

Jurnal Penelitian Kesmasy	Vol. 7 No.2	Edition: Oktober 2024– April 2025
	http://ejournal.delihusada.ac.id/index.php/JPKSY	
Received: 09 Mei 2025	Revised: 12 Mei 2025	Accepted: 16 Mei 2025

HUBUNGAN RISIKO PAJANAN TIMBAL DENGAN PERILAKU AGRESIF: TINJAUAN LITERATUR

Jimmy Nixon Soriton

Program Studi Magister Kesehatan, Universitas Binawan

Email : 182331003@student.binawan.ac.id

Abstract

Lead exposure is a concern that must be addressed by many stakeholders in Indonesia. Lead exposure results in many health problems. With its status as a cumulative toxic substance, lead has the ability to cause a number of significant negative effects on overall public health. Lead exposure has long been suspected as one of the causes of aggressive behavior. However, the underlying mechanism of this impact is not completely understood. Public awareness, especially adolescents, of sources of exposure and assessment of adolescent aggressive behavior is very important because prolonged exposure to lead will prevent adolescents from realizing their potential. The purpose of this study was to conduct an article review focusing on the association between lead exposure and aggressive behavior. Articles were gathered by doing a systematic search of electronic databases such as Google Scholar, PubMed, and MDPI, with publication dates limited to 2019-2023. The keywords utilized were lead, exposure, aggressive behavior. The findings of this literature review indicate a robust link between lead exposure and aggressive behavior in a variety of age groups and populations. In general, the study methods utilized in the selected articles, utilizing both longitudinal cohort and cross-sectional designs, indicated that greater blood or bone lead levels were associated with increased aggression..

Keywords: *Lead, Exposure, Behavior, Aggressive*

PENDAHULUAN

Timbal

Terbentuk secara alami di kerak bumi, timbal (Pb) adalah logam berat yang sangat beracun. Timbal dapat ditemukan di banyak tempat, terutama di area aktivitas manusia seperti pertambangan, manufaktur, dan pembakaran bahan bakar fosil. Timbal jarang ditemukan dalam bentuk unsur di lingkungan, sebaliknya timbal ditemukan dalam bentuk oksidasi +2 (Timbal++) dalam sejumlah batuan logam yang ditemukan di bumi (Sanders et al., 2009).

Sebagai logam berat dengan banyak sifat, timbal berguna untuk berbagai aplikasi. Selama sebagian besar tahun 1920-an, kendaraan bermotor di Amerika Serikat menggunakan bensin yang mengandung aditif tetraetil timbal karena pendapat umum bahwa timbal dapat meningkatkan kinerja mesin dengan meningkatkan peringkat oktan, mengurangi ketukan mesin, dan mengoptimalkan kinerja duduk katup (Mielke et al., 2010). Timbal digunakan secara luas dalam cat hingga tahun 1978 di AS, ditambahkan ke dalam cat karena sifatnya yang dapat mengurangi waktu yang dibutuhkan cat untuk mengering dan membuat cat tahan terhadap kelembapan. Setelah tahun 1978, timbal terus digunakan dalam beberapa cat, tetapi di banyak negara, kandungan timbal harus kurang dari 90 bagian per juta (konsentrasi kurang dari 0,009% dalam cat) (Obeng-Gyasi, 2019).

Paparan timbal telah lama dicurigai sebagai penyebab adanya perilaku agresif. Mekanisme toksisitas timbal yang menyebabkan perubahan neurologis pada sistem saraf pusat terutama agresivitas belum sepenuhnya dijelaskan dalam model manusia atau eksperimental, namun peneliti berusaha menjelaskan bagaimana paparan timbal mengakibatkan perilaku agresif secara molekuler. Penelitian yang mengevaluasi efek penghambatan aktivitas neuronal nitric oxide synthases (nNOS) pada

sistem serotonergik dan hubungannya dengan perilaku agresif baru-baru ini mengeksplorasi gagasan tentang hubungan antara sistem serotonergik dan nitergik dan perilaku agresif (Carreño Gutiérrez et al., 2020). Jenis penelitian ini membantu mengidentifikasi target molekuler dari kerusakan yang disebabkan paparan timbal, tingkat kerusakan pada perkembangan otak, dan perubahan perilaku. Paparan timbal menginduksi perubahan pada pembuluh darah otak, khususnya pada nitric oxide synthases (NOS), yang pada gilirannya memengaruhi sistem serotonergik dan menyebabkan peningkatan perilaku agresif pada individu yang terpapar (Martínez-Lazcano et al., 2018)

BAHAN DAN METODE

Proses seleksi artikel untuk tinjauan literatur ini digambarkan pada tabel 1.

