

УДК 616.12-008.331.1-06:613.1/-084

DOI: <http://doi.org/10.31928/2664-4479-2025.4.5966>

# Кліматичні зміни, забруднення повітря й артеріальна гіпертензія: шляхи профілактики

О.Б. Волошина<sup>1</sup>, В.В. Бугерук<sup>1</sup>, О.О. Абрагамович<sup>2</sup>, О.Р. Дукова<sup>1</sup>,  
І.С. Лисий<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Одеський національний медичний університет МОЗ України

<sup>2</sup> ДНП «Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького»

Мета роботи – оцінити роль впливу кліматичних чинників на артеріальний тиск, перебіг артеріальної гіпертензії й проаналізувати шляхи зменшення негативного впливу довкілля на пацієнтів. Стаття зосереджується на аналізі наукових даних, які пов'язують кліматичні зміни, зокрема екстремальні температури, забруднення повітря та зміни погодних умов, із підвищеним ризиком розвитку артеріальної гіпертензії та її ускладнень. Розглянуто основні механізми цього впливу, а також запропоновано практичні шляхи профілактики й адаптації для мінімізації негативного впливу клімату та довкілля на артеріальний тиск і серцево-судинну систему загалом.

**Висновки.** Комплексний підхід до профілактики негативних наслідків кліматичних змін має охоплювати пацієнто-орієнтовану стратегію контролю артеріального тиску, здоровий спосіб життя, уникнення екстремальних температур, засоби і способи індивідуальної стратегії адаптації та захисту. Впровадження рекомендацій ВООЗ на державному рівні щодо моніторингу і підтримання якості повітря є ключовим фактором у профілактиці артеріальної гіпертензії та розвитку її ускладнень під впливом негативних кліматичних чинників.

**Ключові слова:** кліматичні чинники, екстремальні температури, атмосферний тиск, забруднення повітря, артеріальний тиск, артеріальна гіпертензія, профілактика.

Артеріальна гіпертензія (АГ) – одне з найпоширеніших захворювань сьогодення [1]. АГ є провідним фактором ризику ускладнень серцево-судинних захворювань, інсультів та хронічної хвороби нирок [1]. Попередні дослідження довели, що основними факторами виникнення АГ є генетична схильність, шкідливі звички (дієта, недостатня фізична активність, куріння, вживання алкоголю), ожиріння та стрес [1]. Однак за останні десятиліття з'явилося ще більше доказів того, що фактори довкілля, зокрема кліматичні зміни, також відіграють значну роль у розвитку та загостренні АГ [2].

Метою роботи було оцінити роль впливу кліматичних чинників на розвиток АГ і проаналізувати

шляхи зменшення негативного впливу довкілля на пацієнтів.

Пошук літературних джерел здійснювався серед публікацій у відкритих базах PubMed/MEDLINE. Аналізували статті з оригінальними даними, систематичними оглядами та метааналізами, а також Керівництва (Рекомендації) міжнародних лікарських товариств, які були опубліковані до 1 червня 2025 року і стосувалися ключових слів: кліматичні чинники, забруднення повітря, артеріальний тиск (АТ), АГ, профілактика. Пошук обмежувався статтями англійською та українською мовами. Для виявлення неякісних досліджень використані загальноприйняті критерії, такі як: мала кількість досліджуваних, поодинокі клінічні випадки,

Волошина Олена Борисівна, зав. кафедри внутрішньої медицини № 2 з післядипломною освітою Одеського національного медичного університету МОЗ України  
ORCID ID: 0000-0002-7685-7313  
E-mail: obv5@ukr.net

Стаття надійшла до редакції 24 червня 2025 року

Voloshyna Olena Borysivna, Head of the Department of Internal Medicine № 2 with Postgraduate Education at Odesa National Medical University, Ministry of Health of Ukraine  
ORCID ID: 0000-0002-7685-7313  
E-mail: obv5@ukr.net

Received on 24.06.2025

відсутність статистично обґрунтованих результатів і висновків порівняно з контрольною групою або плацебо тощо. Для цього огляду літератури були проаналізовані та відібрані результати 5 рандомізованих клінічних випробувань, 12 проспективних експериментальних і клінічних досліджень, 3 епідеміологічних дослідження, 5 систематичних оглядів і метааналізів, 7 несистематичних оглядів літератури, 4 рекомендації міжнародних наукових товариств, на які є посилання в списку літератури. Резюме визначених досліджень рецензувалися всіма авторами незалежно один від одного і після обговорення, при досягненні консенсусу дані цих публікацій були залучені до цієї статті.

Аналіз даних літератури свідчить, що кліматичні зміни, зокрема екстремальні температури, забруднення повітря та зміни погодних умов асоціюються з підвищеним ризиком АГ та погіршенням контролю АТ у пацієнтів та збільшенням випадків госпіталізації [2].

### **Вплив температури довкілля на артеріальний тиск**

Високі температури навколишнього середовища та пов'язаний з ними тепловий стрес можуть збільшити смертність і захворюваність та негативно вплинути на психічне здоров'я [2]. Майже половина населення світу та понад 1 мільярд працівників зазнають впливу високих температур, і близько третини всіх працівників, які зазнали цього впливу, мають негативні наслідки для здоров'я. Сильний тепловий стрес також може знизити фізичну працездатність та моторно-когнітивні показники, що має наслідки для продуктивності та підвищує ризик проблем зі здоров'ям на робочому місці [3].

