

Дніпровський державний медичний університет
Кафедра фармакології, загальної та клінічної фармації

Кваліфікаційна робота
на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»
на тему: «Дослідження впливу токсичних речовин на репродуктивну
систему людини»

Виконав: студент 431 б групи
спеціальності 226 «Фармація, промислова фармація»

БІЛАЛ БЕН ШАУІА

Керівник: к.б.н., доцент В.Ю. Слесарчук

Рецензент: к.мед.н., доцент Ю.В.Козлова

Рекомендовано до захисту:
протокол засідання кафедри
№17 від 2 червня 2025 р.
Завідувач кафедри
К.ф.н., доцент Антон ЛЄВИХ

Захищено на засіданні ЕК
протокол №3 від «16» червня 2025 р.
Оцінка: задовільно / D /134
(за національною шкалою/ за шкалою
ECTS/ бал)
Голова ЕК доцент Антон ЛЄВИХ

ЗМІСТ

ВСТУП	3
1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВПЛИВУ ТОКСИЧНИХ РЕЧОВИН НА ОРГАНІЗМ ЛЮДИНИ	5
1.1. Загальна характеристика токсичних речовин.....	5
1.2. Механізми дії токсичних речовин на клітинному і системному рівнях, їх метаболізм	10
1.3. Законодавче регулювання та санітарні норми щодо речовин.....	17
2. ВПЛИВ РІЗНИХ ГРУП ТОКСИЧНИХ РЕЧОВИН НА РЕПРОДУКТИВНЕ ЗДОРОВ'Я.....	20
2.1. Важкі метали і їх репродуктивна токсичність.....	20
2.2. Пестициди і їх вплив на репродуктивну систему	27
2.3. Вплив промислових хімічних речовин на репродуктивне здоров'я	30
2.4. Лікарські препарати та наркотичні речовини як фактори ризику	36
3. ОЦІНКА І ПРОФІЛАКТИКА НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ ТОКСИЧНИХ РЕЧОВИН	42
3.1. Методи оцінки токсичності та діагностики порушень репродуктивної системи	42
3.2. Профілактичні та детоксикаційні заходи.....	46
ВИСНОВКИ.....	53
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	54

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасний світ характеризується стрімким розвитком промисловості, сільського господарства, фармацевтики та побутової хімії, що супроводжується зростанням обсягів виробництва та використання різноманітних хімічних речовин. Значна частина з них є потенційно токсичними і здатна накопичуватись у навколишньому середовищі, впливаючи на здоров'я людини. На сучасному етапі розвитку суспільства проблема збереження та підтримки репродуктивного здоров'я набуває особливої важливості у зв'язку з глобальними екологічними викликами, зростанням техногенного навантаження на навколишнє середовище та широким розповсюдженням хімічних речовин у повсякденному житті.

Негативний вплив токсичних речовин, таких як пестициди, фталати, бісфенол-А може проявлятися у вигляді гормональних дисбалансів, зниження фертильності, патологій розвитку плода, а також у підвищенні ризику безпліддя. Особливу загрозу токсичні агенти становлять для осіб репродуктивного віку, вагітних жінок та дітей, що підкреслює необхідність поглибленого аналізу механізмів їх дії та наслідків тривалого впливу на організм.

Актуальність дослідження зумовлена також недостатнім рівнем поінформованості населення щодо можливих ризиків, а також потребою у вдосконаленні системи моніторингу, регламентації та профілактики негативного впливу токсичних речовин. У цьому контексті дослідження є важливим кроком до розробки науково обґрунтованих підходів до збереження репродуктивного здоров'я, як індивідуального, так і загальнодержавного рівня.

Тож дослідження впливу токсичних речовин на репродуктивну систему людини є надзвичайно актуальним як з точки зору охорони здоров'я населення, так і для розробки ефективних заходів профілактики, мінімізації ризиків та регулювання використання потенційно небезпечних речовин у довкіллі.

Мета і завдання дослідження. Метою є проведення комплексного аналізу впливу токсичних речовин на репродуктивну систему людини.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

Завданням дослідження є:

- 1) Визначити механізми дії токсичних речовин на клітинному і системному рівнях, їх метаболізм та вплив на репродуктивну систему;
- 2) Визначити методи оцінки токсичності та діагностики порушень репродуктивної системи;
- 3) Навести профілактичні та детоксикаційні заходи.

Методи дослідження. Під час дослідження були використані наступні методи: проведено огляд сучасних вітчизняних і зарубіжних наукових публікацій, нормативних документів, даних ВООЗ, CDC, ЕСНА для вивчення механізмів дії токсичних речовин, їх класифікації та впливу на репродуктивне здоров'я. Порівняльний аналіз використано для оцінки особливостей впливу різних груп токсичних речовин на чоловічу та жіночу репродуктивну систему.

Новизна та значення одержаних результатів. Результати дослідження можуть бути використані для підвищення обізнаності населення щодо ризиків впливу токсичних речовин на репродуктивну систему, а також для розробки превентивних заходів та рекомендацій для зниження контакту людини з небезпечними речовинами.

Структура роботи. Кваліфікаційна робота обсягом 59 сторінок друкованого тексту складається із 3 розділів, список використаних джерел налічує 35 найменувань.

1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВПЛИВУ ТОКСИЧНИХ РЕЧОВИН НА ОРГАНІЗМ ЛЮДИНИ

1.1. Загальна характеристика токсичних речовин

У сучасному світі людина постійно стикається з різноманітними хімічними речовинами — у побуті, на виробництві, у продуктах харчування та навіть в повітрі, яким дихає. Серед них особливо небезпечними є токсичні речовини, що можуть мати серйозний негативний вплив на здоров'я людини, як у короткостроковій, так і в довготривалій перспективі.

Токсичні речовини, або токсини (від грец. *toxikon* — «отрута для використання на стрілах») — це хімічні сполуки або елементи, які можуть спричиняти шкідливий вплив на живі організми, включаючи людину, тварин, рослини та мікроорганізми. Вони здатні викликати гострі або хронічні отруєння, порушення функцій органів, мутації, рак, а в окремих випадках — навіть смерть.

Серед основних систем організму, які найбільше страждають від токсичних речовин, є нервова, дихальна, кровоносна, печінкова та ниркова. Наприклад, ртуть, свинець та інші важкі метали порушують роботу мозку, викликаючи розлади пам'яті, координації рухів, дратівливість. Вдихання токсичних парів, таких як чадний газ або аміак, може призвести до ураження легень, задухи або навіть смерті. Деякі речовини, як-от бензол або формальдегід, мають канцерогенну дію, тобто можуть сприяти розвитку раку. Особливе значення має доза токсичної речовини, оскільки саме вона визначає ступінь її небезпеки. Навіть речовини, які зазвичай не вважаються шкідливими, можуть бути токсичними у надмірних кількостях (наприклад, вітаміни чи вода).

Токсичні речовини впливають на організм залежно від їхньої природи, дози, способу проникнення в тіло та тривалості впливу. Найпоширенішими шляхами потрапляння токсинів є дихальні шляхи, шлунково-кишковий тракт і шкіра. Деякі отрути починають діяти миттєво, викликаючи гостре отруєння, інші ж накопичуються з часом, спричиняючи хронічні захворювання. Їхній вплив

залежить також від тривалості та частоти контакту, фізіологічного стану організму та його здатності до детоксикації.

Усі токсичні речовини класифікуються за кількома ознаками (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

Класифікація токсичних речовин

Класифікаційна ознака	Клас токсичних речовин	Приклади токсичних речовин
За методом ізолювання із біоматеріалу	Леткі речовини (метод ізолювання: перегонка з парою)	Етиловий спирт, метанол, ацетон, ефіри, бензин
	Леткі отруйні гази (відгін з водяною парою або під вакуумом)	Ціаністий водень, сірководень, аміак, чадний газ (у вигляді карбоксигемоглобіну)
	Речовини, що екстрагуються за допомогою кислотної екстракції	Алкалоїди (морфін, стрихнін, атропін)
	Речовини, що екстрагуються за допомогою лужної екстракції	Барбітурати, саліцилати, феноли
	Речовини, що екстрагуються мокрою або сухою мінералізацією	Важкі метали (свинець, ртуть, миш'як, кадмій)
	сорбція на колонках з активованим вугіллям, іонообмінних смолах	отрути природного походження
	Речовини, що виявляються біохімічними або імунологічними методами (ІФА, хроматографія, мас-спектрометрія)	наркотичні засоби, токсини, пестициди
За джерелом походження	Природні	Мікотоксини, рицин, ботулотоксин
	Синтетичні	Пестициди, фенол, діоксини
За ступенем токсичності	Надзвичайно токсичні	Діоксин, ботулотоксин
	Високотоксичні	Ціаністий калій, рицин
	Помірнотоксичні	Етиленгліколь, формальдегід
	Малотоксичні	Ацетон, етиловий спирт
За характером дії на організм	Нейротоксичні	Свинець, ртуть, хлороформ
	Гепатотоксичні	Тетрахлорметан, хлороформ
	Кардіотоксичні	Кобальт, фтор
	Гематотоксичні	Анілін, толуїдин
	Канцерогенні	Бензол, азбест, вінілхлорид
	Мутагенні	Формальдегід, бензопірен
	Репротоксичні	Свинець, ртуть, толуол
За шляхом проникнення в організм	Інгаляційні	Аміак, хлор, сірководень
	Пероральні	Арсен, метанол, етиленгліколь
	Через шкіру	Нікотин, органофосфатні пестициди

Як наведено у табл. 1.1, першою класифікаційною ознакою токсичних речовин являється їх джерело походження. Вони можуть бути природного походження (наприклад, отрути рослин або тварин), або ж штучно створені людиною, як-от пестициди, фармацевтичні препарати, промислові хімікати. Друга класифікація — за способом дії: деякі речовини уражають нервову систему (нейротоксини), інші — дихальну (газоподібні отрути), кров (гемотоксини), або діють на клітинному рівні. Не менш небезпечні є пестициди, які використовуються в сільському господарстві. При потраплянні в організм з їжею вони можуть спричинити алергії, гормональні порушення, а в дітей — затримку розвитку. Особливо вразливими до дії токсинів є вагітні жінки, діти та люди з ослабленим імунітетом.

Сучасний світ стикається з постійною загрозою впливу токсичних речовин, особливо внаслідок розвитку промисловості, аграрної хімії, медицини та транспорту. Тому надзвичайно важливими є профілактика отруєнь, контроль за використанням токсикантів, дотримання техніки безпеки та екологічне законодавство. Уникнути впливу всіх токсичних речовин повністю неможливо, але можна зменшити ризики. Для цього важливо дотримуватися правил гігієни, уважно читати етикетки на продуктах і засобах побутової хімії, користуватися засобами індивідуального захисту на виробництві та підтримувати екологічно безпечний спосіб життя.

У сучасному світі вплив токсичних речовин на здоров'я людини, зокрема на репродуктивну систему, викликає значне занепокоєння серед науковців. Через широке поширення синтетичних хімікатів у промисловості, побуті та сільському господарстві, численні дослідження доводять зв'язок між цими речовинами та порушеннями репродуктивної функції як у чоловіків, так і у жінок.

Одним із найвідоміших класів речовин, які порушують роботу гормональної системи, є ендокринні дизруптори. Відомим прикладом є бісфенол А (BPA), який використовується у виробництві пластикових упаковок. У дослідженні «Human exposure to bisphenol A (BPA)», автор — Frederick S. vom

Saal та John Peterson Myers, описано вплив ВРА на зниження якості сперми, порушення овуляції та зміни рівня естрогену [1].

У статті «Pesticide exposure and reproductive health in young men» (Cécile Chevrier, Rémy Slama та ін.), опублікованій у Occupational and Environmental Medicine, проаналізовано вплив органофосфатних пестицидів на рівень тестостерону та морфологію сперматозоїдів у чоловіків, які проживають у сільськогосподарських районах Франції [2].

Ще одне вагоме дослідження, «Endocrine-Disrupting Chemicals: An Endocrine Society Scientific Statement» (автори Andrea C. Gore, Theo Colborn та ін.), узагальнює численні докази токсичного впливу промислових хімікатів на гормональний фон та репродуктивні функції, в тому числі у поколінь, що народжуються після впливу (табл. 1.2) [3].

Таблиця 1.2

Огляд наукової літератури, присвяченої дослідженню впливу токсичних речовин на репродуктивне здоров'я людини

П.І.Б. авторів	Предмет дослідження	Назва наукової літератури
Frederick S. vom Saal та John Peterson Myers	Вплив ВРА на репродуктивну систему людини	«Human exposure to bisphenol A (BPA)»
Cécile Chevrier, Rémy Slama	Вплив органофосфатних пестицидів на репродуктивну систему чоловіків	«Pesticide exposure and reproductive health in young men»
Andrea C. Gore, Theo Colborn	Вплив промислових хімікатів на гормональний фон та репродуктивні функції	«Endocrine-Disrupting Chemicals: An Endocrine Society Scientific Statement»
Т. А. Головкова та В. І. Главацька	Вплив кадмію на репродуктивне здоров'я жінок	«Сучасні аспекти проблеми впливу важких металів довкілля на репродуктивне здоров'я жінок»
О.Г. Резніков, О.В. Сачинська, О.А. Фалюш	Вплив фталатів на репродуктивне здоров'я	«Ендокринні дизраптори — пренатальні чинники розладів репродуктивного здоров'я»
І. В. Завгородній, Р. О. Бачинський	Вплив хімічних та фізичних чинників на репродуктивну систему	«Сполучена дія хімічних та фізичних чинників на репродуктивну систему щурів в умовах холодового стресу»
О. В. Шелігацька, В. В. Кравчук	Вплив фосфорорганічних сполук на організм людини	«Вплив токсичних фосфорорганічних сполук на організм людини»
О. С. Лучко та О. В. Должикова	Вплив алкоголю на репродуктивну систему людини	«Вплив алкоголю на репродуктивну систему людини»

Як наведено у табл. 1.2, в Україні існує багато науковців, які також активно займаються вивченням токсичних речовин та їх впливу на репродуктивну систему людини. У статті «Сучасні аспекти проблеми впливу важких металів довкілля на репродуктивне здоров'я жінок», наведеної у табл. 1.2, автори Т. А. Головова та В.І. Главацька досліджують вплив кадмію на вагітних жінок у промислових регіонах. Встановлено, що підвищений рівень кадмію в організмі корелює з частотою прееклампсії у вагітних [4].

