية إضافية في مواقع التعرض المفرط للرصاص.

ملحق (1) الدراسات الاستباقية لخطر الإصابة بالسرطان بين المجموعات المهنية المعرضة للرصاص أو مركباته

المرجع، الموقع	وصف المجموعة	التقييم أو مؤشرات التعرض للرصاص	مكان الإصابة بالسرطان	تصنيف التعرض	عدد الحالات أو الوفيات	المخاطر ذات الصلة	%95 CI	ملاحظات
عمال مصانع البطاريات 1988/Fanning المملكة المتحدة	دراسة معدل الوفيات النسبي لـ 2073 رجلاً 1926 – 1985	منخفضة لدى (1206 رجل) مرتفعة لدى (867 رجل) من المجموعات المعرضة: محددة بمصفوفة العمل – التعرض	جميع المواقع المعدة الرئتين		195 31 86	PMOR 0.95 1.34 0.93		مقتصرة على الوفيات وخدمات التأمين
Wong & Harris /2000 الولايات المتحدة الأمريكية	4518 رجل يعملون لمدة تزيد عن سنة 1947 – 1970 95% على قيد الحياة تسبب بوفاة 99.5% (شهادات وفاة)	لا توجد بيانات تعرض رصد حيوي 1947 – 1972 رصاص بولي (2275 رجل) رصاص دموي (1863 رجل) متوسط الرصاص الدموي 63 µg/dl (n=1083) متوسط الرصاص البولي 130 µg/dl (n=1550)	جميع المواقع الرئتين المعدة الأمعاء الغليظة المستقيم الجملة العصبية المركزية الكليتين		624 210 45 59 14 10 7	SMR 104.7 113.9 152.8 103.9 84.7 75.0 50.2	113.2-96.6 130.4-99.0 204-111.5 134.0-79.1 142.1-46.3 137.9-35.9 103.4-20.2	تعتمد الوفيات المتوقعة على معدل الوفيات بين الرجال في الولايات المتحدة الأمريكية
عمال صهر الرصاص Wong & Harris /2000 الولايات المتحدة الأمريكية	2300 رجل يعملون في 6 مصانع صهر لمدة تزيد عن سنة 1947 – 1970 ومتابعتهم خلال الفترة 1947 – 1970 93% على قيد الحياة سبب الوفاة 99.5% (شهادات وفاة)	لا توجد بيانات تعرض رصد حيوي 1947 – 1972 رصاص بولي (2275 رجل) رصاص دموي (1863 رجل) متوسط الرصاص الدموي 80 µg/dl (n=254) متوسط الرصاص البولي 173 µg/dl (n=1550)	جميع المواقع الرئتين المعدة الأمعاء الغليظة المستقيم الجملة العصبية المركزية الكليتين		273 107 15 22 8 5 6	SMR 101.8 121.5 133.4 89.0 123.0 75.4 92.3	114.6-90.1 146.8-99.5 220.0-74.6 134.7-55.8 242.4-53.1 24.2–173.9 201.0-33.9	تعتمد الوفيات المتوقعة على معدل الوفيات بين الرجال في الولايات المتحدة الأمريكية

المرجع، الموقع	وصف المجموعة	التقييم أو مؤشرات التعرض للرصاص	مكان الإصابة بالسرطان	تصنيف التعرض	عدد الحالات أو الوفيات	المخاطر ذات الصلة	%95 CI	ملاحظات
McMichael & Johnson (1982) آستراليا	241 عامل صهر يعملون من 1-30سنة شخص لديهم التسمم بالرصاص 1928-1959 وحتى 1977 عينت 140 حالة وفاة عن طريق سجلات الوفيات	التسمم بالرصاص: متوسط الرصاص البولي dl/µg	جميع المواقع	عمال لديهم تسمم بالرصاص مقابل عمال آخرين	9	SPMR 0.59		المجموعة المرجعية وفاة 695 عامل صهر بدون تسمم بالرصاص
Strenland وآخرون (1992) USA	1990 عامل صهر من الذكور يعملون لمدة تزيد عن سنة على الأقل يوم في مصنع الصهر 1940 – 1965 مجموعة فرعية أكثر تعرضاً (n=1436) على قيد الحياة ≥31 في كانون الثاني/ديسمبر 1979 95.5% سبب الوفاة 96.3%	متوسط الرصاص الدموي 56 µg/dl (n=173) متوسط الرصاص في الهواء 3.1 mg / m^3 (n=203) متوسط الزرنيخ في الهواء 14 mg / m^3 (n=89)	جميع المواقع المعدة الرئة مستقيمي قولونى الكليتين جميع المواقع المعدة الرئة مستقيمي قولونى الكليتين	مجموعة كاملة مجموعة فرعية	192 15 72 9 9 137 10 49 8 8	SPMR 98 136 118 48 193 98 128 111 59 239	112-84 224-75 148-92 90-22 367-88 115-81 234-61 147-82 116-25 471-103	قام Selevan وآخرون (1985) بمتابعة إضافية للمجموعة لا توجد معلومات عن التدخين

