

Antibiotic resistance: causes, consequences, ways to overcome

S. Rublenko | D. Chernai✉

Article info

Correspondence Author

D. Chernai

E-mail:

neposida.08@gmail.comBila Tserkva National Agrarian
University,
Cathedral Square, 8/1, Bila
Tserkva, 09117, Ukraine**Citation:** Rublenko, S., & Chernai, D. (2025). Antibiotic resistance: causes, consequences, ways to overcome. *Scientific Progress & Innovations*, 28(4), 163–167. doi: 10.31210/spi2025.28.04.25

The aim of the review was to systematize and analyze current scientific data on the causes of antibiotic resistance formation in veterinary medicine, its epizootological and clinical consequences, as well as to identify the main directions for the prevention and control of the spread of resistant microorganisms in veterinary therapeutic practice. According to the World Health Organization (WHO), antibiotic resistance represents a significant global public health threat. At present, several major causes of resistance development can be identified. Among them, the leading role is played by the excessive and unjustified use of antimicrobial agents in medicine and their application in various sectors of animal husbandry, as well as the frequent prescription of antibiotics without appropriate indications, which significantly contributes to the formation of microbial resistance. Approximately 50 % of antimicrobial prescriptions in practice are considered unjustified or “prophylactic.” Additional factors contributing to the development of antibiotic resistance include self-medication, the lack of antimicrobial susceptibility testing, incorrect dosing, and premature discontinuation of treatment courses. In particular, when clinical symptoms subside, animal owners often discontinue therapy on their own initiative, which promotes the survival and spread of resistant bacterial strains. Non-compliance with hygiene and sanitary control measures is another important factor facilitating the dissemination of resistant microorganisms. As a result of natural bacterial adaptation mechanisms, a reduction or complete loss of the effectiveness of antimicrobial agents occurs. Factors that stimulate mutational processes include the use of subtherapeutic doses of antibiotics, the lack of pathogen susceptibility to the selected drug, and the presence of antimicrobial residues in food products. Modification of protein targets and the transfer of resistance genes between bacteria via plasmids or bacteriophages may also accelerate the development of antibiotic resistance. The predicted consequences for global health include the loss of microbial susceptibility to last-line antibiotics, such as carbapenems, vancomycin, and colistin, which necessitates the development of new antimicrobial agents and the implementation of strict control over their rational use.

Key words: antibiotics, resistance, global health, companion animals, global monitoring, hospital-acquired infections.

Антибіотикорезистентність: причини, наслідки, шляхи подолання

С. В. Рубленко | Д. С. Чернай

Білоцерківський
національний аграрний
університет
м. Біла Церква, Україна

Мета проведеного огляду полягала у систематизації та аналізі сучасних наукових даних щодо причин формування антибіотикорезистентності у ветеринарній медицині, її епізоотологічних та клінічних наслідків, а також визначенні основних напрямів профілактики та контролю поширення резистентних мікроорганізмів у практиці лікування тварин. Антибіотикорезистентність є актуальною загрозою громадському здоров'ю у всьому світі за даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ). На даний момент можна виокремити декілька основних причин розвитку резистентності. Серед них провідну роль відіграє надмірне та необгрунтоване використання антимікробних препаратів у медицині та застосування їх у різних галузях тваринництва, а також часте призначення без відповідних показань, що суттєво сприяє формуванню стійкості мікроорганізмів. Близько 50 % призначень антимікробних препаратів у практиці є не обгрунтованими, або «профілактичними». Також причиною розвитку є відсутність заходів направлених на визначення чутливості збудника до антибіотиків, неправильне дозування та передчасне припинення курсу лікування. Зокрема, при зникненні клінічних симптомів захворювання господарі тварин припиняють застосування препаратів, що сприяє виживанню та формуванню стійких штамів бактерій. Недотримання правил гігієни та санітарного контролю – ще один фактор, що сприяє поширенню резистентних штамів бактерій. Завдяки природним механізмам бактеріальної адаптації відбувається зниження або повна втрата ефективності антимікробних препаратів. Фактори, що стимулюють мутації – низькі дози антибіотиків, відсутність чутливості збудника до препарату, наявність антимікробних препаратів в продуктах харчування. Модифікація білкових мішеней і передача генів резистентності між бактеріями через плазміди або бактеріофаги, також можуть пришвидшувати розвиток антибіотикорезистентності. Прогнозованими наслідками для глобального здоров'я є втрата чутливості мікроорганізмів до антибіотиків останнього покоління, зокрема карбопенемів, ванкоміцину, колістину, що зумовнює необхідність в синтезі нових препаратів та їх раціональному застосуванні.