Метааналіз і систематичний огляд [4] показав, що підвищення температури на 1 °C було прямо пов'язане зі смертністю від серцево-судинних захворювань за всіма розглянутими діагнозами. Загальний ризик смертності від серцево-судинних захворювань збільшився на 2,1 % (відносний ризик (ВР) 1,021; 95 % довірчий інтервал (ДІ) 1,020–1,023), при цьому найвищий ризик був для інсульту та ішемічної хвороби серця.

Підвищення температури на 1 °C також було пов'язане зі значним збільшенням захворюваності через аритмії, зупинку серця та ішемічну хворобу серця. Висновки авторів свідчать, що вплив спеки призводить до підвищеного ризику захворюваності та смертності для жінок, осіб віком 65 років і старших, осіб, які проживають у тропічному кліматі, та тих, хто живе в країнах з низьким та середнім рівнем доходу [4, 5].

Зростає кількість доказів того, що нижчі температури на вулиці, зимовий сезон, великі висоти, гучні шуми та забруднювачі навколишнього повітря здатні підвищувати АТ [6].

R.D. Meade та співавтори [7] узагальнили результати понад 400 досліджень, опублікованих у 1961–2024 рр., щодо впливу тепла на організм, у яких взяли участь 6858 осіб. Автори виявили, що під впливом тепла зовні спостерігається підвищення температури тіла пацієнтів у середньому на 0,9 (0,5–1,3) °C та збільшення частоти серцевих скорочень від початкового рівня в середньому на 27 (15–40) за 1 хв.

Систематичний огляд та метааналіз S. Lanzinger та співавторів [8] присвячено аналізу короткострокового впливу температури навколишнього середовища на АТ. У німецькому місті Аугсбург було зібрано 371 вимірювання систолічного та діастолічного АТ у 30 осіб із цукровим діабетом 2-го типу, в 30 осіб з порушенням толерантності до глюкози та в 42 здорових осіб без метаболічних розладів. Зниження температури повітря асоціювалося з підвищенням систолічного АТ (САТ) та діастолічного АТ (ДАТ) в осіб із цукровим діабетом 2-го типу. Дані літератури свідчать, що зниження температури навколишнього середовища на 1 °C асоціювалося з негайним підвищенням систолічного АТ на 1,0 мм рт. ст. (95 % ДІ 0,5–1,4). Температурні ефекти змінювалися залежно від віку, індексу маси тіла, статі, прийому антигіпертензивних препаратів і місця перебування, наприклад перебування в приміщенні [8].

Q. Wang та співавтори [5] порівняли вплив на АТ температури зовні та температури в приміщенні. Автори виявили, що зниження середньодобової температури зовнішнього повітря на 1 °C було пов'язане зі збільшенням САТ у середньому на 0,26 мм рт. ст. (95 % ДІ 0,18–0,33) та ДАТ – на 0,13 мм рт. ст. (95 % ДІ 0,11–0,16). Зниження температури в приміщенні на 1 °C було пов'язане зі збільшенням САТ на 0,38 мм рт. ст. (0,18–0,58), тоді як вплив на ДАТ не оцінювали через обмежену кількість досліджень.

Виявлено також сезонні коливання АТ: взимку спостерігається підвищення денного АТ, а влітку – нічного [9]. Зимове підвищення денного АТ здебільшого пояснюється низькими температурами. Літнє підвищення нічного АТ пов'язане не стільки з температурою, скільки з фізичним дискомфортом та низькою якістю сну через літню погоду. Ймовірно, зимове підвищення денного АТ пов'язане зі збільшенням частоти серцево-судинних подій узимку порівняно з іншими порами року [9].

## Вплив атмосферного тиску на артеріальний тиск

Атмосферний тиск є всеосяжним погодним фактором, оскільки він однаково впливає на людину, незалежно де вона перебуває – на вулиці чи в приміщенні. М. Kaminski та співавтори дослідили в 1662 пацієнтів зв'язок між атмосферним тиском, зареєстрованим з частотою 1 вимірювання за хвилину, та результатами 24-годинного моніторингу АТ у пацієнтів з лікованою АГ у різні пори року в помірному кліматі міста Лодзь (Польща) [10]. Автори спостерігали значну різницю АТ, зареєстрованого в нижньому та вищому діапазоні атмосферного тиску: у денний час упродовж весняних місяців САТ ( $p=0,043$ ) та ДАТ ( $p=0,005$ ), у нічний час упродовж зимових місяців САТ ( $p=0,013$ ) [10].