1. KRITERIA KELAYAKAN

Untuk setiap referensi, studi secara eksplisit meneliti hubungan antara risiko paparan timbal dan perilaku agresif, termasuk faktor risiko tambahan yang dapat berinteraksi dengan paparan timbal dalam meningkatkan agresivitas.

2. KRITERIA INKLUSI

Tinjauan literatur ini mencakup artikel yang menggunakan metode kuantitatif dengan analisis statistik yang jelas dalam menilai hubungan antara paparan timbal dan perilaku agresif. Studi dengan ukuran sampel yang memadai dan desain penelitian meliputi studi longitudinal atau *cross-sectional*. Rentang waktu penelitian antara 2019 hingga 2023.

3. KRITERIA EKSKLUSI

Artikel tidak diikutsertakan dalam tinjauan literatur ini jika studi hanya membahas paparan timbal namun tidak menghubungkannya dengan agresivitas atau gangguan perilaku, penelitian yang

hanya membahas dampak timbal pada kesehatan fisik tanpa kaitan dengan perilaku agresif atau artikel yang hanya membahas perilaku agresif tapi tidak mengaitkannya dengan paparan timbal. Selain itu, artikel berupa studi literatur, studi dengan sampel yang terlalu kecil, metode pengukuran yang tidak jelas dan studi dengan potensial konflik kepentingan juga tidak diikutsertakan dalam tinjauan literatur ini.

4. SUMBER INFORMASI

Artikel didapatkan dengan melakukan pencarian secara sistematis terhadap *database* elektronik seperti Google Scholar, PubMed, dan MDPI dengan tahun publikasi antara 2019-2023. Kata kunci yang digunakan adalah *Lead, Exposure, Aggressive, Behaviour*.