Ключові слова: антибіотики, резистентність, глобальне здоров'я, тварини компаньйони, глобальний моніторинг, внутрішньо лікарняні інфекції.

Бібліографічний опис для цитування: Рубленко С. В., Чернай Д. С. Антибіотикорезистентність: причини, наслідки, шляхи подолання. *Scientific Progress & Innovations*. 2025. № 28 (4). С. 163–167.

Антибіотики – одна з часто застосовуваних груп лікарських засобів в медицині та ветеринарній практиці. Засоби цієї групи здатні пригнічувати розвиток мікроорганізмів, руйнувати клітинну структуру, що допомагає виліковувати інфекційні захворювання. Використання антибіотиків, фактично безбар'єрне – вони ефективні при лікуванні шлунково-кишкових, сечокам'яних інфекціях, захворюваннях верхніх дихальних шляхів, шкіри та м'яких тканин, а також для профілактики в післяопераційний період. Проте, не зважаючи на терапевтичні ефекти зростає стійкість до антимікробних препаратів серед поширених бактеріологічних патогенів, ставлячи під загрозу успішність результатів лікування. Центри з контролю та профілактики захворювань США (CDC) та Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) класифікують патогени, стійкі до антимікробних препаратів (АРМ), як загрозу глобальному здоров'ю [1, 2].

Для ветеринарних клінік основною проблемою лікування інфекційних захворювань домашніх тварин є поширення штамів мікроорганізмів, резистентних до дії антибіотиків.

Під антибіотикорезистентністю мають на увазі здатність до росту і розмноження мікроорганізмів під впливом на них антимікробних препаратів [3].

Вирізняють природну і набуту стійкість до антибіотиків. При природній (первинній) стійкості мікроорганізми не мають структур, на які поширюється дія препарату чи виробляється фермент, що інактивує його. Набута (вторинна) стійкість виникає в результаті взаємодії мікроорганізмів з антибіотиками, в наслідок чого з'являються мутантні резистентні форми, відбувається їх направлена селекція, можлива зовнішньо хромосомна передача подібних властивостей плазмідами та епосомами [4].

Причини розвитку резистентності у ветеринарній медицині багатофакторні. Надмірне і необґрунтоване використання антибіотиків для лікування та профілактики захворювань у тварин, створюють сприятливі умови для виживання і поширення стійких до лікарських засобів штамів, шляхом селективного тиску на патогенні бактерії. Крім того, використання антибіотиків у сільському господарстві (наприклад, для вирощування птиці, що тісно пов'язано з фізіологією сучасних кросів), низький рівень санітарії та недотримання гігієнічних норм у тваринницьких господарствах сприяють швидкому розповсюдженню інфекцій і змушують ветеринарних лікарів частіше застосовувати антибіотики. Недостатній контроль і регуляція використання ветеринарних препаратів, а також відсутність системи моніторингу резистентності, призводять до безконтрольного призначення антибіотиків, що значно посилює формування резистентних штамів бактерій [5–7].

Однак проблема не обмежується лише сільськогосподарськими тваринами. Усе частіше об'єктом уваги фахівців стають домашні улюбленці.

Тварини-компаньйони розглядаються, як ймовірний резервуар бактерій, стійких до антимікробних препаратів, на основі спорадичних випадків передачі патогенних бактеріальних штамів, таких як

Staphylococcus aureus [8], *S. intermedius* [9], *S. pseudintermedius* [10], *Campylobacter jejuni* [11] та *Enterococcus faecium* [12], між домашніми тваринами та власниками. Тварини іноді можуть здаватися здоровими, навіть якщо вони є носіями мікроорганізмів, які можуть спричиняти багато різних видів захворювань у людей і тварин, від легких до серйозних і навіть смерті. З даними центру контролю та профілактики захворювань відомо, що групи людей з ослабленим імунітетом та діти можуть бути в групі ризику зараження зоонозними агентами [13].