L. Charach та співавтори [11] досліджували вплив атмосферного тиску на АТ та основні фатальні й нефатальні ускладнення АГ (інсульт, інфаркт міокарда та легеневі емболії). У цьому обсерваційному когортному дослідженні 250 пацієнтів з АГ (віком 65–92 роки) спостерігали протягом 3,5–5,4 року в клініці первинної медичної допомоги. Був проведений регресійний аналіз пропорційних ризиків Кокса для визначення зв'язків між АТ, клінічними, демографічними й екологічними факторами та основними ускладненнями, такими як інсульт, інфаркт міокарда тощо. Автори виявили, що атмосферний тиск коливався між 1007 і 1024 мілібарів. Загалом у 132 (53 %) пацієнтів розвинулися різні ускладнення, з яких 13 (9,8 %) були фатальними. Серед усіх смертельних випадків 93 із 119 нефатальних випадків та 7 із 13 фатальних випадків сталися при атмосферному тиску < 1013 мбар. Аналіз регресії Кокса показав, що низький атмосферний тиск (< 1013 мбар) мав вищий коефіцієнт ризику щодо ускладнень АГ порівняно з усіма демографічними, клінічними та екологічними параметрами. Зроблено висновок, що низький атмосферний тиск був найвагомішим прогностичним фактором ризику для основних ускладнень АГ [11].

## Забруднення повітря й артеріальна гіпертензія

Клінічні рекомендації Європейського товариства кардіологів з профілактики серцево-судинних захворювань 2021 року вважають забруднення повітря одним із найпотужніших факторів кардіоваскулярного ризику [12]. Забруднення атмосферного повітря містить суміш твердих частинок (ТЧ) та газоподібних компонентів (чадний газ (СО), озон (О<sub>3</sub>), діоксид азоту (NO<sub>2</sub>) та діоксид сірки (SO<sub>2</sub>)), джерелом яких є процеси горіння та него-

ріння, зокрема промислові викиди, природні катаклізми (лісові пожежі, суховії з ресуспендованим у повітрі ґрунтом та пилом, виверження вулканів), воєнні конфлікти, стирання гальм та шин, а також спалювання біомаси та вугілля. Забрудненість повітря значно змінюється залежно від пори року, джерела потрапляння в повітря та атмосферних умов і розглядається нині експертами як один із провідних, але потенційно модифікованих факторів ризику глобальної смертності [13]. Найпоширеніша класифікація ТЧ базується на їх розмірі: великі ТЧ < 10 мкм (ТЧ<sub>10</sub>), дрібні ТЧ < 2,5 мкм (ТЧ<sub>2,5</sub>) та ультрадрібні ТЧ < 0,1 мкм (ТЧ<sub>0,1</sub>). Хімічні складники ТЧ можуть містити іони перехідних металів, ендотоксини, реакційно здатні альдегіди та органічні сполуки, такі як токсичні поліциклічні ароматичні вуглеводні, які значною мірою визначають їхню токсичність [14].

Нещодавні епідеміологічні дослідження показали зв'язок між впливом забруднення повітря та ризиком АГ і підвищеного АТ. Короткочасне підвищення рівня ТЧ<sub>2,5</sub> у навколишньому середовищі на 10 мкг/м<sup>3</sup> у 7 китайських містах було послідовно пов'язане з підвищенням САТ та ДАТ на 0,5–3,0 мм рт. ст. протягом наступних кількох днів у дослідженні, де контролювалися щогодинні рівні ТЧ<sub>2,5</sub> та ТЧ<sub>10</sub> у навколишньому середовищі у 7108 осіб без АГ [15]. Вплив ТЧ<sub>2,5</sub> викликав майже миттєве підвищення АТ, яке повільно зменшувалося протягом 12 годин. Оцінка короткочасного впливу забруднення повітря на госпіталізацію з приводу АГ з 2013 до 2020 року в китайському місті Ланьчжоу показала, що забруднення повітря NO<sub>2</sub> та СО збільшувало ризик госпіталізації через АГ. На кожне збільшення NO<sub>2</sub> на 10 мкг/м<sup>3</sup> та на кожне збільшення СО на 1 мкг/м<sup>3</sup> відносний ризик госпіталізації через АГ був найвищим (ВР 1,0427; 95 % ДІ 1,0196–1,0663) та (ВР 1,0986; 95 % ДІ 1,0350–1,1661) відповідно [16].

Тривалий вплив забрудненого повітря також пов'язують з хронічним підвищенням АТ, а також зі збільшенням поширеності та захворюваності на АГ [17]. В когорті американських жінок-медсестер тривалий вплив ТЧ<sub>2,5</sub> з навколишнього середовища підвищував ризик АГ, при цьому коефіцієнт ризику виникнення АГ становив 1,06 (95 % ДІ 1,02–1,11) на кожні 10 мкг/м<sup>3</sup> [18]. У багатоцентровому дослідженні «Проспективна міська та сільська епідеміологія» (PURE), проведеному у 21 країні показано, що вплив ТЧ<sub>2,5</sub> призводив до збільшення відносного ризику виникнення АГ до 1,04 (95 % ДІ 1,01–1,07) на кожні 10 мкг/м<sup>3</sup> збільшення концентрації ТЧ, відбувалось суттєве підвищення САТ та ДАТ [19]. Китайське дослідження за участю 14 622 дорослих середнього та старшого віку показало, що тривалий вплив ТЧ<sub>2,5</sub>, ТЧ<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> та