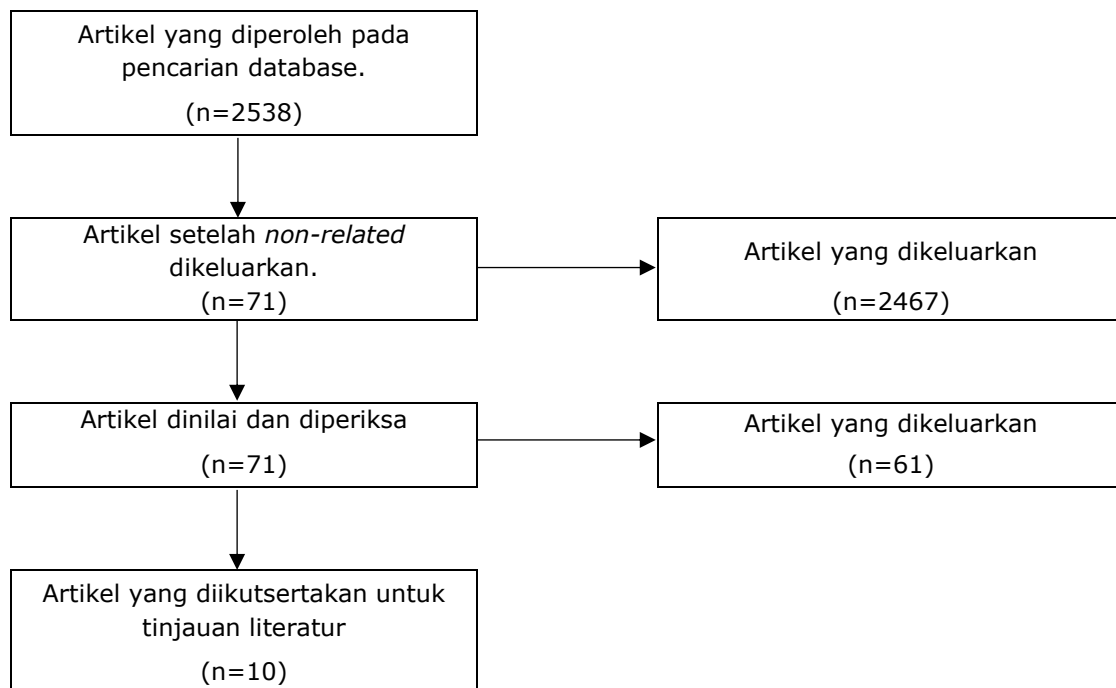
5. SELEKSI ARTIKEL

Pencarian artikel pada database dilakukan untuk menemukan artikel yang mungkin berhubungan dengan tema tinjauan literatur, abstrak artikel diteliti untuk melihat apakah memenuhi kriteria inklusi dan selanjutnya seluruh teks dibaca dan dinilai. Artikel yang dinilai tepat di kelompokkan dalam satu tabel.

6. PROSES PENGUMPULAN DATA

Format tabel penelitian dikembangkan dan diisi untuk 10 artikel yang diikutsertakan. Data yang dikumpulkan meliputi nama peneliti, negara, tahun publikasi, metode penelitian, instrumen penelitian, studi populasi, variabel penelitian, dan temuan utama.

Tabel 1. Proses seleksi artikel



HASIL

Sebanyak 10 artikel yang dipublikasikan antara 2019-2024 dipilih untuk bahan tinjauan literatur ini. 6 artikel menggunakan pendekatan *longitudinal study (Cohort)*, dan 4 artikel

menggunakan pendekatan Cross-Sectional Study.

Tabel 2 di bawah ini menjelaskan karakteristik utama dari artikel-artikel yang ditinjau.

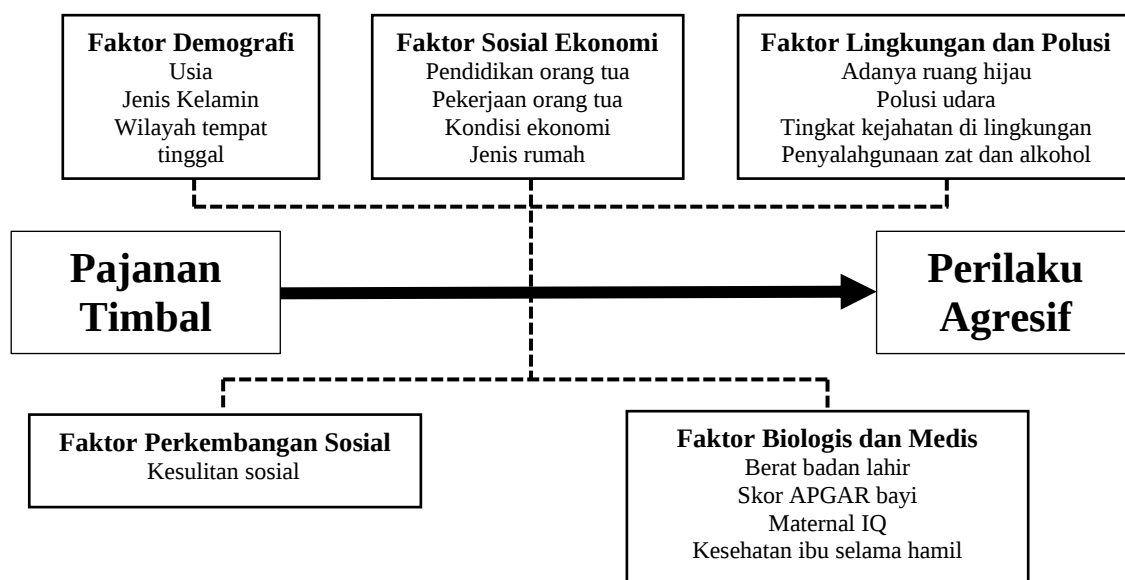
Tabel 2. Karakter umum artikel penelitian yang disertakan (n=10)