У статті «Ендокринні дизраптори — пренатальні чинники розладів репродуктивного здоров'я» авторів О. Г. Резнікова, О. В. Сачинської, О. А. Фалюша розглядається вплив фталатів на розвиток репродуктивної системи. Дослідження показують, що пренатальна експозиція фталатами може призвести до порушень у розвитку статевих органів у новонароджених [5].

У дослідженні «Сполучена дія хімічних та фізичних чинників на репродуктивну систему щурів в умовах холодового стресу» автори І.В. Завгородній, Р.О.Бачинський та інші вивчали вплив нітробензолу, метилтретбутилового ефіру та електромагнітного випромінювання на репродуктивну систему щурів. Результати показали, що комбінована дія цих чинників посилює гонадотоксичний ефект [6].

У тезах «Вплив токсичних фосфорорганічних сполук на організм людини» автори О. В. Шелігацька, В. В. Кравчук та інші розглядають токсичність фосфорорганічних сполук, які можуть впливати на репродуктивну систему [7]. А у тезах «Вплив алкоголю на репродуктивну систему людини» автори А. В. Радченко, О. С. Лучко та О. В. Должикова досліджують, як алкоголь впливає на репродуктивне здоров'я, зокрема на гормональний баланс та функціонування статевих органів.

Ці наукові статті надають глибоке розуміння того, як різні токсичні речовини можуть впливати на репродуктивну систему людини. Вони підкреслюють важливість подальших досліджень у цій галузі та необхідність розробки заходів для зменшення впливу шкідливих чинників на здоров'я населення.

Завдяки цим та багатьом іншим науковим публікаціям ми розуміємо, наскільки вразливою є репродуктивна система до хімічного впливу. Ці статті не тільки розкривають механізми дії токсикантів, але й акцентують увагу на необхідності посилення екологічного контролю та обмеження використання небезпечних речовин у повсякденному житті [8].

Таким чином, токсичні речовини становлять серйозну загрозу для здоров'я людини. Усвідомлення цього факту, поєднане з відповідальним ставленням до навколишнього середовища та власного способу життя, є першим кроком до збереження здоров'я й життя. Токсичні речовини — це не лише загроза, а й виклик для науки, медицини й суспільства загалом. Лише за умов грамотного підходу, обізнаності та відповідального поводження можна мінімізувати їхній негативний вплив на здоров'я людини та довкілля.

1.2. Механізми дії токсичних речовин на клітинному і системному рівнях, їх метаболізм

Організм людини постійно взаємодіє з зовнішнім середовищем, яке містить велику кількість потенційно шкідливих речовин — токсичних речовин (токсикантів або просто токсичних речовин). Системна дія токсикантів часто є результатом комбінації кількох механізмів — порушення енергетичного обміну, оксидативного стресу, запалення, ураження ДНК. Важливою особливістю є те, що навіть невелика доза токсиканту може викликати сильну відповідь, якщо він накопичується або має тривалий період дії.

У кожній клітині живого організму відбуваються складні біохімічні процеси, що забезпечують її життєздатність, ріст і взаємодію з навколишнім середовищем. Та коли в організм потрапляють отруйні речовини природного або штучного походження, ці процеси зазнають значних порушень. Саме на клітинному рівні токсичні речовини проявляють свою найбільш руйнівну дію, часто викликаючи незворотні зміни (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Механізм дії токсичних речовин на клітинному рівні

Як наведено на рис. 1.1, один із ключових механізмів дії токсичних речовин — пошкодження клітинних мембран. Мембрана виконує функцію бар'єра, регулюючи надходження речовин у клітину та виведення продуктів обміну. Деякі токсини, наприклад, бактеріальні екзотоксини, формують пори в мембранах, порушуючи іонний баланс. Це призводить до набряку клітини, втрати її структури й, зрештою, загибелі. Варто також згадати про вплив на генетичний апарат клітини. Деякі токсиканти викликають мутації або перешкоджають процесу транскрипції й трансляції — ключовим етапам синтезу білків.

Особливе місце серед механізмів дії займає індукція оксидативного стресу. Це процес, під час якого в клітині накопичуються вільні радикали — високореактивні молекули, які пошкоджують ліпіди, білки й ДНК. Тривалий оксидативний стрес здатен спричинити запалення, мутації або навіть злоякісну трансформацію клітин. На клітинному рівні токсиканти можуть також запускати апоптоз — запрограмовану смерть клітини. Це складний механізм самознищення, що активується у відповідь на значне ушкодження. Хоча апоптоз — природний процес, його надмірна або передчасна активація під дією токсичних агентів призводить до втрати клітин у важливих тканинах, таких як нервова чи серцева.

Для знешкодження та виведення токсичних сполук в організмі існує складна система захисту — метаболізм, або ж детоксикація. Найважливіші етапи цього процесу відбуваються саме на клітинному рівні. Клітини, особливо печінкові (гепатоцити), відіграють центральну роль у перетворенні токсичних речовин на менш небезпечні форми. Метаболізм зазвичай поділяється на дві фази:

- Фаза I — це біохімічне перетворення токсинів за допомогою реакцій окиснення, відновлення або гідролізу. Найважливішим ферментним комплексом цієї фази є цитохром P450, який здатен змінювати структуру багатьох ксенобіотиків (речовин, чужорідних для організму). Мета цієї фази — зробити молекулу більш реактивною та готувати її до наступного етапу. Проте, іноді продукти фази I можуть бути навіть токсичнішими за вихідні речовини;

- Фаза II — це фаза кон'югації, коли активовані токсини зв'язуються з іншими молекулами (наприклад, глюкуроною кислотою, сульфатами, глутатіоном) і перетворюються на водорозчинні форми, які легко виводяться з клітини і з організму загалом. Ці реакції часто вимагають енергії, але значно знижують токсичність речовин.

Особливу роль у клітинному метаболізмі відіграє антиоксидантний захист, адже під час перетворення токсинів утворюються вільні радикали. Глутатіон, каталаза, супероксиддисмутаза — це ферменти та молекули, які захищають клітину від ушкодження. Ці процеси не відбуваються ізольовано — клітини тісно взаємодіють із органами виведення, як-от нирками, легеньми, кишківником. Але саме клітинний рівень є першим бар'єром, де токсична речовина або нейтралізується, або запускає каскад ушкоджень. Цікаво, що в різних людей активність ферментів метаболізму може суттєво відрізнятись. Генетичні особливості, харчування, прийом ліків або алкоголь можуть впливати на ефективність детоксикації, що пояснює, чому однакова доза токсину для когось буде смертельною, а для іншого — відносно безпечною.

Хоча дія токсичних агентів починається на клітинному рівні, справжня загроза виникає тоді, коли токсичні впливи поширюються на цілі органи та

фізіологічні системи організму. Репродуктивна система людини є надзвичайно чутливою до впливу зовнішніх токсичних чинників, що здатні порушити її функціонування навіть у відносно низьких концентраціях. Ця вразливість обумовлена складною гормональною регуляцією, делікатним балансом між ендокринними структурами та високою активністю клітин, які відповідають за гаметогенез, гормональний контроль і внутрішньоутробний розвиток плода.

Токсичні речовини можуть проникати в організм різними шляхами — інгаляційно, через шкіру, перорально — і, залежно від їхніх фізико-хімічних властивостей, накопичуватись у тканинах репродуктивної системи, спричиняючи серйозні порушення. Після всмоктування токсичні речовини розносяться кров'ю і починають впливати на різні системи організму. Деякі токсини спричиняють імунодепресію, роблячи організм вразливим до інфекцій. Інші, навпаки, стимулюють надмірну імунну відповідь, що може призводити до алергічних реакцій або навіть аутоімунних процесів. А так звані ендокринні деструктори (наприклад, деякі фталати чи пестициди) імітують або блокують дію гормонів, що може призводити до серйозних репродуктивних порушень.

Варто зазначити, що репродуктивна токсичність не завжди проявляється негайно. Часто наслідки дії токсичних речовин виявляються лише через кілька місяців або навіть років, наприклад, у вигляді безпліддя, зниження лібідо, порушення менструального циклу або народження дітей із вадами розвитку. Особливу небезпеку становить вплив токсикантів під час критичних періодів — ембріонального та фетального розвитку, статевого дозрівання, вагітності. У ці періоди будь-яке порушення гормонального балансу або структури клітин може мати незворотні наслідки для репродуктивної функції на все життя.

Одним з основних механізмів дії токсикантів на репродуктивну систему є порушення ендокринної регуляції. Багато з них є так званими ендокринними дизрупторами — речовинами, що імітують або блокують дію природних гормонів. Наприклад, деякі фталати, які використовуються у виробництві пластику, можуть знижувати рівень тестостерону, що призводить до зменшення кількості сперматозоїдів і порушення сперматогенезу. У жінок естрогеноподібні

токсиканти здатні викликати ановуляторні цикли або патологічні зміни в ендометрії, що знижує здатність до зачаття та виношування плода. Ці речовини діють, змінюючи експресію гормонально-чутливих генів, блокуючи рецептори або змінюючи ферментативну активність, яка регулює синтез статевих гормонів.

Іншим важливим аспектом токсичної дії є пряме ураження гаметогенних клітин. Наприклад, важкі метали, такі як кадмій або ртуть, мають високу афінність до сульфгідрильних груп білків, що призводить до порушення функцій ферментів, структурних білків і ДНК. Внаслідок цього порушується мейотичний поділ, з'являються генетичні мутації або навіть апоптоз клітин. Водночас деякі токсиканти можуть спричинювати оксидативний стрес — утворення надлишку вільних радикалів, що пошкоджують клітинні мембрани, мітохондрії та генетичний матеріал. Це призводить до зниження фертильності як у чоловіків, так і у жінок, а також до підвищення ризику викиднів і вроджених вад розвитку у плода.

Механізм дії та метаболізм токсичних речовин на системному рівні описано у табл. 1.3.

Таблиця 1.3

Механізм дії та метаболізм токсичних речовин на системному рівні

Токсичні речовини	Механізм дії на системному рівні	Метаболізм на системному рівні
Ртуть	Порушує гормональний баланс, особливо щитоподібної залози, що опосередковано впливає на репродуктивну функцію; викликає оксидативний стрес у яєчках та яєчниках, що призводить до порушення гаметогенезу.	Метаболізується в печінці з утворенням метилртуті — особливо токсичної форми, що легко проникає через плаценту та гематоенцефалічний бар'єр. Повільно виводиться нирками.
Свинець	Знижує рівень тестостерону, порушує сперматогенез, може викликати аменорею у жінок; порушує фолікулогенез і розвиток ембріона.	Біотрансформація незначна; накопичується в кістках, звідки повільно вивільняється. Виводиться переважно через нирки і жовч.
Кадмій	Пошкоджує гонадні тканини, викликає апоптоз клітин; гальмує синтез стероїдних гормонів, інгібує активність ферментів, важливих для фертильності.	Метаболізується в печінці з утворенням комплексів з металотіонеїнами, які транспортуються до нирок. Має тривалий період напіввиведення.

Продовження табл. 1.3

Пестициди	Естрогеноподібна дія — порушення овуляції та сперматогенезу; змінюють функцію гіпоталамо-гіпофізарно-гонадної осі, спричиняють викидні, передчасні пологи.	Метаболізуються в печінці за участю ферментів цитохрому P450; продукти метаболізму можуть бути токсичнішими за вихідну речовину. Виводяться з сечею і жовчю.
Фталати	Знижують продукцію тестостерону, призводять до тестикулярної дисгенезії, гіпоспадії, крипторхізму у плодів чоловічої статі.	Швидко гідролізуються до моноестерів і далі метаболізуються в печінці; виводяться переважно із сечею.
Бісфенол А	Імітує дію естрогену, зв'язується з естрогеновими рецепторами, порушує менструальний цикл, знижує якість сперми та імплантаційну здатність ендометрію.	Глюкуронізується в печінці (утворення водорозчинних кон'югатів), виводиться з сечею. Метаболіти можуть бути активними.
Діоксини	Знижують рівень статевих гормонів, пригнічують овуляцію, викликають ендометріоз, порушення ембріонального розвитку. Діють через активацію Ah-рецепторів.	Дуже повільно метаболізуються. Ліпофільні, накопичуються в жировій тканині. Виводяться через печінку з жовчю. Біодеградація — мінімальна.

Як показано у табл. 1.3, печінка та нирки є головними фільтрами організму, тому саме вони часто першими страждають від токсичних впливів. Печінка, як головний орган детоксикації, перетворює багато токсикантів у більш водорозчинні форми, придатні для виведення з організму. Проте в деяких випадках продукти метаболізму можуть бути ще більш токсичними, ніж вихідна речовина. Наприклад, біотрансформація бензолу може призводити до утворення реактивних метаболітів, які зв'язуються з ДНК клітин яєчників або насінників, спричиняючи мутації. Активовані метаболіти здатні також впливати на плаценту, порушуючи транспортування поживних речовин до плода, що загрожує внутрішньоутробною затримкою росту або передчасними пологам.

Саме у печінці більшість токсичних речовин проходить через дві фази біотрансформації. У першій фазі токсини окислюються, відновлюються або гідролізуються, переважно за участю ферментів родини цитохрому P450. У другій фазі відбувається кон'югація — приєднання токсинів до водорозчинних молекул, що полегшує їх виведення з організму. Цей процес знижує токсичність речовини, проте в деяких випадках проміжні продукти першої фази можуть бути навіть більш небезпечними.