المرجع، الموقع	وصف المجموعة	التقييم أو مؤشرات التعرض للرصاص	مكان الإصابة بالسرطان	تصنيف التعرض	عدد الحالات أو الوفيات	المخاطر ذات الصلة	95% CI	ملاحظات
Gerhardsson وآخرون (1986) السويد	دراسة استباقية استعادية تمت خلالها متابعة 3832 رجل 1950–1981 مجموعة فرعية من 437 عامل يعملون لمدة ≤ 3 سنوات في أعمال شديدة التعرض للرصاص 1950–1974 معتمدين على متوسط قيمة تركيز الرصاص الدموي المتراكم: قسمت المجموعة الفرعية إلى مرتفعة (n=218) ومنخفضة (n=219) متوسط الرصاص الدموي المرتفع مرتفع>478.5 µg/dl/سنة>منخفض والمرتفع (n=288) والمنخفض (n=149) ذروة الرصاص الدموي مرتفع>70µg/dl/سنة >منخفض	متوسط الرصاص الدموي (n=173) 56 µg/dl متوسط الرصاص في الهواء m^3 / mg 3.1 (n=203) متوسط الزرنيخ في الهواء (n=89) m^3 / mg 14	جميع المواقع	المجموعة الفرعية متوسط pb دموي مرتفع ذروة pb الدموي المرتفع	90 23 15 16	SMR [114] [87] [100] [89]		معايير وطنية وإقليمية مخصصة للمسبب والجنس والعمر والفترة الزمنية
			الرئتين	المجموعة الفرعية متوسط pb دموي مرتفع ذروة pb الدموي المرتفع	90 8 5 4	[218] [160] [172] [118]		احتمال التعرض للزرنيخ والكروم والنيكل حدث Lundstrom الدراسة (1997)
			المعدة	المجموعة الفرعية متوسط pb دموي مرتفع ذروة pb الدموي المرتفع	46 3 2 3	[143] [94] [111] [136]		

المرجع، الموقع	وصف المجموعة	التقييم أو مؤشرات التعرض للرصاص	مكان الإصابة بالسرطان	تصنيف التعرض	عدد الحالات أو الوفيات	المخاطر ذات الصلة	%95 CI	ملاحظات
Lundstrom وآخرون (1997) السويد	3979 عامل يعملون لمدة تزيد عن 1 سنة 1928–1979 مجموعة فرعية من 1992 عامل من قسم الرصاص وآخرون من أقسام معرضة للرصاص. تعداد الوفيات 1955–1987 على قيد الحياة 88.5% معدل الحدوث 1958–1987	مستوى الرصاص الدموي 1950–1969 (AES) و1967–1987 (AAS) متوسط الرصاص الدموي في 1950، 62 dl/µg متوسط الرصاص الدموي في 1987 33 dl/µg ≤ 15 سنة دور الكمون		المجموعة	n=3979	SMR		متابعة لدراسة Gerhardsson وآخرون (1986) خصص معيار إقليمي للمسبب والجنس والعمر والفترة الزمنية نموذج متعدد العوامل يفتقر إلى بيانات عن التدخين
			جميع المواقع الرئتين	الكاملة	126	120	150-100	
					39	280	380-200	
				المجموعة	n=1026			
			جميع المواقع الرئتين	الفرعية الأكثر تعرضاً	55	120	150-90	
					19	280	450-180	
				المجموعة الكاملة	n=2353	SIR		
			جميع المواقع الرئتين		172	110*	120-90	
					42	290	400-210	
			الجملة العصبية المركزية		6	110	230-40	
			الهضمية		31	80	110-50	
			الكليتين		7	90	190-40	
				المجموعة	n=650	SIR		
			جميع المواقع الرئتين	الفرعية	83	100*	140-90	
				الأكثر	23	340	520-220	
			الجملة العصبية المركزية	تعرضاً	4	160	420-40	
			الهضمية		15	80	130-50	
			الكليتين		3	90	250-20	
		عمال الرصاص فقط أو قسم الرصاص والأقسام المعرضة للرصاص ≤ 15 سنة دور الكمون			n=1005	SIR		
			جميع المواقع الرئتين		44	90*	120-60	
					14	310	520-170	
			الجملة العصبية المركزية		2	110	380-10	
			الهضمية		6	50	110-20	
			الكليتين		0	0	150-0	