Peneliti	Negara	Tahun	Metode	Instrumen	Populasi	Variabel	Temuan
Tlotleng et al	Afrika Selatan	2022	Cohort	<i>Bone Lead Measurements, The Buss-Perry Aggression Questionnaire (BPAQ)</i>	100, Remaja	- BLL - Perilaku Agresi - Confounder	- Peningkatan unit dalam paparan timbal kumulatif meningkatkan skor rata-rata agresi pada remaja akhir. - Konsentrasi timbal dalam tulang secara signifikan terkait dengan skor agresi untuk kemarahan.
Glenn et al	China	2022	Cohort	<i>Blood Lead Measurements, Reactive and Proactive Aggression Questionnaire (RPQ)</i>	818, Anak-anak (10-13 tahun)	- BLL - Perilaku agresi proaktif dan reaktif, - Covariates	- BLL berhubungan dengan agresi reaktif tapi tidak dengan agresi proaktif. - Terdapat interaksi yang signifikan antara BLL dan jenis kelamin dalam memprediksi agresi. - Anak laki-laki dengan BLL yang lebih tinggi memiliki skor yang lebih tinggi dalam agresi proaktif dan reaktif daripada anak laki-laki dengan BLL yang lebih rendah.
Liu et al	USA	2022	Cross-Sectional	<i>Blood Lead Measurements, 10 total indicators derived from a psychosocial interview</i>	131, Anak-anak (11-12 tahun)	- BLL, - Perilaku Internalizing dan Externalizing - Covariates	- Perilaku eksternalisasi dan tingkat timbal darah dimediasi sebagian oleh kesulitan sosial. - Tidak ditemukan korelasi yang signifikan antara perilaku internalisasi dan kadar timbal dalam darah. - Perilaku eksternalisasi berkorelasi dengan kadar timbal dalam darah, terutama pada anak-anak di usia dini. Beberapa indikator kesulitan sosial juga berkorelasi dengan kadar timbal dalam darah yang lebih tinggi pada anak-anak.
Wright et al	USA	2021	Cohort	<i>Blood Lead Measurements, Criminal</i>	254, Dewasa muda (18-33 tahun)	- BLL - Jumlah penahanan kriminal	Konsentrasi timbal dalam darah masa kanak-kanak secara prospektif memprediksi variasi

				<i>behavior measures</i>		• <i>Potential Confounds</i>	penangkapan dan penahanan orang dewasa selama masa hidup.
Reyes-Sanchez et al	Mexico	2022	<i>Cohort</i>	<i>Bone and Blood Lead Measurements, Behavioral Assessment System for Children-2nd version (BASC-2)</i>	743 Prenatal, 704 Anak usia dini, 595 Remaja	• BLL • Perilaku Agresi • <i>Confounder</i>	• Paparan timbal selama tahap prenatal dikaitkan dengan masalah agresi dan perilaku selama masa periadolesensi.
Yildiz et al	Turki	2023	<i>Cross-Sectional</i>	<i>Blood Lead Measurements, The Buss and Perry's aggression questionnaire</i>	228, Remaja (13-19 tahun)	• BLL • Perilaku Agresi	• Kadar timbal dalam darah dan urin remaja dengan kecenderungan agresi yang tinggi lebih tinggi daripada remaja dengan kecenderungan agresi yang rendah. • Tidak ada hubungan yang signifikan antara kadmium dalam darah, plasma, dan urin atau merkuri dalam plasma dengan perilaku agresi.
Sears et al	USA	2022	<i>Cross-Sectional</i>	<i>Blood Lead Measurements, Behavioral Assessment System for Children-2</i>	244, Anak-anak (1-8 tahun)	• BLL • Perilaku Agresi	• Konsentrasi timbal dalam darah yang lebih tinggi pada delapan tahun pertama kehidupan dikaitkan dengan peningkatan kemungkinan beberapa perilaku yang terkait dengan ADHD terutama agresi, masalah perilaku, dan hiperaktif.
Rasnick et al	USA	2021	<i>Cohort</i>	<i>Airborne Pb exposure assessment, The Behavioral Assessment System for Children, Parent Rating Scales (BASC-2)</i>	263, Anak-anak	• Airborne Pb • Perilaku agresi • <i>Confounder</i>	• Pada konsentrasi timbal di udara sepuluh kali lebih rendah dari Standar Kualitas Udara Ambien Nasional yang ditetapkan oleh US EPA, terdapat korelasi antara tingkat timbal dan hasil perilaku yang buruk.
Fruh et al	USA	2019	<i>Cohort</i>	<i>Blood Lead Measurement, The Behavior Rating Inventory of Executive Function (BRIEF) and the Strengths and Difficulties Questionnaire (SDQ)</i>	1006 Pasangan ibu dan anak	• BLL • Neurobehavioral • <i>Covariates</i>	• Terdapat hubungan antara timbal dan perilaku terkait EF (<i>Executive Function</i>) yang dinilai orang tua konsisten di seluruh subskala, yang mengindikasikan kinerja masa kanak-kanak yang diamati lebih buruk dengan paparan timbal prenatal yang lebih tinggi, paparan timbal yang lebih besar sebelum lahir dikaitkan dengan fungsi