Це особливо актуально в контексті зростання кількості мікроорганізмів, які демонструють високу стійкість до антимікробних засобів. У таких випадках небезпеку становлять не лише типові збудники, а й нові резистентні штами, здатні викликати важкі інфекції, що погано піддаються лікуванню [14, 15].

З огляду на це, зростає потреба у глобальному моніторингу та класифікації найбільш небезпечних мікроорганізмів.

У цьому контексті IDSA (товариство фахівців з інфекційних хвороб) виділило групу мікроорганізмів, що отримала абревіатуру «патогени ESKAPE», які здатні «уникати» біоцидної дії антибіотиків і разом представляють нові парадигми в патогенезі, передачі та резистентності [16].

ESKAPE – це абревіатура для групи бактерій, що охоплює, як грампозитивні, так і грамнегативні види, що складаються з *E. faecium*, *S. aureus*, *Klebsiella pneumoniae*, *Acinetobacter baumannii*, *Pseudomonas aeruginosa* та роду *Enterobacter*. Ці бактерії часто є збудниками внутрішньолікарняних інфекцій із високим ризиком летальних наслідків у тяжкохворих пацієнтів і мають потенціал до формування лікарської резистентності [17].

З них більшість ізолятів мають множинну стійкість до антибактеріальних препаратів, можуть довше зберігати життєздатність в умовах клінік, залишаючись джерелом інфекції для сприйнятливих макроорганізмів, що призводить до обмежених можливостей лікування та поганого прогнозу для пацієнтів [17].

Причиною появи бактерій з множинною лікарською стійкістю (МЛС) (бактерій, стійких до більш ніж трьох класів антибіотиків) [18] супроводжується зменшенням обсягів розробки антибіотиків [19, 21].

Завдяки генетичним мутаціям та придбанням мобільних генетичних елементів (MGE) [20], патогени ESKAPE розвинули механізми резистентності до оксазолідинонів, ліпопептидів, макролідів, фторхінолонів, тетрациклінів, β-лактамів, комбінацій інгібіторів β-лактам-β-лактамаз та антибіотиків, які є останньою лінією захисту, включаючи карбапенеми, глікопептиди та клінічно несприятливі поліміксини.

Враховуючи частоту, з якою організми ESKAPE зустрічаються в клінічних умовах, очікувано, що у цих патогенів спостерігається безліч різних механізмів антимікробної резистентності (AMP). Їх можна загалом розділити на чотири групи, що включають інактивацію або зміну антимікробної молекули, модифікації ділянки бактеріальної мішені,

зниження проникнення/накопичення антибіотика та утворення бактеріальних біоплівки [22].

Один з найпоширеніших механізмів антимікробної резистентності (AMP), що використовуються патогенами ESKAPE, включає вироблення ферментів, які незворотно руйнують або нейтралізують антибіотики. Такі ферменти особливо поширені серед грамнегативних патогенів і включають ті, що руйнують активний компонент антибіотика (наприклад, гідролітичне розщеплення β -лактаму кільця β -лактамазами) або ковалентно модифікують ключові структурні елементи препарату, щоб перешкоджати взаємодії бактерій з мішенню (наприклад, ферменти, що модифікують аміноглікозиди (AME), що каталізують модифікацію гідроксильних/аміногруп) [22].

Наразі дослідники приділяють увагу ролі домашніх тварин, як переносників бактерій групи ESKAPE [23]. Міжнародна наукова література висвітлює ризик зоонозної передачі від собаки до людини (і навпаки), що стосується всіх бактерій групи ESKAPE, тому рівень спостереження повинен включати обов'язковий мікробіологічний контроль та суворі правила гігієнічного та поведінкового ведення тварин [22, 23, 24]. Фактично, тісний контакт між людиною та домашніми тваринами визначає ризик зоонозу та створює можливості для міжвидової передачі резистентних бактерій [24]. Деякі з ізолятів, зареєстрованих у ветеринарних закладах, мають схожу клональну лінію з тими, що зареєстровані у людей [25].