СО був пов'язаний зі зміною рівнів САТ, ДАТ та середнього АТ. Наприклад, кожне збільшення міжквартильного рівня  $ТЧ_{2,5}$  було пов'язане зі зміною САТ на 1,20 мм рт. ст. (95 % ДІ 0,69–1,72), ДАТ – на 0,66 мм рт. ст. (95 % ДІ 0,36–0,97) та середнього АТ – на 0,84 мм рт. ст. (95 % ДІ 0,49–1,19) [20]. Систематичний огляд та метааналіз зв'язку між тривалим впливом ТЧ навколишнього середовища та АТ, проведений Z. Niu та співавторами [21] показали, що вплив усіх трьох забруднювачів повітря ( $ТЧ_{0,1}$ ,  $ТЧ_{2,5}$  та  $ТЧ_{10}$ ) був суттєво пов'язаний з вищим ризиком виникнення АГ разом зі збільшенням САТ та ДАТ.

### **Патофізіологічні механізми впливу забрудненого повітря на артеріальний тиск**

Експерти вважають, що існує суттєве перекриття патофізіологічних механізмів, за допомогою яких вплив забрудненого повітря може спричинити ризик підвищення АТ з потенціалом для адитивного/синергетичного пошкодження [22]. Ці спільні шляхи охоплюють підвищений оксидативний стрес, системне запалення та активацію центральних механізмів, зокрема симпатичну активацію, що перетворює вплив на швидке підвищення тону судин опору та провокує пресорну реакцію. Компоненти забрудненого повітря потрапляють переважно через легені, де відповідь місцевої імунної системи набуває системного характеру через вивільнення прозапальних цитокінів і міграцію активованих імунних клітин. Системне запалення може викликати окиснювальний стрес, на судинному рівні також може сприяти активації симпатичної нервової системи та звуженню судин [23]. Дослідження на людях показали, що ендотеліальна функція порушується в осіб, які піддаються впливу вищих рівнів забруднення повітря, що, в основному, приводить до зменшення дилатації [24]. Підвищена секреція ангіотензину II також була виявлена як результат впливу забрудненого повітря на судинну дисфункцію та підвищення АТ [25]. Підвищення рівня ангіотензину II часто пов'язують зі змінами експресії ангіотензинперетворювального ферменту [26]. Сучасні дослідження свідчать про опосередковану забрудненням повітря мітохондріальну дисфункцію через окиснювальний стрес, пошкодження мітохондріальної ДНК, порушення мітохондріальної проникності, відкриття пор та мітохондріальний набряк [27]. Також вплив ТЧ може порушити циркадні ритми та добову екскрецію натрію та послабити зниження нічного АТ, що з часом може бути однією з причин стійкої АГ [28].

### **Профілактичні заходи**

Для захисту серцево-судинної системи від забрудненого повітря можуть бути впроваджені заходи на індивідуальному рівні та постійно мають застосовуватись глобальні стратегії на рівні держави, міждержавних органів, громад. Наукова заява Американської асоціації серця [14] аргументовано надає рекомендації щодо персоналізованих підходів до зменшення потенційного негативного впливу забрудненого повітря не лише людям, які проживають у сильно забруднених районах, але й тим, хто має високі серцево-судинні ризики або належить до вразливих груп, а також тим, хто подорожує до районів з високим рівнем забруднення. У заяві зосереджено увагу на найбільш перевірених заходах та життєздатних підходах до зменшення впливу забруднення ТЧ на особистому рівні. Експерти вважають доцільним закриття вікон під час епізодів високого забруднення та використання портативних очищувачів повітря в приміщеннях. Індивідуальні респіратори для очищення повітря використовуються для зменшення вдихання  $ТЧ_{2,5}$  та інших частинок. Респіратори N95 або N99 видаляють до 95 % або 99 % вдихуваних частинок розміром 0,3 мкм відповідно. Було показано, що носіння респіраторів N95, зменшує концентрацію ТЧ в повітрі і може позитивно впливати на стан серцево-судинної системи, зокрема АТ [29]. Хірургічні маски не рекомендуються як метод захисту від забруднювальних речовин, зокрема  $СМ_{2,5}$ .

Регулярна фізична активність може допомогти знизити АТ і протидіяти гіпертензивному впливу кліматичних чинників і забруднення повітря. Дослідження показують, що вищий рівень фізичної активності супроводжується зниженням АТ, навіть у забрудненому середовищі. Зокрема є дані китайського тривалого дослідження за участю 14 622 дорослих середнього та старшого віку про те, що посилення фізичної активності може послабити негативний вплив забруднення повітря на АТ та ризик виникнення АГ [20]. Проте бажано зменшувати фізичну активність або обмежувати певні фізичні вправи та їх інтенсивність назовні в періоди підвищеного забруднення повітря, щоб зменшити негативні наслідки для здоров'я [14]. Пацієнтам із серцево-судинними захворюваннями рекомендують займатися фізичними вправами на відстані понад 400 м від основних доріг, щоб зменшити вплив забруднення. Рекомендується уникати ходьби та їзди на велосипеді вулицями з високим рівнем руху, особливо в години пік, займатися спортом у парках та обмежувати час, проведений на свіжому повітрі в періоди сильного забруднення [14, 29].