Нирки виконують роль природного фільтра, виводячи продукти метаболізму токсинів із сечею. Для цього речовини повинні бути розчинними у воді — саме тому друга фаза печінкового метаболізму є такою важливою. Нирки особливо вразливі до токсичного навантаження, оскільки через них проходить велика кількість крові, а отже й метаболітів токсинів. Легені беруть участь у виведенні летких токсичних сполук, таких як спирти, ефіри, анестетики або чадний газ. Шкіра виконує бар'єрну функцію, але також може виділяти деякі токсини через піт. Шлунково-кишковий тракт має здатність до виведення речовин із жовчю, а також через слизову оболонку.

У метаболізмі токсикантів важливо не лише те, які органи залучені, але й те, як вони взаємодіють між собою. Наприклад, печінка може детоксикувати речовину, але її метаболіти можуть мати нефротоксичну дію — тобто шкодити ниркам. Така взаємозалежність підкреслює складність системного рівня метаболізму. Крім того, на ефективність детоксикації впливають гормональні сигнали, імунна відповідь, генетичні особливості, вік та стан здоров'я. Наприклад, при захворюваннях печінки або нирок процеси знешкодження токсинів значно сповільнюються, що призводить до підвищеної токсичності [9].

Таким чином, механізми дії токсичних речовин на клітинному рівні є різноманітними, але всі вони мають спільну мету — порушити нормальну життєдіяльність клітини. Наслідки дії токсинів на системному рівні залежать від природи речовини, дози, способу потрапляння в організм та індивідуальної чутливості. Метаболізм токсинів на системному рівні — це динамічна взаємодія між клітинами, органами та системами, яка забезпечує виживання організму в умовах хімічного стресу. Цей складний захисний механізм дає змогу знешкодити шкідливі речовини та мінімізувати їхній вплив. Саме тому важливо зменшувати токсичне навантаження, контролювати вплив шкідливих речовин і підтримувати здоров'я ключових органів детоксикації. Розуміння механізмів дії токсинів на клітинному та системному рівнях допомагає запобігати отруєнням, розробляти дієві антидоти і зменшувати ризики для життя.

1.3. Законодавче регулювання та санітарні норми щодо речовин

У сучасному світі питання безпеки хімічних речовин є надзвичайно актуальним. Токсичні речовини широко застосовуються в промисловості, сільському господарстві, медицині та побуті. Проте їх використання пов'язане з серйозними ризиками для здоров'я людини та довкілля. Саме тому важливим завданням держави є створення та впровадження ефективного законодавчого регулювання та санітарного контролю за обігом токсичних речовин.

У ХХІ столітті питання хімічної безпеки набуло глобального масштабу. Токсичні речовини, що використовуються в промисловості, сільському господарстві та побуті, можуть становити серйозну загрозу для здоров'я людей і довкілля. Саме тому країни світу розробляють системи законодавчого регулювання та санітарних норм для контролю за обігом і впливом цих речовин.

Однією з найважливіших міжнародних ініціатив у цій сфері є Конвенція Роттердама (1998 р.) [10], яка передбачає інформування країн-імпортерів про небезпечні хімікати, та Стокгольмська конвенція (2001 р.) щодо стійких органічних забруднювачів (ПОП) [11]. Ці документи зобов'язують держави контролювати виробництво, імпорт, експорт і використання особливо небезпечних речовин.

На глобальному рівні важливу роль відіграє Глобально Гармонізована Система класифікації та маркування хімікатів, яку рекомендує ООН. Вона створена для уніфікації попереджувальних знаків, символів та інструкцій безпеки, що дозволяє забезпечити зрозуміле попередження про небезпеку незалежно від країни. У країнах, що розвиваються, рівень контролю за токсичними речовинами часто недостатній. Це спричиняє порушення прав людини на безпечне довкілля та здоров'я. Також є загроза нелегального обігу заборонених речовин, відсутності належного моніторингу і слабкої відповідальності за порушення [12].

У країнах Європейського Союзу діє один із найпрогресивніших підходів до регулювання — Регламент REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and

Restriction of Chemicals). Він передбачає, що виробники та імпортери зобов'язані надавати повну інформацію про властивості хімічних речовин, які вони виробляють або ввозять. Крім того, забороняється використання речовин, якщо їх безпечність не доведена [13].

У США контроль за токсичними речовинами здійснюється Агентством з охорони довкілля (EPA). Основним законом є Toxic Substances Control Act, який передбачає реєстрацію нових хімічних речовин, а також оцінку ризиків для здоров'я людей і природи. Окрему увагу в США приділяють захисту робітників через стандарти Occupational Safety and Health Administration, які встановлюють граничнодопустимі концентрації речовин у повітрі робочої зони. У Японії, Канаді, Австралії та інших розвинених країнах також діють власні національні системи хімічної безпеки, які часто орієнтуються на міжнародні стандарти.

В Україні існує система нормативно-правових актів, що регламентують поводження з токсичними речовинами. Основу становлять закони «Про охорону навколишнього природного середовища», «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення», «Про відходи», «Про хімічну безпеку», а також Кодекс цивільного захисту України. Ці документи встановлюють правила зберігання, транспортування, використання та утилізації небезпечних речовин.

Одним із ключових інструментів контролю також є санітарні норми — документи, які визначають допустимі рівні вмісту хімічних речовин у повітрі, воді, ґрунті, продуктах харчування, а також на робочих місцях. Зокрема, Гігієнічні нормативи хімічних речовин у повітрі робочої зони (ГН 3.3.5-81-2001) і Державні санітарні правила і норми (ДСанПіН) визначають межі допустимого впливу токсичних речовин на організм.

Україна також поступово гармонізує своє законодавство з європейськими стандартами, зокрема — з Регламентом REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) ЄС, що передбачає реєстрацію та оцінку хімічних речовин, які імпортуються або виробляються в обсягах понад одну тонну на рік. Проте, незважаючи на наявність законів і норм, залишається багато викликів. Наприклад, недостатній контроль у медичних закладах, нестача

сучасного обладнання для моніторингу, а також низький рівень обізнаності населення та працівників щодо правил безпеки. Певну роль відіграє і недосконала система покарань за порушення вимог хімічної безпеки.

На мою думку, для покращення ситуації потрібна не лише вдосконалення системи контролю, але й впровадження просвітницької кампанія, адже громадяни мають розуміти, як токсичні речовини впливають на здоров'я. Також важливим є вдосконалення лабораторій, що здійснюють моніторинг середовища, та впровадження сучасних технологій утилізації небезпечних відходів [14].

Таким чином, законодавче регулювання токсичних речовин в усьому світі — це не лише юридична вимога, а життєва необхідність. Воно має захищати здоров'я людей, забезпечувати екологічну рівновагу і стимулювати відповідальне ставлення до хімічної безпеки з боку держави, бізнесу та кожного громадянина. Ефективне законодавче регулювання токсичних речовин — це питання не лише внутрішньої політики, а й міжнародної відповідальності. У світі, де кордони для товарів і технологій стають все менш помітними, лише узгоджені дії урядів, науковців і громадськості можуть забезпечити глобальну хімічну безпеку.

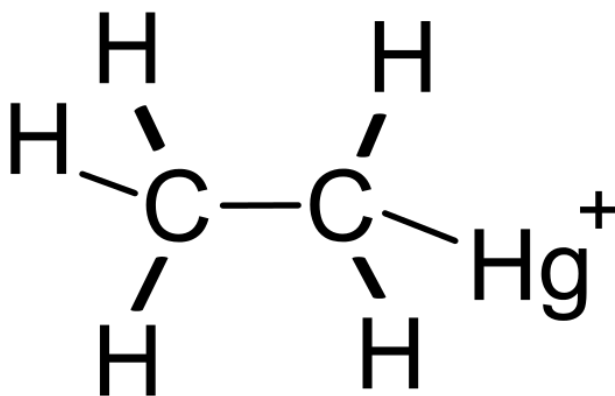
2. ВПЛИВ РІЗНИХ ГРУП ТОКСИЧНИХ РЕЧОВИН НА РЕПРОДУКТИВНЕ ЗДОРОВ'Я

2.1. Важкі метали і їх репродуктивна токсичність

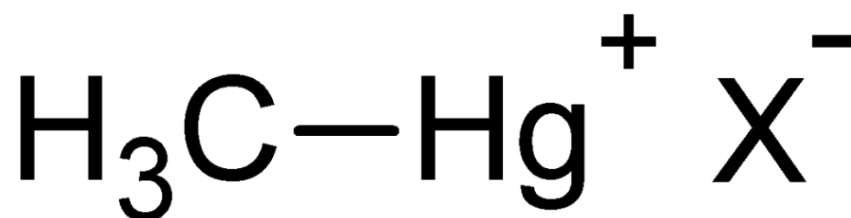
У сучасному світі важкі метали, зокрема ртуть, свинець і кадмій, є одними з найбільш поширених та небезпечних забруднювачів довкілля. Їхня здатність накопичуватись у тканинах, порушувати функції органів і систем організму, зумовлює значну загрозу для здоров'я людини. Особливо тривожним є їхній вплив на репродуктивну систему, оскільки це не лише порушує здатність до зачаття, а й становить небезпеку для розвитку майбутнього покоління.

У сучасному світі забруднення довкілля важкими металами стало серйозною загрозою для здоров'я людини. Одним із найбільш токсичних та небезпечних металів є ртуть, яка потрапляє в організм із забрудненим повітрям, водою, їжею, а також унаслідок професійного контакту. Особливо тривожним є її вплив на репродуктивну систему — як у чоловіків, так і у жінок. Репродуктивна токсичність ртуті проявляється в порушенні фертильності, гормонального балансу, розвитку плода та здоров'я майбутнього покоління.

Ртуть (Hg) — проста речовина, утворена елементом Меркурієм (Hydrargyrum, син. Mercurium) існує в різних хімічних формах: елементарна (металева), неорганічна та органічна (метилртуть) (рис. 2.1).



a)



б)

Рис. 2.1. Хімічна формула етилртуті (а) та метилртуті (б)

Найнебезпечнішою вважається метилртуть (CH_3Hg^+), оскільки вона легко проникає крізь біологічні бар'єри — у тому числі через гематоенцефалічний бар'єр та плаценту. Це дозволяє їй безперешкодно досягати статевих органів та тканин плоду, спричиняючи глибокі порушення.

Ртуть порушує баланс статевих гормонів, викликає оксидативний стрес, ушкодження ДНК і клітинні мутації, що критично впливає на процеси гаметогенезу (утворення сперматозоїдів і яйцеклітин) та на здатність до запліднення.

У чоловіків ртуть здатна знижувати рівень тестостерону, впливати на структуру яєчок та викликати дегенерацію клітин, відповідальних за сперматогенез. Під її дією зменшується кількість, рухливість та життєздатність сперматозоїдів. Також спостерігається збільшення аномалій морфології сперматозоїдів, що знижує ймовірність запліднення та підвищує ризик передачі генетичних дефектів.

У жінок ртуть може порушувати менструальний цикл, блокувати овуляцію, впливати на функції яєчників і ендометрію. Ртуть також здатна викликати неплідність, передчасні пологи, викидні, а також патології розвитку ембріона і плода. Важливо зазначити, що метилртуть вільно проходить через плаценту і накопичується в тканинах плоду, зокрема в мозку, викликаючи нейроповедінкові розлади, затримку розвитку та мікроцефалію.

Репродуктивна токсичність ртуті є не лише індивідуальною проблемою. Її вплив може відобразитися на епігенетичному рівні, змінюючи активність генів у нащадків. Це означає, що навіть при відсутності безпосереднього контакту з

ртуттю у дитини можуть виникнути наслідки, спричинені впливом ртуті на батьківський організм [15].

Одним із найбільш небезпечних забруднювачів навколишнього середовища є свинець, плумбум (Pb, лат. plumbum) — важкий метал, який упродовж десятиліть активно використовувався в промисловості, будівництві, автомобільній індустрії та інших сферах. Незважаючи на заходи щодо його обмеження, свинець все ще продовжує проникати в навколишнє середовище, завдаючи серйозної шкоди здоров'ю людини, зокрема її репродуктивній системі. Репродуктивна токсичність свинцю стала важливою проблемою для суспільства, оскільки цей метал здатний негативно впливати як на чоловіків, так і на жінок, порушуючи здатність до зачаття та нормальний розвиток плоду.

Свинець оцтовокислий (ацетат свинцю, свинцевий цукор) – тверда хімічна речовина, свинцева сіль етанової кислоти, яка утворює кристалогідрати (рис. 2.2).

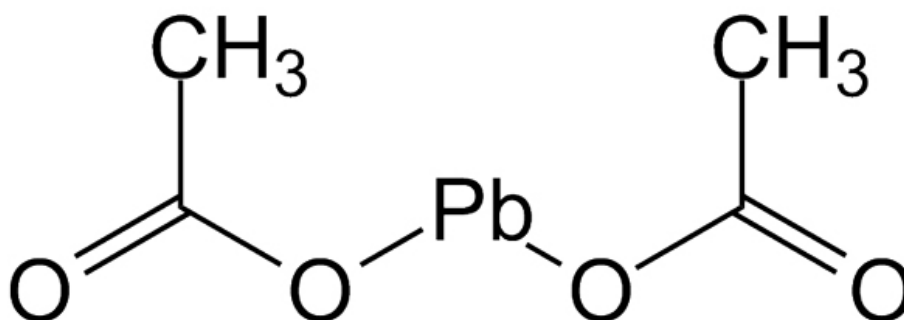


Рис. 2.2. Хімічна формула ацетату свинцю

На сьогоднішній день оцтовокислий свинець знайшов своє застосування в медицині, аналітичній хімії, у виробництві різноманітних прикрас, для отримання інших свинцевих сполук, в якості наповнювача шовку. У медицині водний розчин свинцю оцтовокислого використовується як зовнішній в'яжучий і протизапальний засіб у вигляді водних розчинів (0,25 - 0,5 %), застосовується при запальних захворюваннях слизових оболонок і шкіри, а також ударах і синцях.

Ця речовина вкрай отруйна, тому застосовуючи її і маючи з нею справу в робочих цілях необхідно бути дуже обережними. Концентрація не повинна перевищувати 0,01 мг/м³. Першими ознаками отруєння можуть виступати

металевий присмак у ротовій порожнині і посіріння ясен, біль у животі та головний, втрата сил і апетиту, а також нудота, блювота і діарея, агресія та апатія. При хронічному перебігу інтоксикації можливі координаційні та менструальні порушення, болі в руках, ногах і суглобах, втрата або підвищення чутливості, параліч м'язів, олігурія, колапс, викидні та кома.