У ветеринарній медицині наслідками поширення антимікробної резистентності є зростання кількості випадків відсутності терапевтичного ефекту від проведеного лікування, подовження тривалості курсів лікування тварин, збільшення витрат власників на ветеринарну допомогу, а також підвищення ризику формування резервуарів резистентних мікроорганізмів у популяціях тварин-компаньйонів та сільсько-господарських тварин.

Наслідком для глобального здоров'я є втрата чутливості до антибіотиків останнього покоління, таких, як карбопеніми, ванкоміцин, колістин. Це тягне за собою ризик глобальної пандемії резистентних інфекцій та зростання рівня ускладнень та смертності [26].

Як зазначається в Регламенті (ЄС) 2019/6 [27], явище антимікробної резистентності (AMP) у тварин набагато складніше, ніж у людей, і вимагає ще більш уважного та свідомого використання антибіотиків [28]. Тому в останні роки застосування фармакокінетичного/фармакодинамічного підходу для визначення правильного режиму дозування антибіотиків стало важливим інструментом у ветеринарній медицині, покращуючи результати лікування пацієнтів та обмежуючи відбір резистентних мутантів [29].

Однак, незважаючи на визнану важливість фармакокінетичного/фармакодинамічного підходу та відповідального й обачного використання антибіотиків, все ще існує багато різноманітних аспектів, які залишаються неконтрольованими (наприклад, міжвидові відмінності в кінетиці та динаміці є лише одним із багатьох можливих прикладів) [30].

З огляду на існуючий тісний контакт між людиною та тваринами, незважаючи на видові відмінності, організмами зі схожими біологічними процесами, що вимагає обачного та відповідального застосування антимікробних препаратів. Це вимагає від лікаря ветеринарної медицини бути обізнаним в питаннях фармакокінетики/фармакодинаміки антимікробних препаратів, які можуть оптимізувати режими дозування, навіть у критично хворих пацієнтів [31].

Шляхом подолання та профілактики антибіотикорезистентності у ветеринарній практиці є обмеження необґрунтованого застосування антибіотиків для тварин, контроль за реалізацією препаратів [28] та покращення санітарних умов на фермах і клініках шляхом дезінфекції [32–35].

У 2015 році держави-члени ВООЗ одноголосно схвалили Глобальний план дій щодо боротьби з АРМ (GAP-AMR) [36]. Мета GAP-AMR полягає в тому, щоб «забезпечити якомога довше безперервність успішного лікування та профілактики інфекційних захворювань ефективними та безпечними лікарськими засобами, які мають гарантовану якість, використовуються відповідально та доступні всім, хто їх потребує». 22 жовтня 2015 року ВООЗ запустила глобальну систему спостереження за резистентністю до антимікробних препаратів та їх використанням (GLASS), першу глобальну спільну ініціативу щодо стандартизації спостереження за AMP [37].

Potteth et al. (2022) зазначають, лише заходами, що направлені на обмеження використання антимікробних препаратів не вдасться вирішити проблему розвитку антибіотикорезистентності. Важливим є не лише контроль, а й розробка нових препаратів [21] і альтернативних схем лікування, створення вакцин проти деяких ESKAPE-патогенів.

Висновки

Мета проведеного огляду полягала у систематизації та аналізі сучасних наукових даних щодо причин формування антибіотикорезистентності у ветеринарній медицині, її епізоотологічних та клінічних наслідків, а також визначенні основних напрямів профілактики та контролю поширення резистентних мікроорганізмів у практиці лікування тварин. Отримані узагальнення свідчать про важливість оцінки антимікробної резистентності серед патогенів групи ESKAPE у ветеринарних закладах з метою впровадження програм раціонального використання антибіотиків, обмеження їх необґрунтованого застосування та посилення заходів інфекційного контролю.