(يتبع) Lundstrom			جميع المواقع	المجموعة الفرعية الأكثر تعرضاً	N=163			200-80
			الرئتين		19	120		200-80
			الجملة العصبية المركزية		7	510		1050-200
					1	190		1050-10
			الهضمية		2	50		190-10
			الكليتين		0	0		500-0
Englyst وآخرون (2001) السويد	3979 عامل في صهر الرصاص والنحاس الأولي، متابعة من 1958-1987 مجموعة فرعية (1): 710 عمال يعملون في قسم الرصاص وأقسام أخرى خلال تاريخ عملهم. مجموعة فرعية (2): 383 عامل من المجموعة الفرعية (1) يعملون في قسم الرصاص فقط	اعتمد التقييم على مؤشر الرصاص الدموي المتراكم	جميع المواقع	مجموعة فرعية (1)	**SIR**			130-70
			الرئة		47	100		130-70
			الكليتين		10	240		450-120
			الجملة العصبية المركزية		2	90		320-10
					1	60		360-2
			جميع المواقع	مجموعة فرعية (2)	18	120		190-70
			الرئة		5	360		830-120
			الكليتين		1	130		720-3
			الجملة العصبية المركزية		0	0		650-0

يتعرض العاملون أيضاً إلى الزرنيخ

نفس المجموعة التي درست من قبل Lundstorm وآخرون (1997)

المرجع، الموقع	وصف المجموعة	التقييم أو مؤشرات التعرض للرصاص	مكان الإصابة بالسرطان	تصنيف التعرض	عدد الحالات أو الوفيات	المخاطر ذات الصلة	%95 CI	ملاحظات
Gerhardsson وآخرون (1995) السويد	664 رجل يعملون في صهر الرصاص الثانوي لمدة تزيد عن ثلاثة أشهر 1942–1987 الحدوث 1969 – 1989	اعتيان الرصاص الدموي بدءاً من 1969	جميع المواقع المعدة الكليتين الجملة العصبية المركزية الطرق التنفسية		40 3 1 1 6	**SIR** 127 188 80 75 132	174-91 550-39 448-2 420-2 288-49	تعداد سكان معياري إقليمي، معدلات المقاطعة مخصصة للمسبب والجنس والعمر والفترة الزمنية
Cocco وآخرون (1996) إيطاليا	1345 عامل في مصنع صهر الزنك والرصاص، تمت متابعتهم بين 1973–1991؛ مجموعة فرعية من 1222 لديهم النمط الظاهري لنازعة هيدروجين الغلوكوز -6- فوسفات معروف	متوسط الرصاص في الدم بين 1988 – 1992؛ متوسط الرصاص البيئي في 1991	الرئة المعدة جميع المواقع	المجموعة الكاملة النمط البري G6PD عوز- G6PD	2 2 10 2	**SMR** (57) (333) معدل وفيات معياري 25.7 17.9	[206-7] [1204-40] 30.6-21.4 30.1-4.3	مرجع إقليمي (سردينيا) تأثير الحالة الصحية المحتملة للعامل. لم توجد أي إشارة للتدخين