Свинець накопичується в організмі, головним чином у кістках, де може зберігатися десятки років. Він проникає через органи дихання, травний тракт та шкіру, порушуючи нормальне функціонування багатьох органів і систем, зокрема репродуктивної системи. Свинець спричиняє різноманітні патології через свій токсичний вплив на гормональний баланс, клітинне дихання, нервову та імунну системи.

У чоловіків свинець здатний порушувати сперматогенез — процес утворення сперматозоїдів. Він знижує якість сперми, зменшуючи кількість сперматозоїдів, їхню рухливість і збільшуючи кількість аномальних сперматозоїдів. Це призводить до безпліддя, а також до ризику генетичних аномалій у нащадків. Крім того, свинець знижує рівень тестостерону, порушуючи функцію яєчок, і може призводити до розвитку еректильних дисфункцій. Всі ці фактори значно знижують здатність до зачаття.

У жінок свинець може мати кілька механізмів впливу на репродуктивну систему. Він порушує функцію яєчників, зменшує рівень естрогенів, що може призвести до порушень менструального циклу, безпліддя та затримки менархе (першої менструації). Свинець також здатний змінювати структуру ендометрію, що негативно позначається на здатності до імплантації заплідненої яйцеклітини.

У вагітних жінок свинець може призводити до серйозних ускладнень, таких як викидні, передчасні пологи і загибель плода. Його токсична дія може призвести до затримки росту плода, розвитку мікроцефалії (малий розмір голови) і порушень нервово-психічного розвитку. Крім того, свинець накопичується в тканинах плода, що збільшує ризик виникнення нейроповедінкових розладів, таких як порушення уваги та гіперактивність.

Окремої уваги заслуговує вплив свинцю на епігенетичні механізми — зміну активності генів без змін у самій ДНК. Це може призвести до генетичних мутацій, які передаються нащадкам. Відомо, що свинець здатний змінювати метиляцію ДНК, що впливає на нормальний розвиток плоду, порушує механізми клітинної диференціації та сприяє розвитку захворювань, таких як рак або порушення розвитку органів [16].

Кадмій (Cd) — це важкий метал, який є потужним екологічним забруднювачем і чинником, що має шкідливий вплив на здоров'я людини. Він широко поширений в навколишньому середовищі через промислову діяльність, такі як виробництво металів, добрив, а також через забруднення води і ґрунтів. Одним із найбільш небезпечних аспектів кадмію є його здатність викликати репродуктивну токсичність, що ставить під загрозу здоров'я як дорослих, так і майбутніх поколінь.

Кадмій являється високотоксичною речовиною, що накопичується в організмі, головним чином у печінці, нирках і кістках, і має здатність проникати в клітини, порушуючи їх нормальне функціонування. Він взаємодіє з різними біологічними молекулами, викликаючи окислювальний стрес, пошкодження ДНК і викликаючи мутації в генах, що впливає на репродуктивну функцію. Крім того, кадмій може порушувати гормональний баланс, що важливо для підтримання нормального функціонування репродуктивної системи.

Нітрат кадмію (англ. Cadmium nitrate) - хімічна речовина з формулою $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$. Являє собою білу кристалічну тверду речовину, що має гігроскопічні властивості (рис. 2.3). Є канцерогеном.

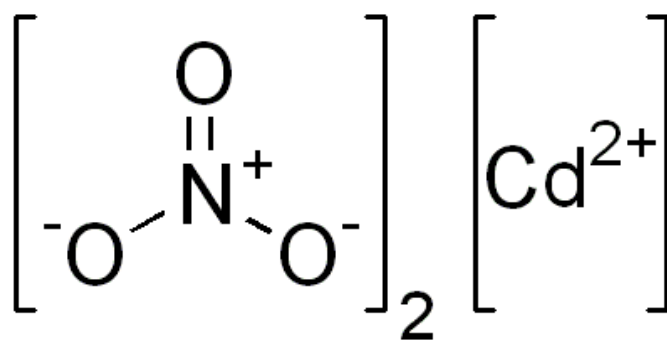


Рис. 2.3. Хімічна формула нітрату кадмію

У чоловіків кадмій впливає на яєчка, де порушується сперматогенез — процес утворення сперматозоїдів. Дослідження показали, що цей метал може знижувати рівень тестостерону, що важливо для нормального розвитку і функціонування статевих органів. Кадмій також може зменшувати якість сперми, порушуючи рухливість сперматозоїдів, а також збільшуючи кількість аномальних сперматозоїдів, що суттєво знижує шанси на успішне зачаття. Це може призвести до безпліддя, а також збільшити ймовірність передачі генетичних дефектів наступним поколінням.

У жінок кадмій також має численні негативні ефекти. Цей метал може порушувати функції яєчників, змінюючи рівень статевих гормонів, зокрема естрогенів. Зниження рівня естрогенів порушує менструальний цикл і може призвести до безпліддя або утруднень із зачаттям. Кадмій також має токсичний вплив на матку та плаценту, що може викликати аномалії розвитку плода, такі як затримка розвитку, мікроцефалія (малий розмір голови) та інші фізичні та неврологічні порушення. У вагітних жінок кадмій може викликати викидні і передчасні пологи, а також значно збільшити ризик розвитку неонатальних хвороб у новонароджених.

Крім прямого токсичного впливу на органи і тканини, кадмій може спричиняти епігенетичні зміни, тобто змінювати активність генів без зміни їхньої структури. Це може порушити нормальну клітинну диференціацію, що має особливо серйозні наслідки для розвитку плода. Відомо, що навіть при мінімальних дозах кадмію, що потрапляють до організму, можливі довготривалі зміни в функціонуванні репродуктивної системи, що передаються майбутнім поколінням.

Кадмій надходить в організм переважно через їжу, тютюновий дим і забруднене повітря. Він здатен порушувати функції яєчників і яєчок, впливаючи як на кількість, так і на якість гамет.

Кадмій знижує фертильність, спричинює зміни в матці й плаценті, а також підвищує ризик викиднів і затримки росту плода. Його токсична дія часто

опосередкована оксидативним стресом та ураженням ДНК, що може мати наслідки навіть на рівні майбутніх поколінь.

Репродуктивна токсичність кадмію є серйозною загрозою для здоров'я людини. Вплив цього токсичного металу на репродуктивну систему може призвести до безпліддя, порушень розвитку плода, а також спричинити епігенетичні зміни, які відчувуються не лише в наступних поколіннях, а й у довгостроковій перспективі. Тому важливо вжити ефективних заходів для зменшення рівня кадмію в навколишньому середовищі, обмежити його використання в промисловості та контролювати рівень забруднення, щоб захистити здоров'я людей, особливо репродуктивну функцію, і забезпечити здорове майбутнє для нових поколінь [17].

Таким чином, репродуктивна токсичність важких металів — це не лише проблема окремої людини, а глобальний виклик, який загрожує здоров'ю націй та демографічному майбутньому. Ртуть, свинець і кадмій діють повільно, але неухильно, порушуючи найтонші механізми, що забезпечують продовження життя. Усвідомлення цієї небезпеки має спонукати до суворішого контролю за промисловими викидами, посилення санітарних норм і впровадження програм профілактики, спрямованих на охорону репродуктивного здоров'я. Ртуть — це невидимий, але потужний репродуктивний токсикант. Її вплив загрожує як фертильності дорослих, так і здоров'ю наступних поколінь. У світі, де індустріалізація та екологічні проблеми набирають обертів, розуміння репродуктивної токсичності ртуті має ключове значення для громадського здоров'я. Необхідні жорсткі екологічні норми, посилення санітарного контролю та просвітницька робота серед населення, аби мінімізувати ризики і захистити майбутнє людства.

2.2. Пестициди і їх вплив на репродуктивну систему

Пестициди — це хімічні сполуки, що використовуються для захисту сільськогосподарських культур від шкідників, хвороб та бур'янів. Вони допомагають забезпечити високу врожайність і якість продуктів, але поряд з їх користю для аграрного виробництва виникають серйозні екологічні та здоров'я загрози. Пестициди можуть проникати в навколишнє середовище через повітря, воду та ґрунт, потрапляти в організм людини через харчування та безпосередній контакт. Їхній вплив на здоров'я людини є предметом численних досліджень, оскільки пестициди є одними з найпотужніших токсичних речовин, що порушують нормальну функцію ендокринної та репродуктивної системи [18].

Пестициди, зазвичай, діють як ендокринні дисруптори, тобто речовини, що порушують нормальну діяльність ендокринної системи, яка регулює виробництво гормонів. Вони можуть змінювати рівень статевих гормонів — естрогенів, тестостерону та інших, що відіграють важливу роль у розвитку і функціонуванні репродуктивної системи (табл. 2.1). Це може мати катастрофічні наслідки як для чоловіків, так і для жінок, знижуючи фертильність і спричиняючи інші порушення [19].

Таблиця 2.1

Вплив пестицидів на репродуктивне здоров'я людини

Пестицид	Небезпечна доза	Вплив на репродуктивне здоров'я
ДДТ (Дихлор-дифеніл-трихлорметан)	0,05 мг/кг	Порушує гормональний баланс, може знижувати фертильність у жінок і чоловіків, викликає аномалії розвитку статевих органів у плода, спричиняє безпліддя.
Гліфосат	0,1 мг/кг	Викликає гормональні порушення, знижує кількість сперматозоїдів у чоловіків, може спричиняти затримку розвитку статевих органів у дітей, підвищує ризик передчасних пологів у жінок.
Паратіон	0,5 мг/кг	Токсичний для нервової системи, порушує гормональну регуляцію, знижує фертильність, може викликати ранні викидні, зменшує кількість сперматозоїдів у чоловіків.
Метамідофос	0,1 мг/кг	Порушує роботу ендокринної системи, спричиняє дефекти статевих органів у новонароджених, знижує фертильність у жінок і чоловіків, впливає на розвиток плода.

продовження табл. 2.1

Імідаклоприд	0,1 мг/кг	Впливає на гормональний фон, знижує статеву функцію, викликає порушення розвитку статевих органів у плідних тварин, можливий ризик для людини.
Хлорпірифос	0,2 мг/кг	Порушує рівень естрогенів та тестостерону, знижує кількість сперматозоїдів, викликає проблеми з овуляцією у жінок, можливий зв'язок з раком молочної залози та простати.
Карбарил	0,5 мг/кг	Сповільнює розвиток статевих органів, знижує якість сперми, може призвести до порушень викидня та передчасних пологів у жінок.
Фосфаміди	0,2 мг/кг	Порушують нормальну роботу гормональної системи, викликають зменшення кількості сперматозоїдів, знижують здатність до зачаття у чоловіків.
Табун	0,05 мг/кг	Знижує рівень тестостерону, викликає проблеми з фертильністю, може впливати на гормональне функціонування, викликаючи аномалії розвитку плода.

Деякі пестициди можуть підвищувати рівень естрогенів або імітувати їх дію в організмі, що може призвести до порушення нормальної репродуктивної функції, таких як порушення овуляції, менструальних циклів і фертильності у жінок, а також зменшення кількості сперматозоїдів і порушення сперматогенезу у чоловіків. Вони також можуть мати довгостроковий вплив на розвиток статевих органів у новонароджених, особливо в разі впливу на плід під час вагітності [20].

У жінок пестициди можуть викликати ряд серйозних порушень репродуктивної системи. Вплив деяких хімікатів може змінювати гормональний фон, знижуючи рівень естрогенів або викликаючи їх дисбаланс, що призводить до безпліддя. Зокрема, пестициди можуть порушувати процес овуляції, що робить вагітність складною або навіть неможливою. Крім того, викидні, передчасні пологи і аномалії розвитку плода можуть бути спричинені постійним впливом пестицидів на організм жінки.

Важливим є вплив пестицидів на статеві органи жінок. Наприклад, певні хімікати можуть спричиняти полікістоз яєчників, що значно знижує шанси на зачаття. Також існують дані, що деякі пестициди можуть впливати на молочні залози, збільшуючи ризик розвитку раку молочної залози [21].

У чоловіків пестициди здатні негативно впливати на якість сперми, що є однією з основних причин чоловічого безпліддя. Пестициди можуть знижувати

кількість сперматозоїдів, порушувати їхню рухливість і спричиняти морфологічні зміни сперматозоїдів, що перешкоджає їх здатності запліднювати яйцеклітину. Це стає серйозною проблемою для репродуктивного здоров'я чоловіків, оскільки від якості сперми залежить можливість зачаття дитини.

Пестициди можуть також порушувати гормональний баланс, зокрема знижувати рівень тестостерону, що негативно впливає на репродуктивну здатність. Вплив пестицидів може призводити до зменшення статевого потягу, порушення ерекtilьної функції та розвитку інших порушень, пов'язаних з репродуктивною функцією.

Особливо небезпечним є вплив пестицидів на плід у період вагітності. Через здатність пестицидів проникати через плаценту, вони можуть мати серйозні наслідки для розвитку статевих органів у плода. У разі токсичного впливу пестицидів на плід можуть спостерігатися аномалії розвитку статевих органів, а також порушення генетичної програми розвитку.

На новонароджених пестициди можуть негативно впливати на їхню психомоторну активність, спричиняти гіперактивність, порушення уваги, а також підвищувати ризик розвитку різних захворювань, зокрема ракових пухлин. Особливо важливою є рання діагностика можливих порушень, що можуть виникнути через вплив токсичних хімічних речовин під час вагітності [22].

Таким чином, пестициди є одними з основних токсичних речовин, що спричиняють серйозні порушення репродуктивної функції у людини. Вони можуть негативно впливати на гормональну систему, знижуючи фертильність та викликаючи різні захворювання репродуктивних органів у чоловіків і жінок. Щоб зменшити негативний вплив пестицидів, необхідно застосовувати заходи щодо їх обмеження в навколишньому середовищі, вибору екологічно чистих продуктів і посилення контролю за їх використанням. Це дозволить мінімізувати ризики і забезпечити збереження репродуктивного здоров'я для майбутніх поколінь.