Немає спеціальних ліків для зменшення побічних ефектів, спричинених вдиханням забрудненого повітря, які б покращили контроль підвищеного АТ. Тому всі можливі заходи і ліки для первинної та вторинної профілактики серцево-судинних захворювань мають використовуватися ще більш ретельно [1]. Пацієнти мають зберігати прихильність до адекватної антигіпертензивної терапії з домашнім моніторингом АТ та усвідомлювати важливість досягнення і підтримки цільових значень АТ [1, 14].

Рекомендують дотримуватися здорового харчування, обмежувати сіль. Поточні дані підтверджують інтеграцію дієтичних втручань у ширші стратегії зменшення впливу забруднення повітря на серцево-судинні захворювання, а просування дієт, багатих на флавоноїди, є перспективною додатковою стратегією [30]. Споживання флавоноїдів продемонструвало захисні ефекти проти цих ризиків. Механізми дії флавоноїдів охоплюють покращання ендотеліальної функції, антиоксидантну та протизапальну дію, регулювання АТ, антитромбоцитарну дію, кардіопротекцію та покращання метаболізму ліпідів і глюкози.

### **Глобальні заходи для зменшення впливу забрудненого повітря**

У глобальних рекомендаціях ВООЗ щодо якості повітря 2021 року значно знижений поріг середньорічної концентрації ТЧ<sub>2,5</sub> в повітрі до 5 мкг/м<sup>3</sup> з попереднього рівня 10 мкг/м<sup>3</sup> [31]. Рекомендується прийняття і дотримання кожною державою рекомендацій ВООЗ щодо якості повітря, посилений моніторинг рівнів забруднення повітря та збільшення інвестицій у міждисциплінарні дослідження [32]. Перехід на чистіші джерела енергії через регулювання обмеження викидів промисловості та електростанцій має вирішальне значення для зменшення впливу забрудненого повітря на здоров'я населення. Бажано поступово відмовлятися від використання викопного палива та сприяти використанню відновлюваних джерел енергії [33]. Необхідні зусилля для зменшення викидів від транспорту, які є основними джерелами ТЧ та газоподібних забруднювальних речовин, через популяризацію електромобілів, велосипедів, вдосконалення систем громадського транспорту, організації екологічно чистих пішохідних і велосипедних зон, запровадження зон, вільних від транспортних засобів [34]. Створення зелених насаджень може допомогти зменшити забруднення повітря. Листя рослин вловлюють ТЧ з повітря, що знижує кон-

центрацію забруднювальних речовин. На локальному рівні концентрація певних діапазонів розмірів ТЧ може бути зменшена вдвічі, особливо за раціонально спроектованими рослинними бар'єрами, які завдяки комбінованим ефектам розсіювання та осадження потенційно можуть зменшувати вплив ефективніше, ніж бетонні стіни [35]. Крім того, зелені насадження можуть посилити ефект охолодження і протидіяти ефектам впливу тепла, пом'якшуючи спеку й опосередковано сприяти регуляції АТ [36].

Для кращого контролю АТ у спекотну погоду та зменшення ризику ускладнень, пов'язаних зі спекою, експерти вважають необхідним підтримувати належний рівень гідратації, оскільки зневоднення може призвести до підвищення в'язкості крові та, потенційно, до підвищення АТ. Вживання достатньої кількості рідини, особливо води, допомагає підтримувати об'єм крові та тиск. Для людей, які приймають антигіпертензивні препарати, може знадобитися коригування дозування в спекотну погоду. Обмеження часу перебування під прямими сонячними променями та уникнення напруженої діяльності в найспекотніші години дня запобігає перевантаженню серцево-судинної системи, пов'язаному з теплом. Носіння вільного одягу світлого кольору допомагає охолодити тіло та зменшити ризик теплового стресу, який може вплинути на регуляцію АТ. Регулярні помірні фізичні вправи також необхідні для підтримки нормального рівня АТ. Важливо коригувати час та інтенсивність тренувань, щоб уникнути надмірного впливу тепла [37].

Для зменшення негативних сезонних змін АТ К. Narita та співавтори [9] рекомендують як частину режиму лікування АГ такі заходи:

1. Домашнє моніторування АТ протягом усього року для оцінки сезонних коливань.
2. Раннє титрування та поступове зниження доз антигіпертензивних препаратів перед зимою та літом.
3. Оптимізація факторів навколишнього середовища, таких як температура в приміщенні та житлові умови.
4. Використання медицини на основі інформаційно-комунікаційних технологій для оцінки сезонних коливань АТ та надання раннього терапевтичного втручання.

Систематичний огляд та консенсусна заява Робочої групи Європейського товариства гіпертензії щодо моніторингу АТ та варіабельності серцево-судинних захворювань у 2025 році пропонують використовувати кіоски для самостійного вимірювання АТ без нагляду в громадських місцях та закладах охорони здоров'я в кількох країнах [38].

Ця заява Робочої групи з моніторингу АТ та серцево-судинної варіабельності Європейського товариства гіпертензії містить огляд опублікованих даних щодо кіоскових пристроїв для вимірювання АТ та консенсусні рекомендації щодо їхніх вимог та клінічного використання [38].