المرجع، الموقع	وصف المجموعة	التقييم أو مؤشرات التعرض للرصاص	مكان الإصابة بالسرطان	تصنيف التعرض	عدد الحالات أو الوفيات	المخاطر ذات الصلة SMR	%95 CI	ملاحظات
Cocco وآخرون (1997) إيطاليا	1388 عامل في صهر الرصاص يعملون لمدة تزيد عن سنة 1931–1971، تمت معاينة معدل الوفيات 1950–1992 على قيد الحياة 97.3% سبب الوفاة 96%	تركيز الرصاص في الغبار القابل للاستنشاق؛ زرنيخ الهواء أقل من مستوى الاكتشاف (23–24) المتوسط الهندسي لرصاص الهواء 48 µg/m3	جميع المواقع		149	69	81-58	مرجع وطني (1950–1992)
			الرئة		35	62	86-43	
			المعدة		17	49	79-29	
			المخ		4	125	34-319	
			الكليتين		5	142	46-333	
			جميع المواقع		132	93	110-78	مرجع إقليمي (1965–1992)
			الرئة		31	82	116-56	
			المعدة		14	97	162-53	
			المخ		4	217	557-57	
			الكليتين		4	175	449-48	
إنتاج أصبغة كرومات الرصاص Sheffet وآخرون (1982) USA	1345 عامل (1296 قوقازيين، و650 من غير القوقازيين) يعملون لمدة تساوي أو تزيد عن شهر في مصنع أصبغة (1940–1969) تمت متابعتهم حتى عام 1979	التعرض لعينات هواء يحوي أغبرة كيميائية (كروم محمل بالهواء)		القوقازيون				
			جميع المواقع		50	1.03		تعداد السكان الوطني
			الرئة		21	1.6		
			المعدة		5	2.0		
			الأمعاء الغليظة		2	0.5		عدل ليشمل حالات وفيات مجهولة السبب
				غير القوقازيون				
			جميع المواقع		25	1.01		
			الرئة		10	1.6		
			المعدة		3	1.6		
			الأمعاء الغليظة		0	0.0		

المرجع، الموقع	وصف المجموعة	التقييم أو مؤشرات التعرض للرصاص	مكان الإصابة بالسرطان	تصنيف التعرض	عدد الحالات أو الوفيات	المخاطر ذات الصلة	%95 CI	ملاحظات
Davies وآخرون (1984) المملكة المتحدة	1152 عامل أصبغة، بدؤوا العمل 1933-1947-1949 تمت متابعتهم حتى 1981، تتعرض مصانع A-B لكرومات الرصاص والزنك ويتعرض المصنع C لكرومات الرصاص فقط	صنف العمل ضمن درجات التعرض مرتفع - متوسط - منخفض	الرئة	تاريخ بدء العمل مصنع A 1945-1932 1954-1946 1963-1955 1967-1963 مصنع B 1960-1948 1967-1961 مصنع C 1960-1946	 13 8 2 0 6 5 1	SMR 222 223 100 – 373 562 48	 380-120 440-100 360-10 - 810-140 1310-180 270-48	تعرض مرتفع ومتوسط مرجع، معدلات وطنية خمسية (لمدة خمس سنوات). عدل من أجل فترة الخدمة
Davies وآخرون (1984) المملكة المتحدة	57 عامل أصبغة لديهم تسمم سريري بالرصاص غير قاتل؛ تمت متابعتهم من تاريخ التسمم أو من أقدم تسجيل متاح خلال 31 كانون الأول 1981	–	الرئة		4	SMR 145	[370-39]	نفس المصانع في الدراسة السابقة، مرجع وطني
عمال الزجاج Cordioli وآخرون (1987) إيطاليا	468 عامل في صناعة الزجاج يعملون لسنة أو أكثر من 1953-1967 وتمت متابعتهم حتى 1989؛ على قيد الحياة 98.3%		جميع المواقع الرئة الحنجرة المعدة		28 13 4 2	SMR 127 209 449 61	[184-84] [357-111] [1150-122] [220-7]	تعداد السكان المعياري الوطني

المرجع، الموقع	وصف المجموعة	التقييم أو مؤشرات التعرض للرصاص	مكان الإصابة بالسرطان	تصنيف التعرض	عدد الحالات أو الوفيات	المخاطر ذات الصلة	95% CI	ملاحظات
				المجموعة الكاملة		SIR		
Sankila وآخرون (1990) فنلندا	دراسة لـ3749 (803 رجل و1946 امرأة) يعملون لمدة ثلاثة أشهر أو أكثر في مصنعي زجاج، تمت متابعتهم 1953–1986؛ مجموعة فرعية 235 عامل في نفخ الزجاج (201 رجل و34 امرأة)	–	المعدة		34	93	64-129	تعداد السكان المعياري الوطني
			الكلى		3	35	-1072	
			الجملة العصبية المركزية		6	60	22-131	
			الرئة		69	128	99-162	
			القولون	دراسة	7	46	19-96	
			المستقيم	فرعية عن	14	113	62-189	
			الرئة	عمال نفخ	5	85	28-198	
			المعدة	الزجاج	6	231	85-502	
			الجلد		3	625	129-1827	
						SMR		
Wingren& Englander (1990) السويد	625 عامل في المشغولات الزجاجية لمدة شهر أو أكثر 1964–1985	قياسات الرصاص في الهواء	جميع المواقع		26	138	[90-202]	مرجع المقاطعة حالة التدخين أقل من تعداد السكان العام
			الرئة		6	240	[88-522]	
			القولون		4	250	[68-640]	
عمال المناجم Cocco وآخرون (1994) إيطاليا	4740 رجل يعملون لمدة سنة أو أكثر 1932–1971 في منجمي زنك/رصاص معدل الوفيات 1960–1988 الأحياء 99.5% سبب الوفاة 99.4%		جميع المواقع		293	94	83-105	مرجع إقليمي، يشمل تعرض 1741 شخص خاضع للدراسة للسيلكا والرادون بحسب Carta وآخرون 1994
			الرئة		86	95	76-112	
			المعدة		27	94	62-137	
			المثانة		17	115	67-184	
			الأمعاء والمستقيم		12	64	33-112	
			الصفاق خلف الصفاق		6	367	135-798	
			الكلى		7	128	52-264	
			الجملة العصبية		8	117	50-230	