Renzetti et al	Italia	2021	Cross-Sectional	Blood, urine and hair Lead assessment, Child Behavior Checklist and the Social Responsiveness Scale	299, Anak-anak	- BLL - Perilaku Agresi - Confounder	neurobehavioral masa kanak-kanak yang lebih buruk. - Terdapat indikasi bahwa timbal dan arsenic, serta interaksi keduanya, meningkatkan kemungkinan masalah neurobehavioral pada anak-anak di provinsi Taranto. - Timbal terutama memengaruhi masalah sosial, perilaku agresif, dan eksternalisasi.
----------------	--------	------	-----------------	---	----------------	--	---

Gambar 1. Kerangka Konseptual Hubungan Paparan Timbal dan Perilaku Agresif



Pembahasan

Hasil tinjauan literatur ini menunjukkan hubungan yang kuat antara pajanan timbal dengan perilaku agresif pada berbagai kelompok usia dan populasi. Secara umum, metode penelitian yang digunakan dalam artikel terpilih menggunakan desain longitudinal cohort maupun cross-sectional menemukan bahwa peningkatan kadar timbal dalam darah atau tulang berhubungan dengan peningkatan perilaku agresif. Gambar 1 menunjukkan kerangka konseptual hubungan pajanan timbal dan perilaku agresif dengan

mempertimbangkan faktor-faktor *confounding*.

1. Pajanan Timbal dan Perilaku Agresif

Penelitian menunjukkan bahwa paparan timbal kumulatif berkorelasi dengan skor agresi yang lebih tinggi. Penelitian longitudinal di Afrika Selatan menemukan bahwa peningkatan kadar timbal dalam tulang secara signifikan meningkatkan skor agresivitas terutama dalam aspek kemarahan (Tlotleng et al., 2022). Studi lain mengonfirmasi bahwa Blood Lead Level (BLL) berhubungan dengan agresi reaktif, terutama pada

anak laki-laki dibandingkan anak perempuan (Glenn et al., 2022). Selain itu, penelitian yang meneliti hubungan antara paparan timbal dengan perilaku eksternalisasi menemukan bahwa tingginya kadar timbal dalam darah berperan dalam meningkatkan perilaku agresif dan masalah sosial lainnya (Liu et al., 2022). Studi lain mengindikasikan bahwa paparan timbal dalam masa prenatal dan kanak-kanak berhubungan dengan kecenderungan perilaku agresif dan kriminal di masa dewasa (Wright et al., 2021).

2. Masa Kritis Paparan Timbal

Beberapa penelitian juga menyoroti pentingnya periode kritis dalam paparan timbal terhadap perkembangan perilaku agresif. Studi menunjukkan bahwa paparan timbal prenatal berkaitan erat dengan peningkatan agresi dan masalah perilaku di masa periadolesensi (Reyes Sánchez et al., 2022). Paparan pada masa bayi hingga kanak-kanak awal juga berkorelasi dengan peningkatan agresi (Sears et al., 2022). Penelitian lainnya mengidentifikasi jendela sensitif selama pertengahan hingga akhir masa kanak-kanak sebagai periode di mana paparan timbal memiliki dampak terbesar terhadap peningkatan agresi dan masalah atensi (Rasnick et al., 2021).