2.3. Вплив промислових хімічних речовин на репродуктивне здоров'я

У сучасному світі промислові хімічні речовини стали важливими компонентами численних побутових товарів, медичних препаратів та промислових виробів. Проте поряд із численними зручностями та перевагами, які вони приносять, ці речовини можуть бути небезпечними для здоров'я людини. Однією з найбільших загроз є їхній вплив на репродуктивну систему. Серед найнебезпечніших промислових хімікатів, які мають ендокринні властивості і можуть порушувати нормальну репродуктивну функцію, виділяються фталати, бісфенол А та діоксини. Ці речовини активно використовуються в промисловості, а їхня здатність накопичуватися в організмі робить їх вплив на репродуктивне здоров'я дуже серйозним.

Фталати (англ. Phthalates), або фталатні естери — це хімічні сполуки, які широко використовуються в промисловості для виготовлення пластиків, фарб, косметичних засобів, а також в інших побутових і промислових продуктах [23].

Хімічна будова фталатів наведена на рис. 2.4.

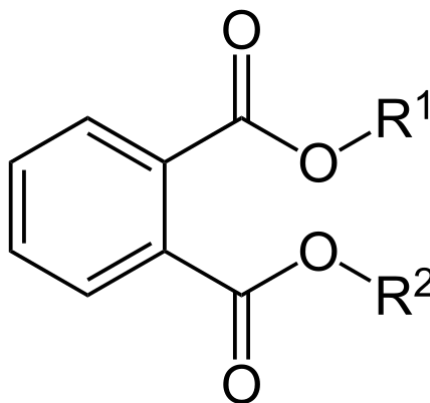


Рис. 2.4. Хімічна будова фталатів

Фталати мають властивості зм'якшувати пластмаси, що робить їх більш еластичними та стійкими до тріщин. Однак, на жаль, фталати є також гормональними руйнівниками, що можуть негативно впливати на здоров'я людини, зокрема на її репродуктивну систему. Сучасні дослідження показують, що фталати можуть порушувати функціонування гормональної системи, що має серйозні наслідки для репродуктивної функції у чоловіків і жінок.

Фталати можуть потрапляти в організм людини через шкіру, дихальні шляхи та шлунково-кишковий тракт, оскільки вони широко поширені у побутових виробах — від пластикових упаковок до косметичних засобів. Вони швидко всмоктуються в кров і можуть накопичуватися в організмі. Оскільки фталати є ендокринними дисрупторами, вони здатні впливати на гормональний баланс, змінюючи рівень важливих гормонів, таких як естрадіол, тестостерон і прогестерон.

Фталати можуть знижувати рівень тестостерону в організмі чоловіків, що призводить до зниження фертильності, а також до деформації статевих органів у новонароджених хлопчиків. Високі рівні фталатів можуть спричиняти зниження кількості сперматозоїдів, порушення якості сперми та навіть імпотенцію. Фталати знижують ефективність роботи яєчок, що веде до порушень сперматогенезу — процесу утворення сперми. У деяких випадках виявлено зв'язок між рівнем фталатів у крові чоловіків та зменшенням їх здатності до зачаття. Крім того, фталати можуть призводити до розвитку крипторхізму (неопущення яєчок), що є серйозною аномалією статевих органів.

У жінок вплив фталатів може призводити до порушення менструального циклу, зниження рівня естрогенів і прогестерону, що у свою чергу може викликати безпліддя. Дослідження показали, що фталати можуть негативно впливати на яєчники, порушуючи овуляцію та здатність до зачаття. Крім того, токсичний вплив на статеві органи може викликати полікістоз яєчників та інші порушення гормонального фону. У вагітних жінок фталати можуть негативно впливати на розвиток плода, викликаючи аномалії в розвитку статевих органів у обох статей, а також збільшуючи ризик викиднів та передчасних пологів.

Фталати мають особливо небезпечний вплив на розвиваючийся організм дитини. Вони можуть впливати на формування статевих органів у немовлят, зокрема викликаючи гіпоспадії (аномалії у розвитку статевих органів у хлопчиків) або порушення розвитку молочних залоз у дівчаток. Також фталати можуть сприяти розвитку порушень в розвитку мозку, зокрема, вони можуть

впливати на поведінкові характеристики дітей, такі як гіперактивність та порушення уваги [24].

Бісфенол А (БРА) — це синтетичний хімічний сполука, яка широко використовується в виробництві пластиків, таких як полікарбонатні пластикові вироби та епоксидні смоли. Хімічна будова бісфенолу А (4,4'-дигідрокси-2,2-дифенілпропан) зображена на рис. 2.5.

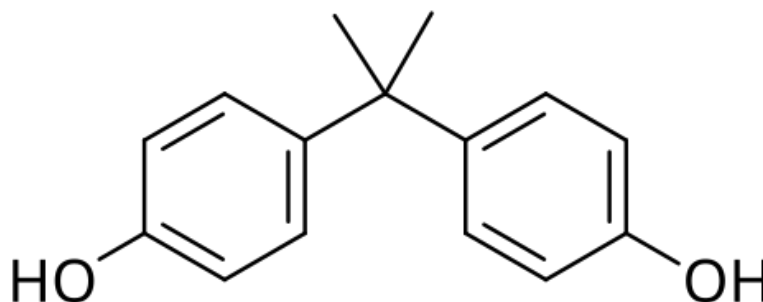


Рис. 2.5. Хімічна будова бісфенолу А (4,4'-дигідрокси-2,2-дифенілпропан)

Бісфенол А знаходять в багатьох предметах повсякденного вжитку: від пластикових пляшок до упаковок для продуктів харчування та побутових товарів. Однак, незважаючи на його поширене використання, наукові дослідження останніх десятиліть вказують на серйозні ризики для здоров'я, зокрема для репродуктивної системи людини. Бісфенол А є ендокринним дисруптором, що означає, що він може порушувати нормальну діяльність гормональної системи, що в свою чергу призводить до порушень репродуктивної функції як у чоловіків, так і у жінок.

Бісфенол А здатний взаємодіяти з естрогенними рецепторами в організмі, що дає йому змогу мимоволі змінювати функціонування гормональної системи. Бісфенол А може наслідувати дію естрадіолу (основного жіночого статевого гормону) та стимулювати або блокувати нормальну передачу гормональних сигналів. Цей процес може мати серйозні наслідки для репродуктивної функції, оскільки порушення гормонального балансу здатні впливати на численні аспекти репродуктивної системи [25].

У жінок бісфенол А може порушувати овуляцію, змінювати рівень естрогенів і прогестерону, а також порушувати менструальний цикл, що

призводить до безпліддя або складнощів із зачаттям. Також існує зв'язок між високими рівнями ВРА в організмі та розвитком полікістозу яєчників, а також можливим ризиком розвитку раку молочної залози. Бісфенол А може викликати порушення у розвитку статевих органів у жінок, що часто призводить до проблем з фертильністю. Вплив ВРА на яєчники та гормональну систему може спричиняти гіпофункцію яєчників та впливати на яйцеклітини, що робить зачаття складнішим.

Під час вагітності фталати та бісфенол А можуть проникати через плаценту і впливати на розвиток статевих органів плода. У хлопчиків це може проявлятися як гіпоспадії (аномалії статевих органів), а у дівчаток — у порушеннях розвитку молочних залоз. Крім того, дослідження вказують на зв'язок між високими рівнями ВРА у матері та підвищеним ризиком поведінкових розладів у дітей, таких як гіперактивність та порушення уваги. Крім того, деякі дослідження показують, що бісфенол А може бути пов'язаний із збільшенням ризику викиднів та передчасних пологів, оскільки він впливає на гормональний баланс, що є критичним для підтримки здорової вагітності.

У чоловіків вплив бісфенолу А може знижувати рівень тестостерону, що негативно впливає на якість сперми та знижує фертильність. Високі рівні ВРА можуть спричиняти деформацію статевих органів у новонароджених хлопчиків, а також знижувати якість сперматозоїдів, що може призвести до труднощів у зачатті. Вплив бісфенолу А на тестостерон може викликати порушення нормального розвитку статевих органів у чоловіків, а також зменшити кількість сперматозоїдів, що може привести до безпліддя. На основі численних досліджень, існує зростаюча доказова база того, що бісфенол А може знижувати кількість сперматозоїдів і погіршувати їх здатність до запліднення, що робить проблему чоловічого безпліддя більш поширеною [26].

Діоксини — це група високотоксичних органічних хімічних сполук, що утворюються внаслідок різних промислових процесів, таких як спалювання відходів, виробництво пестицидів та інші хімічні реакції. Група діоксинів об'єднує сотні речовин, кожне з яких містить специфічну гетероциклічну

структуру з атомами Хлору (Брому) як замісника. Сполука 2,3,7,8-тетрахлордібензо-пари-діоксину (ТХДЦ) включає два ароматичні кільця, зв'язаних між собою двома кисневими містками (рис. 2.6).

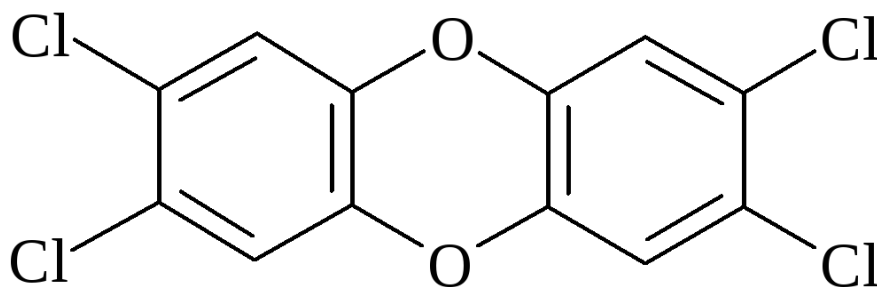


Рис. 2.6. 2,3,7,8-Тетрахлордібензо-пари-діоксину (ТХДЦ)

ТХДД, зображений на рис. 2.6, являється так званим класичним діоксином, дія якого сильніша за ціаніди, стрихнін, зоман, зарин, VX-газу. ТХДД вибраний за еталон онкотоксичності, відрізняється високою стабільністю, не піддається гідролізу і окисненню, стійкий до високої температури (розкладається лише при 750°C), стійкий до дії кислот і лугів, не займистий, добре розчинний в органічних розчинниках.

Діоксини також можуть бути побічними продуктами виробництва гербіцидів, таких як 2,4,5-Т, відомий як компонент «агент Оранж», який використовувався під час В'єтнамської війни. Вони потрапляють в організм людини через повітря, воду, їжу та контакт з забрудненими предметами. Оскільки діоксини є високо стійкими в навколишньому середовищі та в організмі людини, їхній вплив може тривати багато років, що робить їх особливо небезпечними.

Діоксини можуть негативно впливати на репродуктивне здоров'я людини через порушення гормональної системи. Вони здатні взаємодіяти з рецепторами арілвуглецевих вуглеводнів (AhR), що є частиною механізму передачі сигналів у клітинах. Це призводить до порушення нормальної функції ендокринної системи, що включає гормони (таких як естрогени, тестостерон та інші), важливі для репродукції.

Діоксини мають ендокринну активність, що дозволяє їм модулювати активність різних гормонів в організмі, зокрема статевих гормонів, і тим самим

впливати на репродуктивну функцію. Вони можуть змінювати структуру і функцію статевих органів, а також впливати на генетичну інформацію, що є основою нормального розвитку плода.

Високий рівень діоксинів в організмі жінки може мати серйозні наслідки для репродуктивної системи. Діоксини можуть змінювати рівень естрогенів, що порушує менструальний цикл та знижує можливість зачаття. Це може призводити до безпліддя або ускладнювати вагітність. Крім того, дослідження показують, що підвищений рівень діоксинів може спричинити передчасні пологи, викидні та аномалії розвитку плода. Вплив діоксинів на гормональну систему також може сприяти розвитку раку молочної залози у жінок, особливо в умовах тривалого забруднення.

У чоловіків діоксини здатні знижувати рівень тестостерону, що може призвести до порушень у статевій функції. Вони також можуть впливати на якість сперми, знижуючи кількість сперматозоїдів та їх рухливість, що веде до безпліддя. Крім того, діоксини можуть сприяти розвитку різних порушень статевих органів, таких як гіпоспадія (аномалія розвитку статевих органів у хлопчиків), і навіть порушення пубертатного розвитку у підлітків.

Діоксини можуть проникати через плаценту, впливаючи на розвиток плода, що може призводити до порушень у формуванні статевих органів та генетичних аномалій. У новонароджених можуть спостерігатися порушення розвитку нервової та ендокринної систем, а також підвищений ризик розвитку порушень імунної системи. У дітей старшого віку діоксини можуть викликати порушення поведінки, зокрема гіперактивність та порушення уваги [27].

Таким чином, промислові хімічні речовини, такі як фталати, бісфенол А та діоксини, є серйозною загрозою для репродуктивного здоров'я людини. Вони здатні порушувати нормальну функціональність гормональної системи, що призводить до порушень репродуктивної функції як у чоловіків, так і у жінок. Лише через спільні зусилля на рівні суспільства можна досягти зниження впливу токсичних хімічних речовин на репродуктивне здоров'я людини та забезпечити благополуччя майбутніх поколінь.

2.4. Лікарські препарати та наркотичні речовини як фактори ризику

Лікарські препарати є невід'ємною частиною сучасної медицини, що дозволяє лікувати та полегшувати симптоми багатьох захворювань. Однак, поряд із позитивними ефектами, деякі ліки можуть містити токсичні речовини, що мають шкідливий вплив на організм людини. Це особливо стосується репродуктивної системи, де певні препарати можуть спричиняти серйозні порушення, впливаючи на гормональний баланс, фертильність та нормальний розвиток статевих органів. У цьому есе розглянемо деякі лікарські препарати, що містять токсичні речовини, а також їх вплив на репродуктивну систему людини.