Подолання даної проблеми можливе лише завдяки комплексному, міждисциплінарному підходу. Без термінових дій, проблема стійкості може мати негативні наслідки для глобального здоров'я, тому міжнародна співпраця та стандартизація заходів WHO, FAO, OIE, а також підтримка принципів One Health – єдиного підходу до здоров'я людей, тварин та довкілля є невід'ємною складовою, що забезпечить контроль над проблемою розвитку резистентності.

Перспективи подальших досліджень будуть направлені на проведення обов'язкових тестів анти-мікробної чутливості перед призначенням анти-мікробних засобів тваринам, з метою зменшення ризику розвитку резистентності.

Конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів щодо їхнього викладу та результатів досліджень.

References

1. Antimicrobial resistance global report on surveillance : 2014 summary. (2014). *World Health Organization*. Retrieved from: <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-HSE-PED-AIP-2014.2>
2. Antibiotic resistant threats in the United States 2019. (2019). *Centers for Disease Control and Prevention*. Retrieved from: <https://www.cdc.gov/drugresistance/pdf/threats-report/2019-ar-threats-report-508.pdf>
3. Chinemerem Nwobodo, D., Ugwu, M. C., Oliseloke Anie, C., Al-Ouqaili, M. T. S., Chinedu Ikem, J., Victor Chigozie, U., & Saki, M. (2022). Antibiotic resistance: The challenges and some emerging strategies for tackling a global menace. *Journal of Clinical Laboratory Analysis*, 36 (9), e24655. <https://doi.org/10.1002/jcla.24655>
4. Urban-Chmiel, R., Marek, A., Stępień-Pyśniak, D., Wiczorek, K., Dec, M., Nowaczek, A., & Osek, J. (2022). Antibiotic resistance in bacteria – a review. *Antibiotics*, 11 (8), 1079. <https://doi.org/10.3390/antibiotics11081079>
5. Broens, E. M., & van Geijlswijk, I. M. (2018). Prudent use of antimicrobials in exotic animal medicine. *Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice*, 21 (2), 341–353. <https://doi.org/10.1016/j.cvex.2018.01.014>
6. Magnusson, U. (2020). Prudent and effective antimicrobial use in a diverse livestock and consumer's world. *Journal of Animal Science*, 98 (Suppl. 1), S4–S8. <https://doi.org/10.1093/jas/skaa148>
7. Tóth, A. G., Tóth, I., Rózsa, B., Dubecz, A., Patai, Á. V., Németh, T., Kaplan, S., Kovács, E. G., Makrai, L., & Solymosi, N. (2022). Canine saliva as a possible source of antimicrobial resistance genes. *Antibiotics*, 11 (11), 1490. <https://doi.org/10.3390/antibiotics11111490>
8. Manian, F. A. (2003). Asymptomatic Nasal Carriage of mupirocin-resistant, methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) in a pet dog associated with MRSA infection in household contacts. *Clinical Infectious Diseases*, 36 (2), e26–e28. <https://doi.org/10.1086/344772>
9. Guardabassi, L., Loeber, M. E., & Jacobson, A. (2004). Transmission of multiple antimicrobial-resistant *Staphylococcus intermedius* between dogs affected by deep pyoderma and their owners. *Veterinary Microbiology*, 98 (1), 23–27. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2003.09.021>
10. Frank, L. A., Kania, S. A., Kirzeder, E. M., Eberlein, L. C., & Bemis, D. A. (2009). Risk of colonization or gene transfer to owners of dogs with methicillin-resistant *Staphylococcus pseudintermedius*. *Veterinary Dermatology*, 20 (5–6), 496–501. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3164.2009.00826.x>
11. Wolfs, T. F. W., Duim, B., Geelen, S. P. M., Rigter, A., Thomson-Carter, F., Fleer, A., & Wagenaar, J. A. (2001). Neonatal sepsis by *Campylobacter jejuni*: Genetically proven transmission from a household puppy. *Clinical Infectious Diseases*, 32 (5), e97–e99. <https://doi.org/10.1086/319224>
12. Simjee, S., White, D. G., McDermott, P. F., Wagner, D. D., Zervos, M. J., Donabedian, S. M., English, L. L., Hayes, J. R., & Walker, R. D. (2002). Characterization of Tn 1546 in vancomycin-resistant *Enterococcus faecium* isolated from canine urinary tract infections: Evidence of gene exchange between human and animal enterococci. *Journal of Clinical Microbiology*, 40 (12), 4659–4665. <https://doi.org/10.1128/jcm.40.12.4659-4665.2002>