المرجع، الموقع	وصف المجموعة	التقييم أو مؤشرات التعرض للرصاص	مكان الإصابة بالسرطان	تصنيف التعرض	عدد الحالات أو الوفيات	المخاطر ذات الصلة	95% CI	ملاحظات
عمال طباعة الجرائد Michaels وآخرون USA (1991)	1261 عامل عضو في نقابة الطباعين يعملون من 1ك2/يناير 1961 تمت متابعتهم 1961–1984 الأحياء 96.9%		جميع المواقع الرئة المعدة المثانة ابيضاض الدم وندرة الكريات البيض		123 37 5 8 5	SMR 84 89 55 151 104	100-69 122-62 128-18 297-65 244-34	معيار إقليمي (معدلات مدينة نيويورك) تم إلغاؤه تدريجياً 1974–1978 قبل ذلك وثقت تعرضات منخفضة لدى شركات صناعة الطباعة تتراوح بين 2%-40% بالمعيار المهني
الرصاص العضوي Fayerweather وآخرون (1997) USA	دراسة للحالات والشواهد في موقع تصنيع رابع إيتيل الرصاص؛ 735 حالة رجل و1423 شاهد متوافقين في العمر والجنس والمرتبة الوظيفية؛ سجلات وفيات الشركة وجداول التشغيل	التشغيل في مناطق رابع ايتيل الرصاص	الجهاز الهضمي المستقيم القولون	-تعرض تراكمي -تعرض مرتفع - مرتفع جداً - تراكمي - مستويات مرتفعة إلى مرتفعة جداً - تراكمي - مستويات مرتفعة إلى مرتفعة جداً	45 10 16 9 7 16 8	OR 1.3 1.3 2.2 3.7 5.1 1.3 1.7	1.9-0.9 2.7-0.7 4.0-1.2 10.2-1.3 16.5-1.6 2.5-0.7 4.0-0.8	CI 90% معدل الحدوث بين العمال النشطين، شرائح ربعية للتعرض التراكمي (منخفض–متوسط–مرتفع–مرتفع جداً) يحدد الرقم بالسنوات × شدة التعرض، ترتيب المتغيرات الناجمة عن تنوع المصادر

PMOR: معدل احتمالات الوفيات النسبية؛ SMR: معدل الوفيات المعياري؛ SPMR: معدل الوفيات النسبي المعياري؛ SIR: معدل الحدوث المعياري؛ OR: النسبة المرجحة؛ [..]: محسوبة من قبل مجموعة العمل

ثبت المراجع

- NIOSH،1992،Preventing lead poisoning in Construction Workers.
- ILO،1998،Encyclopaedia of occupational health and safety-4th Edition.
- IPCS، 2002،International chemical safety cards(ICSCs).
- ILO،2003،Safety and Health in the non-ferrous metals industries.
- WHO-IARC،2006، IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans -Volume (87) Inorganic and organic lead compounds. - Lyon-France.
- William N.Rom،2007،Environmental and Occupational Medicine-4th Edition-USA.
- Philip J.Landrigan،2007، Environmental Toxicants and Neurobehavioral Development.USA.

- المعهد العربي للصحة والسلامة المهنية،2007، المراقبة الحيوية للتعرض المهني للمواد الكيميائية في بيئة العمل (دليل استرشادي).
- المعهد العربي للصحة والسلامة المهنية، السموميات، الفصل (3) المجلد (1) موسوعة الصحة والسلامة المهنية – الإصدار الرابع – ILO