Одним із найбільш поширених типів токсичних лікарських речовин є протиракові препарати. Лікування онкологічних захворювань часто вимагає застосування хіміотерапевтичних засобів, таких як цисплатин, метотрексат та фторурацил (рис. 2.7).



Рис. 2.7. Токсичні для репродуктивної системи хіміотерапевтичні засоби

Препарати, наведені на рис. 2.7, мають потужну токсичну дію, що спричиняє серйозні порушення репродуктивної функції, як у чоловіків, так і у жінок. Зокрема, цисплатин може викликати зниження кількості сперматозоїдів у чоловіків, а у жінок — передчасне виснаження яєчників, що призводить до безпліддя або порушення менструального циклу. Ці препарати можуть викликати ранню менопаузу у жінок, що несе ризик для їх гормонального балансу [28].

Не менш важливим є застосування стероїдних гормональних препаратів, таких як глюкокортикостероїди (преднізолон, метилпреднізолон), що

використовуються для лікування різних запальних процесів та аутоімунних захворювань (рис. 2.8).



Рис. 2.8. Стероїдні гормональні препарати, токсичні для репродуктивного здоров'я людини

Препарати, зображені на рис. 2.8, можуть викликати гормональні порушення, зокрема знижувати рівень естрогенів у жінок та тестостерону в чоловіків, що може призвести до порушення менструального циклу, зниження статевого потягу, а також впливати на репродуктивну функцію. У чоловіків довготривале застосування стероїдів може призвести до зменшення кількості сперматозоїдів та атрофії яєчок, що значно знижує фертильність [29].

Антибіотики, що застосовуються для лікування бактеріальних інфекцій, також можуть мати небажаний вплив на репродуктивну систему. Зокрема, тетрациклін та метронідазол можуть викликати порушення розвитку ембріона, що спричиняє аномалії у розвитку статевих органів у плода (рис. 2.9).



Рис. 2.9. Антибіотики, токсичні для репродуктивного здоров'я людини

Окрім того, застосування антибіотиків, наведених на рис. 2.9, може впливати на гормональний баланс, знижуючи рівень естрогенів у жінок, що також негативно позначається на здатності до зачаття. Вони можуть зменшувати ефективність оральних контрацептивів, сприяючи небажаній вагітності [30].

Ще одним типом лікарських засобів, які можуть містити токсичні речовини, є оральні контрацептиви. Хоча ці препарати широко використовуються для запобігання вагітності, їхня тривала та неконтрольована поява в організмі може призвести до ряду репродуктивних порушень. Оральні контрацептиви, що містять синтетичні естрогени і прогестини, можуть змінювати гормональний баланс, викликаючи менструальні порушення, затримку овуляції, а також сприяти розвитку ендометріозу — захворювання, яке серйозно впливає на фертильність жінки.

Препарати, які застосовуються для лікування психічних розладів, також можуть мати негативний вплив на репродуктивне здоров'я. Антидепресанти та антипсихотики, зокрема флуоксетин та оласін (діюча речовина: оланзапін) (рис. 2.10), можуть спричиняти зниження лібідо, порушення менструального циклу та навіть аноргазмію у жінок. У чоловіків ці препарати можуть знижувати еректильну функцію, що призводить до серйозних проблем у сексуальному житті.



Рис. 2.10. Антидепресанти, які можуть здійснювати негативний вплив на репродуктивну систему людини

Токсичний вплив лікарських препаратів може бути особливо небезпечним для вагітних жінок та плода. Протягом перших трьох місяців вагітності, коли формується статева система плода, навіть невелика доза токсичних препаратів може призвести до серйозних аномалій розвитку статевих органів або вплинути на гормональний розвиток. Деякі антибіотики, стероїди та протиракові препарати можуть викликати дефекти статевих органів, порушення генетичного розвитку та підвищення ризику викиднів або мимовільних абортів [31].

Сучасне суспільство продовжує боротися з серйозною проблемою — вживанням наркотичних речовин. Окрім добре відомого негативного впливу на психіку, серцево-судинну і нервову системи, наркотики також мають згубний ефект на репродуктивне здоров'я людини. Репродуктивна система є надзвичайно чутливою до токсичного впливу хімічних речовин, зокрема тих, що змінюють гормональний фон та функціонування клітин.

Розглянемо, як наркотичні речовини порушують функції репродуктивної системи чоловіків та жінок (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

Вплив наркотичних речовин на репродуктивну систему людини

Наркотична речовина	Вплив на репродуктивну систему	
	У чоловіків	У жінок
Канабіс	Зниження рівня тестостерону, зменшення кількості та рухливості сперматозоїдів	Порушення менструального циклу, зниження фертильності
Героїн / опіоїди	Пригнічення гонадотропної функції, еректильна дисфункція, олігоспермія, безпліддя	Аменорея, гормональні порушення, підвищений ризик викиднів
Кокаїн	Порушення кровообігу в статевих органах, еректильна дисфункція	Збої овуляції, підвищений ризик передчасних пологів і вроджених вад
Амфетаміни	Зниження лібідо, зміни в сперматогенезі	Порушення менструального циклу, ановуляція
Метамфетамін	Гормональний дисбаланс, еректильні порушення	Порушення розвитку плода, ризик викидня, проблеми з імплантацією ембріона
ЛСД, психоделіки	Менший вплив, тимчасове зниження фертильності	Нестабільність гормонального фону, негативний вплив при вагітності

продовження табл. 2.2

Алкоголь (у великих дозах)	Атрофія яєчок, зниження вироблення тестостерону, зменшення якості сперми	Порушення овуляції, порушення менструального циклу, тератогенна дія під час вагітності
----------------------------	--	--

Джерело: складено автором на основі [32]

Як показано у табл. 2.2, у чоловіків наркотики порушують як гормональний баланс, так і фізіологію репродуктивних органів. Регулярне вживання канабіноїдів знижує рівень тестостерону, що безпосередньо впливає на лібідо, ерекцію та продукцію сперматозоїдів. Дослідження показують, що у споживачів канабісу часто спостерігається зменшення кількості та рухливості сперматозоїдів, а також порушення їх морфології, що знижує шанси на успішне запліднення.

Опіоїди (героїн, метадон, морфін) мають ще серйозніший вплив. Вони пригнічують гіпоталамо-гіпофізарно-гонадну вісь — систему, яка регулює вироблення статевих гормонів. У результаті спостерігається зниження лібідо, еректильна дисфункція та олігоспермія (низька кількість сперматозоїдів). Довготривале вживання опіоїдів може призвести до постійної неплідності.

У жінок наркотики також викликають серйозні зміни у гормональній регуляції та функціонуванні репродуктивних органів. Кокаїн, амфетаміни та опіоїди можуть викликати порушення менструального циклу, а в деяких випадках — повну його відсутність (аменорею). Це пов'язано зі зміною рівня естрогенів та прогестерону, а також порушенням овуляції.

Особливо небезпечним є вживання наркотиків під час вагітності. Такі речовини, як героїн, крек та метамфетамін, здатні проникати через плацентарний бар'єр і викликати вроджені вади розвитку у плода, затримку внутрішньоутробного росту, викидні, мертвонародження та передчасні пологи. У новонароджених часто діагностують синдром неонатальної абстиненції — тяжкий стан, при якому дитина народжується з фізичною залежністю від наркотиків.

Важливо зазначити, що токсичний вплив наркотиків не обмежується лише тими, хто їх безпосередньо вживає. Хронічна інтоксикація наркотичними

речовинами може призводити до генетичних змін у статевих клітинах. Це означає, що навіть у разі успішного зачаття потомства, ризик вроджених аномалій, затримки розвитку або неврологічних порушень у дітей значно зростає.

Окрім фізіологічних наслідків, наркотики мають вплив на соціальні й психологічні аспекти репродуктивного життя. Люди, що страждають від наркотичної залежності, часто нехтують контрацепцією, що призводить до небажаних вагітностей, інфекцій, що передаються статевим шляхом, включно з ВІЛ. Крім того, жінки-наркозалежні частіше стикаються з домашнім насильством, соціальною ізоляцією та нестабільним способом життя, що додатково ускладнює їхнє материнство [32].

Таким чином, лікарські препарати є важливими інструментами для лікування хвороб, однак їхній токсичний вплив на репродуктивну систему людини не можна ігнорувати. Препарати, що містять токсичні речовини, можуть порушувати гормональний баланс, знижувати фертильність, викликати аномалії розвитку статевих органів у плода та спровокувати інші серйозні порушення. Особливо важливо, щоб лікарі ретельно оцінювали ризики та користь при призначенні таких препаратів, особливо для жінок, які планують вагітність або знаходяться на стадії вагітності, а також для людей, які мають репродуктивні проблеми. Наркотичні речовини мають багатогранний і згубний вплив на репродуктивну систему людини. Вони руйнують гормональну регуляцію, знижують фертильність, викликають вроджені патології та ставлять під загрозу здоров'я майбутніх поколінь. Усе це підкреслює необхідність активної профілактики, інформування суспільства та забезпечення доступу до лікування наркозалежності.

3. ОЦІНКА І ПРОФІЛАКТИКА НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ ТОКСИЧНИХ РЕЧОВИН

3.1. Методи оцінки токсичності та діагностики порушень репродуктивної системи

Оцінка токсичності та виявлення її впливу на репродуктивну систему людини є одним із ключових напрямів сучасної токсикології та медичної діагностики. Зростаюча кількість хімічних речовин у навколишньому середовищі, харчових продуктах, медикаментах та промисловості вимагає ефективних методів виявлення токсикантів та контролю за їх біологічним впливом. Особливо важливим є раннє виявлення порушень, що можуть вплинути на фертильність, гормональний баланс або розвиток плода. Для цього використовують низку сучасних методів аналізу — від хроматографії та спектроскопії до клітинних та біохімічних моделей.

Газова хроматографія (ГХ) та вискоефективна рідинна хроматографія (ВЕРХ) є одними з найточніших і найпоширеніших методів визначення токсичних речовин у біологічних рідинах (крові, сечі, плазмі, тканинах). Обидва методи часто поєднуються з мас-спектрометрією для більшої точності (ГХ-МС, ВЕРХ-МС).

ГХ особливо ефективна при аналізі летких органічних сполук, таких як пестициди, фталати чи леткі метаболіти. Вона дозволяє виявити надзвичайно низькі концентрації речовин, що важливо для оцінки хронічного впливу токсинів.

У дослідженні, опублікованому в *Journal of Occupational Health* (2019 р.), за допомогою ГХ-МС було визначено рівень фталатів у сечі працівників пластикопереробних заводів. Результати показали кореляцію між рівнем ді-2-етилгексилфталату (DEHP) та зниженням концентрації сперматозоїдів.

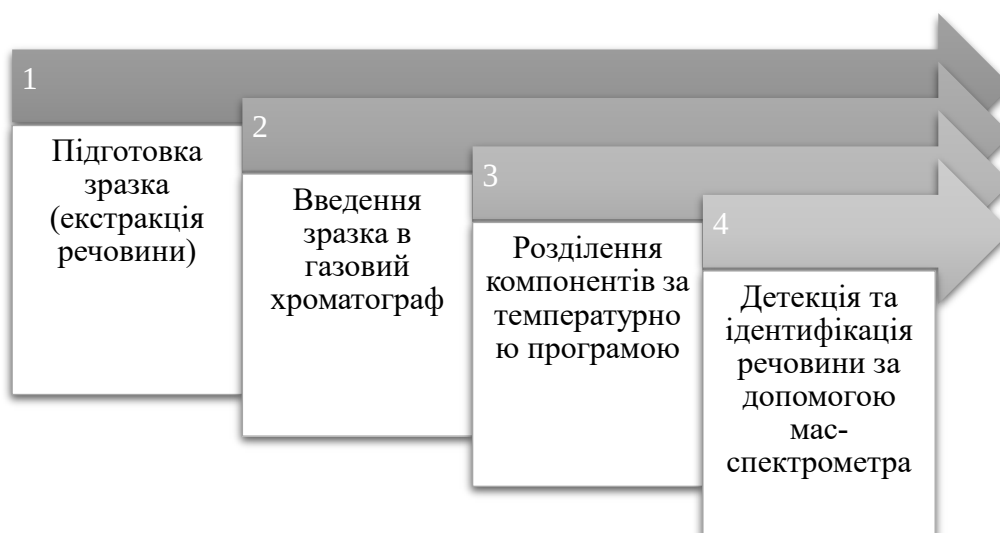


Рис. 3.1. Алгоритм застосування методу ГХ-МС

Метод ВЕРХ підходить для аналізу нелетких та термочутливих сполук, зокрема важких металів у формі комплексів, гормонів, медикаментів, залишків хімічних речовин. У роботі, опублікованій в *Toxicology Letters* (2020 р.), використання ВЕРХ-МС дозволило виявити залишки гліфосату у плацентарних зразках. Було виявлено зв'язок між підвищеним вмістом гліфосату та порушеннями плацентарної функції.

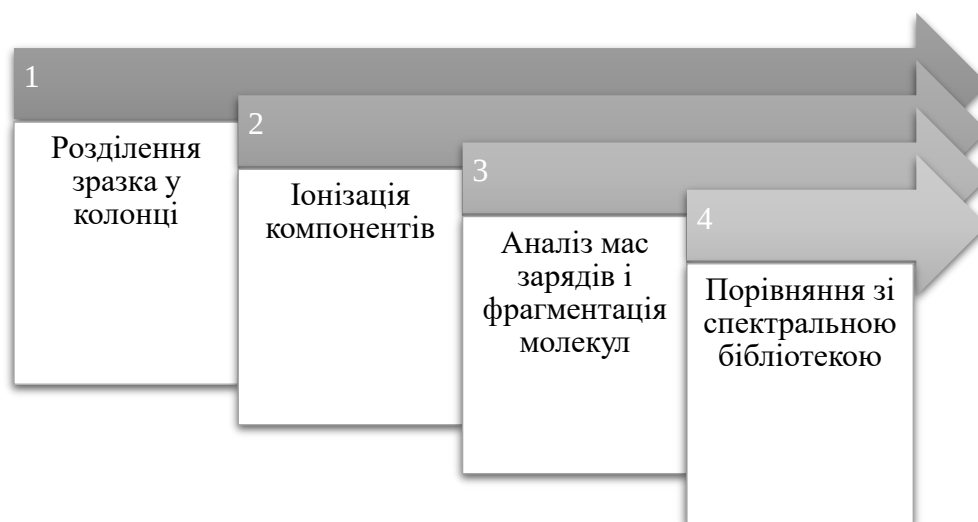


Рис. 3.2. Алгоритм поєднання ВЕРХ + МС (HPLC-MS)

У великомасштабному дослідженні в Китаї (2021 р.), застосування ВЕРХ-МС дозволило виявити наявність бісфенолу А (БРА) у зразках сироватки крові жінок із безпліддям. Результати вказали на статистично значуще підвищення БРА у порівнянні з контрольною групою.