13. Ways to stay healthy around animals. (2025). *Healthy Pets, Healthy People*. Retrieved from: <https://www.cdc.gov/healthy-pets/about/index.html>
14. Categorisation of antibiotics in the European Union. (2019). *European Medicines Agency*. Retrieved from: https://www.ema.europa.eu/en/documents/report/categorisation-antibiotics-european-union-answer-request-european-commission-updating-scientific-advice-impact-public-health-animal-health-use-antibiotics-animals_en.pdf
15. WHO warns of widespread resistance to common antibiotics worldwide. (2025). *World Health Organization*. Retrieved from: <https://www.who.int/news/item/13-10-2025-who-warns-of-widespread-resistance-to-common-antibiotics-worldwide>
16. Rice, L. B. (2008). Federal Funding for the study of antimicrobial resistance in nosocomial pathogens: No ESKAPE. *The Journal of Infectious Diseases*, 197 (8), 1079–1081. <https://doi.org/10.1086/533452>
17. Rice, L. B. (2010). Progress and Challenges in implementing the research on ESKAPE pathogens. *Infection Control & Hospital Epidemiology*, 31 (S1), S7–S10. <https://doi.org/10.1086/655995>
18. Magiorakos, A.-P., Srinivasan, A., Carey, R. B., Carmeli, Y., Falagas, M. E., Giske, C. G., Harbarth, S., Hindler, J. F., Kahlmeter, G., Olsson-Liljequist, B., Paterson, D. L., Rice, L. B., Stelling, J., Struelens, M. J., Vatopoulos, A., Weber, J. T., & Monnet, D. L. (2012). Multidrug-resistant, extensively drug-resistant and pandrug-resistant bacteria: an international expert proposal for interim standard definitions for acquired resistance. *Clinical Microbiology and Infection*, 18 (3), 268–281. <https://doi.org/10.1111/j.1469-0691.2011.03570.x>
19. Sommer, M. O. A., Munck, C., Toft-Kehler, R. V., & Andersson, D. I. (2017). Prediction of antibiotic resistance: time for a new preclinical paradigm? *Nature Reviews Microbiology*, 15 (11), 689–696. <https://doi.org/10.1038/nrmicro.2017.75>
20. Beatson, S. A., & Walker, M. J. (2014). Tracking antibiotic resistance. *Science*, 345 (6203), 1454–1455. <https://doi.org/10.1126/science.1260471>
21. Potteth, U. S., Upadhyay, T., Saini, S., & Saraogi, I. (2021). Novel antibacterial targets in protein biogenesis pathways. *ChemBioChem*, 23 (4), e202100459. <https://doi.org/10.1002/cbic.202100459>
22. De Oliveira, D. M. P., Forde, B. M., Kidd, T. J., Harris, P. N. A., Schembri, M. A., Beatson, S. A., Paterson, D. L., & Walker, M. J. (2020). Antimicrobial Resistance in ESKAPE Pathogens. *Clinical Microbiology Reviews*, 33 (3). <https://doi.org/10.1128/cmr.00181-19>
23. Gwenzi, W., Chaukura, N., Muisa-Zikali, N., Teta, C., Musvuugwa, T., Rzymiski, P., & Abia, A. L. K. (2021). Insects, rodents, and pets as reservoirs, vectors, and sentinels of antimicrobial resistance. *Antibiotics*, 10 (1), 68. <https://doi.org/10.3390/antibiotics10010068>
24. Pomba, C., Rantala, M., Greko, C., Baptiste, K. E., Catry, B., van Duijkeren, E., Mateus, A., Moreno, M. A., Pyörälä, S., Ružauskas, M., Sanders, P., Teale, C., Threlfall, E. J., Kunsagi, Z., Torren-Edo, J., Jukes, H., & Törneke, K. (2016). Public health risk of antimicrobial resistance transfer from companion animals. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 72 (4), 957–968. <https://doi.org/10.1093/jac/dkw481>
25. Santajit, S., & Indrawattana, N. (2016). Mechanisms of antimicrobial resistance in ESKAPE pathogens. *BioMed Research International*, 2016, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2016/24750467>
26. Meade, E., Slaterry, M. A., & Garvey, M. (2024). Antimicrobial resistance profile of zoonotic clinically relevant WHO priority pathogens. *Pathogens*, 13 (11), 1006. <https://doi.org/10.3390/pathogens13111006>
27. Regulation (EU) 2019/6 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on Veterinary Medicinal Products and Repealing Directive 2001/82/EC (Text with EEA Relevance). (2019). *Official Journal of the European Union*, 7.1.2019. Retrieved from: https://www.legislation.gov.uk/eur/2019/6/pdfs/eur_20190006_adop_ted_en.pdf
28. Schmerold, I., van Geijlswijk, I., & Gehring, R. (2023). European regulations on the use of antibiotics in veterinary medicine. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 189, 106473. <https://doi.org/10.1016/j.ejps.2023.106473>