Отже, кліматичні зміни становлять значну загрозу для здоров'я серцево-судинної системи, зокрема для контролю АТ. Зростання кількості наукових доказів підтверджує цей взаємозв'язок і потребує негайних дій. Індивідуальні стратегії адаптації в поєднанні з рішучими системними заходами щодо пом'якшення кліматичних змін та поліпшення якості довкілля є життєво важливими для захисту громадського здоров'я та запобігання зростанню захворюваності на АГ у світі, що змінюється. Подальші дослідження потрібні для кращого розуміння довгострокових ефектів та розробки ефективніших стратегій.

*Конфлікту інтересів немає.*

*Участь авторів: концепція і проєкт дослідження, редагування тексту, формування висновків – О.В.; збір матеріалу, аналіз та написання розділу статті щодо впливу екстремальних температур – О.Д.; збір матеріалу, аналіз та написання розділу статті щодо атмосферного тиску та коливань температури – О.А.; аналіз літературних даних, написання розділу статті щодо впливу забруднення повітря – В.Б., І.Л.*

## Література

- McEvoy JW, McCarthy CP, Bruno RM, Brouwers S, Canavan MD, Ceconi C, Christodorescu RM, Daskalopoulou SS, Ferro CJ, Gerds E, Hanssen H, Harris J, Lauder L, McManus RJ, Molloy GJ, Rahimi K, Regitz-Zagrosek V, Rossi GP, Sandset EC, Scheenaerts B, Staessen JA, Uchmanowicz I, Volterrani M, Touyz RM; ESC Scientific Document Group. 2024 ESC Guidelines for the management of elevated blood pressure and hypertension. *Eur Heart J.* 2024 Oct 7;45(38):3912-4018. doi: 10.1093/eurheartj/ehae178. Erratum in: *Eur Heart J.* 2025 Apr 7;46(14):1300. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehaf031>
- Yoneyama K, Nakai M, Higuma T, et al. Weather temperature and the incidence of hospitalization for cardiovascular diseases in an aging society. *Sci Rep.* 2021;11:10863. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-90352-x>
- Ebi KL, Capon A, Berry P, Broderick C, de Dear R, Havenith G, Honda Y, Kovats RS, Ma W, Malik A, Morris NB, Nybo L, Seneviratne SI, Vanos J, Jay O. Hot weather and heat extremes: health risks. *Lancet.* 2021 Aug 21;398(10301):698-708. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)01208-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)01208-3)
- Liu J, Varghese BM, Hansen A, Zhang Y, Driscoll T, Morgan G, Dear K, Gourley M, Capon A, Bi P. Heat exposure and cardiovascular health outcomes: a systematic review and meta-analysis. *Lancet Planet Health.* 2022 Jun;6(6):e484-e495. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(22\)00117-6](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(22)00117-6)
- Wang Q, Li C, Guo Y, Barnett AG, Tong S, Phung D, Chu C, Dear K, Wang X, Huang C. Environmental ambient temperature and blood pressure in adults: A systematic review and meta-analysis. *Sci Total Environ.* 2017 Jan 1;575:276-286. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.019>
- Brook RD. The Environment and Blood Pressure. *Cardiol Clin.* 2017 May;35(2):213-221. <https://doi.org/10.1016/j.ccl.2016.12.003>
- Meade RD, Akerman AP, Notley SR, McGarr GW, McCourt ER, Kirby NV, Costello JT, Cotter JD, Crandall CG, Zanobetti A, Kenny GP. Meta-analysis of heat-induced changes in cardiac function from over 400 laboratory-based heat exposure studies. *Nat Commun.* 2025 Mar 14;16(1):2543. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-57868-6>
- Lanzinger S, Hampel R, Breitner S, Rückerl R, Kraus U, Cyrus J, Gerschkat U, Peters A, Schneider A. Short-term effects of air temperature on blood pressure and pulse pressure in potentially susceptible individuals. *Int J Hyg Environ Health.* 2014 Sep;217(7):775-84. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2014.04.002>
- Narita K, Hoshide S, Kario K. Seasonal variation in blood pressure: current evidence and recommendations for hypertension management. *Hypertens Res.* 2021 Nov;44(11):1363-1372. <https://doi.org/10.1038/s41440-021-00732-z>
- Kamiński M, Cieślak-Guerra UI, Kotas R, Mazur P, Marańda W, Piotrowicz M, Sakowicz B, Napieralski A, Trzos E, Uznańska-Loch B, Rechciński T, Kurpesa M. Evaluation of the impact of atmospheric pressure in different seasons on blood pressure in patients with arterial hypertension. *Int J Occup Med Environ Health.* 2016;29(5):783-92. <https://doi.org/10.13075/ijomeh.1896.00546>
- Charach L, Grosskopf I, Karniel E, Charach G. A Meteorological Paradox: Low Atmospheric Pressure-