До спектроскопічних методів аналізу входять інфрачервона спектроскопія (ІЧ- спектроскопія), ультрафіолетова спектроскопія (УФ-спектроскопія), Мас-спектрометрія (МС).

ІЧ-спектроскопія (інфрачервона) дозволяє вивчати хімічні зв'язки у молекулах та визначати функціональні групи, які можуть бути змінені в результаті токсичного впливу. Зміни білкових структур у сперматозоїдах після дії кадмію були зафіксовані за допомогою ІЧ-спектроскопії у дослідженні, проведеному в *Reproductive Toxicology* (2018 р.).

УФ-спектроскопія (ультрафіолетова) застосовується для аналізу речовин, що поглинають УФ-випромінювання, зокрема нітрозамінів, поліциклічних ароматичних вуглеводнів — токсикантів, пов'язаних із пошкодженням ДНК.

Мас-спектрометрія є надзвичайно точним методом, що дозволяє визначити молекулярну масу та структуру речовини. У поєднанні з хроматографією вона забезпечує надзвичайно високу специфічність і чутливість. Завдяки цьому можливо виявляти сліди токсинів у зразках тканин яєчників, сперми, плаценти або ембріональних клітинах.

Біохімічні методи дають змогу визначити рівень ензимів, гормонів, окисного стресу та біомаркерів клітинного ушкодження внаслідок токсичного впливу. Наприклад:

- визначення рівня тестостерону, естрадіолу, ФСГ та ЛГ дозволяє оцінити гормональні порушення;
- оцінка активності супероксиддисмутази (SOD), глутатіонпероксидази або малонового діальдегіду (МДА) дозволяє виявити окисний стрес, який часто супроводжує токсичну дію речовин.

У дослідженні, проведеному на щурах (2017), експозиція свинцем спричинила значне підвищення МДА та зниження активності SOD у тканинах яєчок, що свідчило про оксидативне пошкодження.

Ін-вітро тести використовують клітини гонад або ембріональних структур для моделювання впливу токсинів. Використання клітин гранульози людини показало, що дія ВРА викликає апоптоз, зниження синтезу прогестерону та

естрадіолу. Це було підтверджено за допомогою МТТ-тесту та імуноблотингу (дані з Toxicology in Vitro, 2020).



Рис. 3.3. Алгоритм застосування клітинної моделі

Культивовані клітини (гранульозні клітини яєчника, клітини Лейдіга або Сертолі) використовуються для вивчення механізмів токсичності. За допомогою таких моделей можна оцінити: клітинну життєздатність (тести МТТ, LDH), апоптоз або некроз (за допомогою флуоресцентних мічень), порушення мітозу або ДНК-пошкодження (тест "комети", γ -H2AX).

Клітинні моделі також дозволяють моделювати вплив токсичних речовин на ранні стадії ембріогенезу або гаметогенезу, що критично важливо при вивченні репродуктивної токсичності [33].

Таким чином, оцінка токсичності та діагностика репродуктивних порушень — це комплексний процес, що потребує використання високоточних аналітичних методів. Хроматографічні та спектроскопічні технології дозволяють визначити навіть мінімальні кількості токсичних речовин у біологічних зразках, тоді як біохімічні та клітинні методи допомагають зрозуміти механізми їхньої дії на клітинному рівні. Завдяки цим підходам вдається не лише діагностувати токсичний вплив на репродуктивну систему, а й розробляти ефективні профілактичні та лікувальні стратегії для його мінімізації.

3.2. Профілактичні та детоксикаційні заходи

Токсичні речовини, зокрема важкі метали, хімічні сполуки та забруднювачі навколишнього середовища, є серйозною загрозою для здоров'я людини, зокрема для її репродуктивної системи. Порушення функцій статевих органів, зниження фертильності, аномалії розвитку плода — це лише деякі з наслідків, які можуть виникати внаслідок впливу токсичних речовин. Однак важливо зазначити, що завдяки ефективним профілактичним та детоксикаційним заходам можна значно знизити негативний вплив токсичних речовин на репродуктивне здоров'я.

Одним із найефективніших способів детоксикації є правильне харчування. Антиоксиданти, які містяться в свіжих фруктах, овочах, ягодах і зелені, допомагають нейтралізувати оксидативний стрес, що викликається токсичними речовинами. Крім того, важливо включати в раціон продукти, що сприяють виведенню токсинів із організму, такі як сіль морська, часник, імбир, а також рослинні олії, які сприяють відновленню клітин і тканин.

Одним із найефективніших способів зменшити вплив пестицидів є вживання органічних продуктів, що вирощуються без використання хімічних засобів захисту рослин. Це зменшує кількість токсичних речовин, що потрапляють в організм людини. Важливим є посилення державного контролю за використанням пестицидів на сільськогосподарських полях та забезпечення дотримання санітарних норм і екологічних стандартів при їх застосуванні. Також необхідно проводити моніторинг вмісту пестицидів у продуктах харчування.

У деяких випадках можуть бути необхідні спеціальні медикаментозні препарати, які сприяють виведенню токсичних речовин із організму. Також можуть застосовуватись детоксикаційні інфузії, які допомагають зменшити рівень токсичних сполук в організмі. Призначення таких процедур має відбуватися під контролем лікаря, оскільки неправильне використання препаратів може мати небажані побічні ефекти.

Токсичні важкі метали, такі як ртуть, свинець та кадмій, є одними з основних забруднювачів навколишнього середовища, здатних серйозно впливати

на здоров'я людини, зокрема на її репродуктивну систему. На щастя, існують медичні препарати, які дозволяють мінімізувати негативний вплив цих токсичних металів на організм людини. Токсичні метали викликають оксидативний стрес, що пошкоджує клітини і тканини, зокрема репродуктивних органів. Для зменшення цього впливу застосовуються антиоксиданти, наведені у таблиці 3.1, які нейтралізують шкідливі вільні радикали та запобігають пошкодженню клітин.

Таблиця 3.1

Медичні препарати для детоксикації важких металів

Медичні препарати	Характеристика
Хелатори	
Дімеркаптопропан (DMSA) та триентин	хелатори, які застосовуються для виведення свинцю і кадмію з організму. Ці препарати допомагають знизити рівень важких металів у крові та тканинах, зменшуючи токсичний вплив на репродуктивну систему
Етилендіамінтетраоцтова кислота (EDTA)	що використовується для лікування отруєнь свинцем і кадмієм. Він здатний знижувати рівень токсичних металів у організмі та запобігати їх накопиченню в органах, включаючи яєчники та яєчка
2,3-Димеркапто-1-пропансульфонова кислота (DMSO3)	застосовується для виведення ртуті з організму, мінімізуючи її негативний вплив на репродуктивні органи та знижуючи ризики, пов'язані з отруєннями цим металом
Антиоксиданти та вітаміни	
Вітамін С та вітамін Е	є основними антиоксидантами, що використовуються для підтримки організму під час детоксикації. Вони допомагають нейтралізувати оксидативний стрес, спричинений важкими металами, і підтримують здоров'я репродуктивної системи
Селен і цинку піколінат	використовуються для зменшення окисного пошкодження і підтримки нормальної функції репродуктивних органів у чоловіків і жінок, знижуючи токсичний вплив металів на статеві клітини та гормональний фон
Глутатіон	важливий антиоксидант, який виробляється в організмі та здатний допомогти нейтралізувати токсичні впливи важких металів, зокрема ртуті, свинцю та кадмію. Він відіграє ключову роль у детоксикації, сприяючи виведенню токсинів через печінку. Препарати, що містять глутатіон або стимулюють його виробництво, можуть бути корисними для зменшення токсичного навантаження на репродуктивну систему

У табл. 3.1 видно, що окрім антиоксидантів, широко використовуються хелатори, які є групою медикаментозних засобів, які мають здатність зв'язувати токсичні метали і сприяти їх виведенню з організму. Вони діють як «пастка» для

металів, утворюючи з ними стабільні комплекси, які виводяться через сечу або інші шляхи. Хелатори є основним засобом для лікування отруєнь важкими металами, таких як ртуть, свинець та кадмій.

Детоксикація фталатів — це складний процес, оскільки ці сполуки накопичуються в організмі та мають потенційно ендокринно-руйнівну дію. На сьогоднішній день специфічних лікарських препаратів, призначених виключно для виведення фталатів, не існує. Проте існують підходи, які можуть сприяти зменшенню їх токсичного навантаження на організм шляхом підтримки природних механізмів детоксикації.

Фталати метаболізуються в печінці за участі ферментів 1-ї та 2-ї фази детоксикації (наприклад, глюкуронідація, сульфатація, глутатіон-кон'югація). Підтримка цих процесів за допомогою індукторів ферментів детоксикації печінки (глутатіон або його попередники, N-ацетилцистеїн (NAC), L-глутамін, альфа-ліпоева кислота) може допомогти організму швидше виводити метаболіти фталатів. Сорбенти, такі як активоване вугілля, ентеросгель (поліметилсилоксан полігідрат), смекта (діоктаедричний смектит) сприяють виведенню токсичних речовин через кишечник, можуть зв'язувати частину метаболітів, які виділяються з жовчю.

Фталати можуть негативно впливати на мікробіом, який, своєю чергою, бере участь у детоксикації. Підтримка кишкової флори за допомогою пробіотиків (*Lactobacillus rhamnosus*, *Bifidobacterium longum*, *Saccharomyces boulardii*) може допомогти у зменшенні токсичного навантаження. Антиоксиданти (вітамін С, вітамін Е, коензим Q10) знижують оксидативний стрес, який зростає під впливом фталатів.

Для мінімізації впливу фталатів на репродуктивне здоров'я людини важливо вжити певних профілактичних заходів. Першочергово варто звертати увагу на склади побутових та косметичних засобів. Сучасні виробники вже почали виробляти альтернативні засоби, що не містять фталатів, тож варто обирати екологічно чисті продукти. Сучасні косметичні засоби, що не містять

фталатів, допомагають знизити контакт шкіри з шкідливими хімічними речовинами.

Як і у випадку з фталатами, специфічних медикаментів, які безпосередньо виводять бісфенолу А, не існує. Проте існують препарати та нутрієнти, правильні комбінації яких підтримують природні шляхи його метаболізму та виведення з організму (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

Комбінований підхід до детоксикації бісфенолу А

Засіб	Ціль
НАС + глютамін + гліцин	Підтримка глутатіону
Кальцій-D-глюкоарат	Запобігання реабсорбції ВРА в кишечнику
Силімарин	Захист і підтримка печінки
Сорбенти	Зменшення кишкової реабсорбції токсинів
Пробіотики	Відновлення мікробіому
Антиоксиданти	Захист клітин від пошкоджень

Зважаючи на небезпеку бісфенолу А, окрім комбанованої терапії, наведеної у табл. 3.2, важливо вживати додаткові заходи для зменшення його впливу на організм, зокрема на репродуктивну систему:

1. Вибір пластикових виробів, що марковані як ВРА-free або виготовлені з альтернативних матеріалів, є одним із основних кроків у зменшенні впливу цієї речовини. Пластикові пляшки, контейнери для їжі та інші побутові товари повинні бути перевірені на вміст ВРА;

2. Для зберігання харчових продуктів і води краще використовувати скляні контейнери або контейнери з нержавіючої сталі, що не містять небезпечних хімікатів;

4. Важливо мінімізувати контакт дітей із пластиком, особливо в перші роки життя, оскільки їхній організм особливо чутливий до таких хімічних сполук [34].

Детоксикація діоксинів (наприклад, TCDD) — надзвичайно складний процес, оскільки ці речовини мають надзвичайно довгий період напіввиведення (до 7–11 років), накопичуються в жировій тканині, виводяться дуже повільно природними шляхами. Для детоксикації діоксинів застосовуються різноманітні препарати та лікарські засоби. Наприклад, досить поширеним є використання

холестираміну (Cholestyramine), який зв'язує жовчні кислоти в кишечнику, перешкоджає реабсорбції діоксинів (які виділяються з жовчю) — перериває enteroгепатичну циркуляцію. Цей препарат підтверджено у клінічних дослідженнях як ефективний засіб для зниження рівня діоксинів у пацієнтів, які перенесли отруєння.

Сорбенти, такі як ентеросгель, смекта (діоктаедричний смектит) та активоване вугілля допомагають зменшити кишкове повторне всмоктування діоксинів. Ефективність значно нижча, ніж у холестираміну, але може бути корисною в комплексі. Деякі форми діоксинів можуть виділятися з потом, тому інфрачервоні сауни, в поєднанні з реабілітаційними програмами, сприяють зменшенню симптомів отруєння діоксинами. Проте такі процедури мають проводитись з медичним контролем через ризик зневоднення та втрати електролітів.

Хоча діоксини майже не метаболізуються, підтримка печінки та детоксикаційних ферментів залишається важливою. Її можна забезпечити шляхом застосування силімарину (розторопша), куркуміну, NAC (N-ацетилцистеїн), альфа-ліпоєвої кислоти, а також кальцію-D-глюократу, який інгібує β -глюкуронідазу, що може бути корисно при детоксикації жиророзчинних токсинів. Діоксини викликають оксидативний стрес та порушення клітинної регуляції. Тому важливо підтримати організм антиоксидантами, такими як вітамін С, вітамін Е, коензим Q10, цинк, селен, а також омега-3 жирні кислоти, які мають протизапальну дію та підтримують мембрани клітин.