29. Ahmad, I., Huang, L., Hao, H., Sanders, P., & Yuan, Z. (2016). Application of PK/PD modeling in veterinary field: Dose optimization and drug resistance prediction. *BioMed Research International*, 2016, 1–12. <https://doi.org/10.1155/2016/5465678>
30. Luo, W., Chen, D., Wu, M., Li, Z., Tao, Y., Liu, Q., Pan, Y., Qu, W., Yuan, Z., & Xie, S. (2019). Pharmacokinetics / Pharmacodynamics models of veterinary antimicrobial agents. *Journal of Veterinary Science*, 20 (5). <https://doi.org/10.4142/jvs.2019.20.e40>
31. Toutain, P., Pelligand, L., Lees, P., Bousquet-Mélou, A., Ferran, A. A., & Turnidge, J. D. (2020). The pharmacokinetic / pharmacodynamic paradigm for antimicrobial drugs in veterinary medicine: Recent advances and critical appraisal. *Journal of Veterinary Pharmacology and Therapeutics*, 44 (2), 172–200. Portico. <https://doi.org/10.1111/jvp.12917>
32. Melekwe, G. O., Uwagie-Ero, E. A., Zoaka, H. A., & Odigie, E. A. (2018). Comparative clinical effectiveness of preoperative skin antiseptic preparations of chlorhexidine gluconate and povidone iodine for preventing surgical site infections in dogs. *International Journal of Veterinary Science and Medicine*, 6 (1), 113–116. <https://doi.org/10.1016/j.ijvsm.2018.03.005>
33. Chernai, D. S., & Rublenko, S. V. (2025). Microbial contamination of air and surfaces in veterinary clinics: contamination level and species composition of isolates. *Scientific and Technical Bulletin of State Scientific Research Control Institute of Veterinary Medical Products and Fodder Additives and Institute of Animal Biology*, 26 (2), 341–346. <https://doi.org/10.36359/scivp.2025-26-2.36>
34. Sebola, D. C., Oguttu, J. W., Kock, M. M., & Qekwana, D. N. (2023). Hospital-acquired and zoonotic bacteria from a veterinary hospital and their associated antimicrobial-susceptibility profiles: A systematic review. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 1087052. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.1087052>
35. Dancer, S. J. (2009). The role of environmental cleaning in the control of hospital-acquired infection. *Journal of Hospital Infection*, 73 (4), 378–385. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2009.03.030>
36. Gehring, R., Mochel, J. P., & Schmerold, I. (2023). Understanding the background and clinical significance of the WHO, WOAH, and EMA classifications of antimicrobials to mitigate antimicrobial resistance. *Frontiers in Veterinary Science*, 10, 1153048. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1153048>
37. Global Antimicrobial Resistance and Use Surveillance System (GLASS). (n.d.). *World Health Organization*. Retrieved from: <https://www.who.int/initiatives/glass>

ORCID

S. Rublenko 
D. Chernai 

<https://orcid.org/0000-0003-0678-5497>

<https://orcid.org/0009-0005-6232-1330>



2025 by the author(s). This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.