- Associated Decrease in Blood Pressure Is Accompanied by More Cardiac and Cerebrovascular Complications: Five-Year Follow-Up of Elderly Hypertensive Patients. *Atmosphere*. 2022;13:235. <https://doi.org/10.3390/atmos13020235>
12. Visseren FLJ, Mach F, Smulders YM, Carballo D, Koskinas KC, Bäck M, Benetos A, et al. ESC Scientific Document Group, 2021 ESC Guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice: Developed by the Task Force for cardiovascular disease prevention in clinical practice with representatives of the European Society of Cardiology and 12 medical societies With the special contribution of the European Association of Preventive Cardiology (EAPC). *Eur Heart J*. 7 Sep 2021;42(34):3227-3337. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehab484>
  13. GBD 2021 Causes of Death Collaborators. Global burden of 288 causes of death and life expectancy decomposition in 204 countries and territories and 811 subnational locations, 1990–2021: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2021. *Lancet*. 2024;403(10440):2100-2132. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(24\)00367-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(24)00367-2)
  14. Rajagopalan S, Brauer M, Bhatnagar A, Bhatt DL, Brook JR, Huang W, Münzel T et al.; American Heart Association Council on Lifestyle and Cardiometabolic Health; Council on Arteriosclerosis, Thrombosis and Vascular Biology; Council on Clinical Cardiology; Council on Cardiovascular and Stroke Nursing; and Stroke Council. Personal-Level Protective Actions Against Particulate Matter Air Pollution Exposure: A Scientific Statement From the American Heart Association. *Circulation*. 2020 Dec 8;142(23):e411-e431. <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000931>
  15. Hu J, Xue X, Xiao M, Wang W, Gao Y, Kan H, Ge J, et al. The acute effects of particulate matter air pollution on ambulatory blood pressure: A multicenter analysis at the hourly level. *Environ Int*. 2021 Dec;157:106859. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106859>
  16. Zhu A, Liu M, Yu J, Zhang R, Zhang Y, Chen R, Ruan Y. Association between air pollution and hypertension hospitalizations: a time series analysis in Lanzhou. *BMC Public Health*. 2024 Nov 23;24(1):3260. <https://doi.org/10.1186/s12889-024-20740-1>
  17. Rajagopalan S, Landrigan PJ. Pollution and the Heart. *N Engl J Med*. 2021 Nov 11;385(20):1881-1892. <https://doi.org/10.1056/NEJMra2030281>
  18. Li X, Zhang W, Laden F, Curhan GC, Rimm EB, Guo X, Hart JE, Wu S. Dietary nitrate intake and vegetable consumption, ambient particulate matter, and risk of hypertension in the Nurses' Health study. *Environ Int*. 2022 Mar;161:107100. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107100>
  19. Arku RE, Brauer M, Ahmed SH, AlHabib KF, Avezum B, Bo J, Choudhury T et al. Long-term exposure to outdoor and household air pollution and blood pressure in the Prospective Urban and Rural Epidemiological (PURE) study. *Environ Pollut*. 2020 Jul;262:114197. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114197>
  20. Zhang J, Zhang F, Xin C, Duan Z, Wei J, Zhang X, Han S, Niu Z. Associations of long-term exposure to air pollution, physical activity with blood pressure and prevalence of hypertension: the China Health and Retirement Longitudinal Study. *Front Public Health*. 2023 May 3;11:1137118. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1137118>
  21. Niu Z, Duan Z, Yu H, Xue L, Liu F, Yu D, Zhang K, et al. Association between long-term exposure to ambient particulate matter and blood pressure, hypertension: an updated systematic review and meta-analysis. *Int J Environ Health Res*. 2023 Mar;33(3):268-283. <https://doi.org/10.1080/09603123.2021.2022106>
  22. Hahad O, Rajagopalan S, Lelieveld J, Sørensen M, Kuntic M, Daiber A, Basner M, et al. Noise and Air Pollution as Risk Factors for Hypertension: Part II-Pathophysiologic Insight. *Hypertension*. 2023 Jul;80(7):1384-1392. <https://doi.org/10.1161/HYPERTENSIONAHA.123.20617>
  23. Hahad O, Wojciechowska W, Kuntic M, Pozzer A, Grassos C, Rajzer M. Air pollution and hypertension: Mechanistic and epidemiological insights. *Kardiol Pol*. 2025;83(5):546-555. <https://doi.org/10.33963/v.phj.105320>
  24. Salimi S, Yanosky JD, Huang D, et al. Long-term exposure to particulate air pollution and brachial artery flow-mediated dilation in the Old Order Amish. *Environ Health*. 2020;19(1):50. <https://doi.org/10.1186/s12940-020-00593-y>
  25. Kuntic M, Kuntic I, Krishnankutty R, et al. Co-exposure to urban particulate matter and aircraft noise adversely impacts the cerebro-pulmonary-cardiovascular axis in mice. *Redox Biol*. 2023;59:102580. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2022.102580>
  26. Wang H, Wang T, Rui W, et al. Extracellular vesicles enclosed-miR-421 suppresses airpollution (PM)-induced cardiac dysfunction via ACE2 signalling. *J Extracell Vesicles*. 2022;11(5):e12222. <https://doi.org/10.1002/jev2.12222>
  27. Liang Y, Chu PH, Tian L, Ho KF, Ip MSM, Mak JCW. Targeting mitochondrial permeability transition pore ameliorates PM2.5-induced mitochondrial dysfunction in airway epithelial cells. *Environ Pollut*. 2022 Feb 15;295:118720. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118720>
  28. Tsai DH, Riediker M, Wuerzner G, Maillard M, Marques-Vidal P, Paccaud F, Vollenweider P et al. Short-term increase in particulate matter blunts nocturnal blood pressure dipping and daytime urinary sodium excretion. *Hypertension*. 2012 Oct;60(4):1061-9. <https://doi.org/10.1161/HYPERTENSIONAHA.112.195370>
  29. Laumbach R, Meng Q, Kipen H. What can individuals do to reduce personal health risks from air pollution? *J Thorac Dis*. 2015;7(1):96-107. <https://doi.org/10.3978/j.issn.2072-1439.2014.12.21>
  30. Rocha-Velasco OA, Morales-Suárez-Varela M, Llopis-González A. Dietary Flavonoids: Mitigating Air Pollution's Cardiovascular Risks. *Nutrients*. 2024;16(16):2647. <https://doi.org/10.3390/nu16162647>
  31. WHO Global Air Quality Guidelines: Particulate Matter (PM2.5 and PM10), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulphur Dioxide and Carbon Monoxide. WHO. Retrieved 1 June 2025. Available at: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>
  32. Miller MR, Di Cesare M, Rahimzadeh S, Adeoye M, Perel P, Taylor S, Shrikhande S, et al. Clearing the Air to Address Pollution's Cardiovascular Health Crisis. *Global Heart*. 2024;19(1):82. <https://doi.org/10.5334/gh.1364>
  33. Zero Pollution Action Plan Towards zero pollution for air, water and soil: European Commission. [https://environment.ec.europa.eu/strategy/zero-pollution-actionplan\\_en](https://environment.ec.europa.eu/strategy/zero-pollution-actionplan_en) (accessed: June 2, 2025)
  34. Nieuwenhuijsen MJ. Urban and transport planning pathways to carbon neutral, liveable and healthy cities; A review of the current evidence. *Environ Int*. 2020 Jul;140:105661. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105661>
  35. Diener A, Mudu P. How can vegetation protect us from air