Оскільки діоксини накопичуються в жирових клітинах, контроль ваги та стимулювання ліполізу (під медичним контролем) може сприяти повільному виведенню. Але швидка втрата жиру може спричинити вивільнення великої кількості діоксинів у кров, тому потрібна поступова стратегія + підтримка печінки та вивідних шляхів.

Зважаючи на високу токсичність діоксинів та їх здатність до накопичення в організмі, вкрай важливо вживати заходів щодо зменшення їх впливу на репродуктивну систему:

1) Зменшення забруднення навколишнього середовища шляхом посилення контролю за промисловими процесами, що можуть призвести до утворення діоксинів (фільтрація вихлопних газів, ефективне управління відходами та контроль за використанням пестицидів);

2) Регулярний моніторинг рівня токсичних речовин в організмі через аналізи та медичні обстеження є важливим для своєчасного виявлення їхнього впливу на здоров'я. Це допоможе визначити, чи є ознаки порушень репродуктивної функції та вжити необхідних заходів;

3) Підвищення обізнаності серед населення про джерела забруднення діоксинами та їхній вплив на здоров'я є важливим кроком у профілактиці. Також важливо пропагувати здоровий спосіб життя, включаючи раціональне харчування, відмову від куріння і обмеження впливу токсичних хімікатів.

Інші терапевтичні методи зниження впливу токсичних речовин на репродуктивне здоров'я людини наведені у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Інші терапевтичні методи зниження впливу токсичних речовин на
репродуктивне здоров'я людини

Терапевтичний метод	Характеристика методу
Вітамінотерапія	Є важливою частиною лікування інтоксикації важкими металами. Наприклад, вітамін B6 і вітамін B12 мають важливе значення для нормалізації метаболізму та підтримки функцій нервової та репродуктивної системи, що можуть бути порушені під впливом токсичних речовин
Лікування за допомогою рослинних препаратів	У народній медицині та фітотерапії використовуються рослини, які сприяють детоксикації, такі як кропива, чорний горіх, чистотіл та куркума, що мають властивості виведення токсичних речовин і зменшення запалення в організмі
Підтримка роботи печінки та нирок	Оскільки печінка і нирки є основними органами, що відповідають за очищення організму від токсинів, важливо забезпечити їх належну підтримку. Тому важливо підтримувати їх здоров'я за допомогою гепатопротекторів та препаратів, які допомагають ниркам виконувати свою детоксикаційну функцію. Також рекомендується вживати вітаміни групи B, магній та інші препарати, що покращують функціонування цих органів

Окрім терапевтичних методів, наведених у табл. 3.3, для мінімізації негативного впливу токсичних речовин на репродуктивне здоров'я людини варто

здійснювати регулярні фізичні процедури. Серед фізичних процедур, спрямованих на детоксикацію, можна виділити масаж, сауну та лазню, які стимулюють потовиділення і допомагають виводити токсини через шкіру. Вправи, що сприяють поліпшенню кровообігу, також допомагають активізувати обмінні процеси, що важливо для виведення шкідливих речовин з організму [35].

Таким чином, токсичні речовини, безумовно, є однією з основних загроз для репродуктивного здоров'я людини. Однак завдяки профілактичним та детоксикаційним заходам можна значно знизити їхній негативний вплив. Підвищення екологічної свідомості, моніторинг забруднень, здоровий спосіб життя, правильне харчування і детоксикація — це комплексний підхід, який дозволяє мінімізувати ризики для репродуктивної системи і забезпечити здорове майбутнє наступним поколінням. Використання медичних препаратів, таких як хелатори, антиоксиданти, глутатіон, вітаміни та інші детоксикаційні засоби, допомагає зменшити токсичний вплив речовин на організм і сприяє відновленню нормальних функцій репродуктивних органів. У поєднанні з профілактичними заходами ці методи лікування дозволяють зберегти репродуктивне здоров'я та мінімізувати наслідки токсичних впливів різних речовин для майбутніх поколінь.

ВИСНОВКИ

Висновки: важкі метали, пестициди, фталати та деякі лікарські засоби (протиопухлинні, наркотичні) – це токсичні речовини, що призводять до порушення гормонального регулювання, зниження фертильності, зокрема, у чоловіків спостерігається зменшення кількості та рухливості сперматозоїдів, порушення сперматогенезу, а у жінок – ановуляторні цикли, порушення імплантації, зниження овариального резерву. Використання медичних препаратів, таких як хелатори, антиоксиданти, вітаміни та детоксикаційні засоби, допомагає зменшити токсичний вплив речовин на організм і сприяє відновленню нормальних функцій репродуктивних органів. У поєднанні з профілактичними заходами ці методи лікування дозволяють зберегти репродуктивне здоров'я та мінімізувати наслідки токсичних впливів різних речовин.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Frederick S. vom Saal, John P. Myers. Human exposure to bisphenol A (BPA). EHP Publishing. 2018. №1;
2. Cécile Chevrier, Rémy Slama. Pesticide exposure and reproductive health in young men. Occupational and Environmental Medicine. 2018. №4;
3. Andrea C. Gore, T. Colborn. Endocrine-Disrupting Chemicals: An Endocrine Society Scientific Statement. Endocrine Reviews. 2009. №4. DOI: <https://doi.org/10.1210/er.2009-0002> (дата звернення: 10.03.2025);
4. Головкова Т. А., Главацька В. І. Сучасні аспекти проблеми впливу важких металів довкілля на репродуктивне здоров'я жінок. *Intermedical Journal*. 2024. №2;
5. Резніков О. Г., Сачинська О. В., Фалюш О. А. Ендокринні дизраптори — пренатальні чинники розладів репродуктивного здоров'я. *Ендокринологія | Endokrynologia*. 2023. №1;
6. Завгородній І. В., Бачинський Р. О. Сполучена дія хімічних та фізичних чинників на репродуктивну систему щурів в умовах холодового стресу. *Медичні перспективи*. 2016. №4;
7. Шелігацька О. В., Кравчук В. В. Вплив токсичних фосфорорганічних сполук на організм людини. *КНУТД*. 2016. №4;
8. Радченко А. В., Лучко О. С., Должикова О. В. Вплив алкоголю на репродуктивну систему людини. *Youth Pharmacy Science*. 2023. №6;
9. Lena Pernas. Cellular metabolism in the defense against microbes. *Journal of Cell Science*. 2021. URL: <https://journals.biologists.com/jcs/article/134/5/jcs252023/237543/Cellular-metabolism-in-the-defense-against> (дата звернення: 12.03.2025);
10. Роттердамська конвенція про процедуру попередньої інформованої згоди щодо деяких небезпечних хімічних речовин і пестицидів у міжнародній торгівлі. URL: <https://pic.int/theconvention/overview/textoftheconvention/rotterdam>

conventiontext/tabid/1160/language/en-us/default.aspx?utm_source=chatgpt.com

(дата звернення: 15.03.2025)

11. Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants (POPs). 2025. URL: https://www.pops.int/TheConvention/Overview/tabid/3351/ItemId/5381/Default.aspx?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 15.03.2025)

12. Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS). 2025. URL: https://unece.org/about-ghs?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 20.03.2025)

13. Регламент REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals). 2025. URL: https://environment.ec.europa.eu/topics/chemicals/reach-regulation_en; (дата звернення: 22.03.2025)

14. Офіційний портал Верховної Ради України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua> (дата звернення: 15.04.2025);

15. Magda Carvalho Henriques, Susana Loureiro, Margarida Fardilha, Maria Teresa Herdeiro. Exposure to mercury and human reproductive health: a systematic review. *Reproductive Toxicology*. 2019. №6;

16. S. Kumar, A. Sharma, S. Sedha. «Occupational and Environmental Exposure to Lead and Reproductive Health Impairment: An Overview». *Journal of Turkish-German Gynecology Association*. 2022. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30647514/> (дата звернення: 25.03.2025);

17. Jitender Kumar Bhardwaj, Anshu Siwach, Drishty Sachdeva, Som Nath Sachdeva. Revisiting cadmium-induced toxicity in the male reproductive system: an update. *Archives of Toxicology*. 2024. №2;

18. Estevan C., Báez-Barroso G.A., Vilanova E., Sogorb M.A. Risk Assessment of Impairment of Fertility Due to Exposure to Tobacco Constituents Classified as Reprotoxicants. *Toxics*. 2025. №4;

19. Aldeli N., Murphy D., Hanano A. Impact of Dioxins on Reproductive Health in Female Mammals. *Frontiers in Toxicology*. 2024. №6;

20. Ajith N., Arumugam S., Parthasarathy S., Manupoori S., Janakiraman S. Concerning Influences of Micro/Nano Plastics on Female Reproductive Health:

Focusing on Cellular and Molecular Pathways from Animal Models to Human Studies. *Reproductive Biology and Endocrinology*. 2024. №22. DOI: 10.1186/s12958-024-01314-7;

21. Saha A., Sundaram R. Analyzing Highly Correlated Chemical Toxicants Associated with Time to Pregnancy Using Discrete Survival Frailty Modeling Via Elastic Net. 2021. URL: <https://arxiv.org/abs/2112.03762> (дата звернення: 05.04.2025);

22. Du X., Zhang S., Zou E. Marine Microplastics and Infant Health. 2024. URL: <https://arxiv.org/abs/2410.17391> (дата звернення: 06.04.2025);

23. Yao Y., et al. Association of Phthalate Exposure with Reproductive Outcomes Among Infertile Couples Undergoing In Vitro Fertilization: A Systematic Review. *Environmental Research*. 2024. №238. DOI: 10.1016/j.envres.2024.117225;

24. Green M.P., Harvey A.J., Finger B.J., Tarulli G.A. Endocrine Disrupting Chemicals: Impacts on Human Fertility and Fecundity During the Peri-Conception Period. *Environmental Research*. 2021. №194. DOI: 10.1016/j.envres.2020.110694;

25. Pivonello C., Muscogiuri G., Nardone A., et al. Bisphenol A: An Emerging Threat to Female Fertility. *Reproductive Biology and Endocrinology*. 2020. №18;

26. Zhang H., et al. Exposure to Phthalates and Female Reproductive Health: A Literature Review. *Environmental Research*. 2022. №204;

27. Claudine Uwamahoro, Jae-Hwan Jo, Seung-Ik Jang, Eun-Ju Jung, Woo-Jin Lee, Jeong-Won Bae, Woo-Sung Kwon. Assessing the Risks of Pesticide Exposure: Implications for Endocrine Disruption and Male Fertility. *International Journal of Molecular Sciences*. 2024. URL: <https://www.mdpi.com/1422-0067/25/13/6945> (дата звернення: 08.04.2025);

28. Katie L. Land, Sundus M. Ghuneim, Brittney A. Williams, Patrick R. Hannon. Phthalates Disrupt Female Reproductive Health: A Call for Enhanced Investigation into Mixtures. *Reproduction*. 2025. URL: <https://rep.bioscientifica.com/view/journals/rep/169/2/REP-24-0117.xml> (дата звернення: 09.04.2025);

29. Eirini Drakaki, Sofoklis Stavros, Dimitra Dedousi. The Effect of Bisphenol and Its Cytotoxicity on Female Infertility and Pregnancy Outcomes: A Narrative Review. *Journal of Clinical Medicine*. 2024. URL: <https://www.mdpi.com/2077-0383/13/24/7568> (дата звернення: 09.04.2025);

30. Nour Aldeli, Denis Murphy, Abdulsamie Hanano. Impact of dioxins on reproductive health in female mammals. *Frontiers in Toxicology*. 2024. URL: <https://www.frontiersin.org/journals/toxicology/articles/10.3389/ftox.2024.1392257/full> (дата звернення: 10.04.2025);

31. Sulagna Dutta, Pallav Sengupta, Sovan Bagchi. Reproductive toxicity of combined effects of endocrine disruptors on human reproduction. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*. 2023. №2;

32. Cristina de Angelis, Antonio Nardone, Francesco Garifalos. Smoke, alcohol and drug addiction and female fertility. *Reproductive Biology and Endocrinology*. 2020. №4;

33. Stacy Mosel. Effects of Drugs and Alcohol on the Reproductive System. *American Addiction Centers*. 2024. №11. URL: <https://americanaddictioncenters.org/health-complications-addiction/reproduction> (дата звернення: 15.04.2024);

34. Роланд Е. А. Репродуктивна токсикологія. *BMC Pharmacology and Toxicology*. 2025. URL: <https://link.springer.com/collections/haifhddgbh> (дата звернення: 16.04.2025)

35. Профілактика отруєнь пестицидами, агрохімікатами і біопрепаратами. Південне міжрегіональне управління Державної служби з питань праці. 2018. URL: <https://pd.dsp.gov.ua/news/profilaktyka-otruien-pestytsydamy-ah/> (дата звернення: 16.04.2025).

SUMMARY

The increasing exposure to environmental and industrial toxicants poses a significant threat to human reproductive health. Compounds such as heavy metals, endocrine-disrupting chemicals (EDCs), pesticides, and industrial by-products have been linked to fertility disorders, hormonal imbalances, and developmental anomalies. Understanding the biological mechanisms underlying these effects is essential for developing effective preventive strategies.

This research combines theoretical and analytical approaches to assess the impact of toxic substances on male and female reproductive systems. The study includes a comprehensive review of current scientific literature and toxicological profiling of major chemical groups. Particular attention is given to endocrine disruptors and their ability to interfere with hormonal signaling pathways critical to reproduction.

The results underscore the multifactorial nature of reproductive toxicity and highlight key chemical agents most commonly associated with adverse outcomes. The findings support the need for stricter environmental regulation, public health interventions, and increased awareness of chemical exposure risks. Furthermore, the study provides a framework for future research aimed at identifying biomarkers of exposure and susceptibility.

In conclusion, this work offers an integrative perspective on reproductive toxicology, contributing to the ongoing efforts to protect and promote reproductive health in an increasingly polluted world.

Keywords: reproductive health, toxic substances, fertility, hormonal imbalance.