3. Mekanisme Hubungan Timbal dan Perilaku Agresif

Mekanisme biologis yang menjelaskan hubungan antara paparan timbal dan perilaku agresif melibatkan gangguan fungsi eksekutif serta disregulasi emosi. Studi menemukan bahwa paparan timbal prenatal berdampak negatif pada fungsi eksekutif anak di masa kanak-kanak, yang mengarah pada kontrol diri yang lebih buruk serta kecenderungan perilaku agresif (Fruh et al., 2019). Selain itu, penelitian menunjukkan

bahwa interaksi antara timbal dan elemen lain seperti arsenik dapat meningkatkan risiko gangguan neurobehavioral termasuk agresivitas, eksternalisasi, serta masalah sosial (Renzetti et al., 2021).

4. Faktor *Confounding*

Faktor *confounding* adalah variabel yang dapat mengganggu hubungan antara paparan timbal dan perilaku agresif. Beberapa penelitian diatas telah mengidentifikasi faktor *confounding* yang perlu dikontrol dalam analisis mereka adalah usia, jenis kelamin, dan wilayah tempat tinggal (Glenn et al., 2022)(Renzetti et al., 2021), pendidikan orang tua, pekerjaan orang tua, dan kondisi ekonomi keluarga (Reyes Sánchez et al., 2022)(Renzetti et al., 2021). Status pekerjaan ibu dan jenis rumah, dan tingkat kejahatan di lingkungan sekitar serta penyalahgunaan zat dan alkohol (Tlotleng et al., 2022). Kehadiran ruang hijau, polusi udara dari lalu lintas, dan penyimpanan timbal internal (Rasnick et al., 2021). Berat badan lahir dan skor APGAR bayi (Wright et al., 2021). Maternal IQ dan status kesehatan ibu selama kehamilan (Fruh et al., 2019). Kesulitan sosial (Liu et al., 2022).

Kesimpulan

Studi-studi yang dianalisis menunjukkan bahwa hubungan antara paparan timbal dan perilaku agresif sangat kompleks dan dipengaruhi oleh berbagai faktor *confounding*. Perbedaan metodologi, populasi, serta jenis instrumen penelitian yang digunakan turut mempengaruhi hasil yang diperoleh. Oleh karena itu, penelitian di masa depan perlu mempertimbangkan kontrol yang lebih ketat terhadap faktor-faktor *confounding* tersebut guna mendapatkan pemahaman yang lebih jelas tentang mekanisme hubungan ini.

KETERBATASAN PENELITIAN

Hanya artikel internasional yang tersedia setelah pencarian database yang dipilih yang digunakan dalam tinjauan literatur ini. Penelitian ini dilakukan di berbagai tempat dengan norma budaya, sistem kesehatan, dan akses ke sumber daya yang berbeda sehingga tidak dapat mewakili situasi secara global. Sebagian sumber tinjauan literatur ini adalah penelitian menggunakan pendekatan *cross-sectional* yang mungkin membatasi kemampuan untuk menetapkan hubungan sebab akibat. Selain itu, mungkin sulit untuk membandingkan hasil penelitian karena variasi dalam alat pengukuran yang digunakan.