- pollution? A critical review on green spaces' mitigation abilities for air-borne particles from a public health perspective – with implications for urban planning. *Sci Total Environ.* 2021 Nov 20;796:148605. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148605>
36. Aram F, Higuera García E, Solgi E, Mansournia S. Urban green space cooling effect in cities. *Heliyon.* 2019 Apr 8;5(4):e01339. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01339>
37. Gostimirovic M, Novakovic R, Rajkovic J, Djokic V, Terzic D, Putnik S, Gojkovic-Bukarica L. The influence of climate change on human cardiovascular function. *Arch Environ Occup Health.* 2020;75(7):406-414. <https://doi.org/10.1080/19338244.2020.1742079>
38. Stergiou GS, Kyriakoulis KG, Kollias A, McManus RJ, Menti A, Parati G, Schutte AE, Wang J, Asayama K, Asmar R, Bilo G, Chapman N, Fujiwara T, Head G, Kahn N, Kario K, Li Y, Manios E, Marigliis D, Mihailidou AS, Muntner P, Myers M, Niiranen T, Ohkubo T, Omboni S, Protogerou A, Saladini F, Sharman J, Shimbo D, De La Sierra A, Palatini P. Blood pressure measurement at kiosks in public spaces: systematic review and consensus statement by the European Society of Hypertension Working Group on Blood Pressure Monitoring and Cardiovascular Variability endorsed by the International Society of Hypertension and the World Hypertension League. *J Hypertens.* 2025 Apr 1;43(4):577-588. <https://doi.org/10.1097/HJH.0000000000003965>

### **Climate change, air pollution and arterial hypertension: prevention strategies**

O.B. Voloshyna<sup>1</sup>, V.V. Buheruk<sup>1</sup>, O.O. Abrahamovych<sup>2</sup>, O.R. Dukova<sup>1</sup>, I.S. Lysyi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Odesa National Medical University of the Ministry of Health of Ukraine, Odesa, Ukraine

<sup>2</sup> Danylo Halytsky Lviv National Medical University, Lviv, Ukraine

The aim of this literature review is to assess the role of climatic factors on blood pressure and the course of arterial hypertension, and to analyze ways to reduce the negative environmental impact on patients. This article focuses on analyzing scientific data linking climate change, particularly extreme temperatures, air pollution, and changing weather conditions, to an increased risk of arterial hypertension and its complications. The article examines the main mechanisms of this impact and proposes practical prevention and adaptation strategies to minimize the negative effects of climate and the environment on blood pressure and the cardiovascular system as a whole.

**Conclusions.** A comprehensive approach to preventing the negative consequences of climate change should include a patient-centered strategy for blood pressure control, a healthy lifestyle, avoiding extreme temperatures, and individual adaptation and protection methods. The implementation of WHO recommendations at the state level regarding air quality monitoring and maintenance is a key factor in preventing arterial hypertension and the development of its complications under the influence of negative climatic factors.

**Key words:** climatic factors, extreme temperatures, atmospheric pressure, air pollution, blood pressure, arterial hypertension, prevention.