KONFLIK KEPENTINGAN

Tidak ada

DAFTAR PUSTAKA

- Carreño Gutiérrez, H., O'Leary, A., Freudenberg, F., Fedele, G., Wilkinson, R., Markham, E., Van Eeden, F., Reif, A., & Norton, W. H. J. (2020). Nitric oxide interacts with monoamine oxidase to modulate aggression and anxiety-like behaviour. *European Neuropsychopharmacology*, 30, 30–43.
<https://doi.org/10.1016/j.euron euro.2017.09.004>
- Fruh, V., Rifas-Shiman, S. L., Amarasiwardena, C., Cardenas, A., Bellinger, D. C., Wise, L. A., White, R. F., Wright, R. O., Oken, E., & Henn, B. C. (2019). Prenatal Lead Exposure and Childhood Executive Function and Behavioral Difficulties in Project Viva. *Neurotoxicology*, 75, 105–115.
<https://doi.org/10.1016/j.neuro.2019.09.006>
- Glenn, A. L., Li, Y., & Liu, J. (2022). Association between lower-level of environmental lead exposure and reactive and proactive aggression in youth: Sex differences. *Journal of Environmental Science and Health. Part C, Toxicology and Carcinogenesis*, 40(3–4), 268–281.
<https://doi.org/10.1080/26896583.2022.2157183>
- Liu, J., Portnoy, J., Raine, A., Gladieux, M., McGarry, P., & Chen, A. (2022). Blood lead levels mediate the relationship between social adversity and child externalizing behavior. *Environmental Research*, 204(Pt D), 112396.
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112396>
- Martínez-Lazcano, J. C., López-Quiroz, A., Alcantar-Almaraz, R., Montes, S., Sánchez-Mendoza, A., Alcaraz-Zubeldia, M., Tristán-López, L. A., Sánchez-Hernández, B. E., Morales-Martínez, A., Ríos, C., & Pérez-Severiano, F. (2018). A Hypothesis of the Interaction of the Nitrergic and Serotonergic Systems in Aggressive Behavior Induced by Exposure to Lead. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 12, 202.
<https://doi.org/10.3389/fnbeh.2018.00202>
- Mielke, H. W., Laidlaw, M. A. S., & Gonzales, C. (2010). Lead (Pb) legacy from vehicle traffic in eight California urbanized areas: Continuing influence of lead dust on children's health. *Science of The Total Environment*, 408(19), 3965–3975.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.05.017>
- Obeng-Gyasi, E. (2019). Sources of lead exposure in various countries. *Reviews on Environmental Health*, 34(1), 25–34.

- <https://doi.org/10.1515/reveh-2018-0037>
- Rasnick, E., Ryan, P. H., Bailer, A. J., Fisher, T., Parsons, P. J., Yolton, K., Newman, N. C., Lanphear, B. P., & Brokamp, C. (2021). Identifying sensitive windows of airborne lead exposure associated with behavioral outcomes at age 12. *Environmental Epidemiology*, 5(2), e144. <https://doi.org/10.1097/EE9.000000000000144>
- Renzetti, S., Cagna, G., Calza, S., Conversano, M., Fedrigi, C., Forte, G., Giorgino, A., Guazzetti, S., Majorani, C., Oppini, M., Peli, M., Petrucci, F., Pino, A., Placidi, D., Senofonte, O., Zoni, S., Alimonti, A., & Lucchini, R. G. (2021). The effects of the exposure to neurotoxic elements on Italian schoolchildren behavior. *Scientific Reports*, 11, 9898. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88969-z>
- Reyes Sánchez, J. D., Trejo-Valdivia, B., Schnaas, L., Osorio-Valencia, E., Lamadrid-Figueroa, H., Bautista-Arredondo, L. F., Peterson, K. E., Hu, H., & Téllez-Rojo, M. M. (2022). Early life exposure to lead and its association with parent-reported aggression and conduct problems during childhood and adolescence. *NeuroToxicology*, 93, 265–271. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2022.10.008>
- Sanders, T., Liu, Y., Buchner, V., & Tchounwou, P. B. (2009). Neurotoxic Effects and Biomarkers of Lead Exposure: A Review. *Reviews on Environmental Health*, 24(1), 15–45. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2858639/>
- Sears, C. G., Lanphear, B. P., Xu, Y., Chen, A., Yolton, K., & Braun, J. M. (2022). Identifying periods of heightened susceptibility to lead exposure in relation to behavioral problems. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 32(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41370-021-00389-3>
- Tlotleng, N., Naicker, N., Mathee, A., Todd, A. C., Nkomo, P., & Norris, S. A. (2022). Association between Bone Lead Concentration and Aggression in Youth from a Sub-Cohort of the Birth to Twenty Cohort. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(4), 2200. <https://doi.org/10.3390/ijerph19042200>
- Wright, J. P., Lanphear, B. P., Dietrich, K. N., Bolger, M., Tully, L., Cecil, K. M., & Sacarellos, C. (2021). Developmental lead exposure and adult criminal behavior: A 30-year prospective birth cohort study. *Neurotoxicology and Teratology*, 85, 106960. <https://doi.org/10.1016/j.ntt.2021.106960>
- Yıldız, S., Gözü Piringçioğlu, A., & Arıca, E. (n.d.). Evaluation of Heavy Metal (Lead, Mercury, Cadmium, and Manganese) Levels in Blood, Plasma, and Urine of Adolescents With Aggressive Behavior. *Cureus*, 15(1), e33902. <https://doi.org/10.7759/cureus.33902>