

Modern methods of visualization in the study and diagnostics of animal mammary glands diseases

T. Kot  | S. Huralska | I. Sokulskiy | S. Zaika | Yu. Kovalchuk | G. Gryshchuk | L. Yevtukh

Article info

Correspondence Author

T. Kot

E-mail:

tkotvet@ukr.netPolissia National University,
Saryi Blvd., 7, Zhytomyr,
10008, Ukraine

Citation: Kot, T., Huralska, S., Sokulskiy, I., Zaika, S., Kovalchuk, Yu., Gryshchuk, G., & Yevtukh, L. (2025). Modern methods of visualization in the study and diagnostics of animal mammary glands diseases. *Scientific Progress & Innovations*, 28(3), 239–244. doi: 10.31210/spi2025.28.03.36

The purpose of the article is to analyze modern visualization methods used to diagnose mammary glands diseases in animals of various species, as well as to assess the methods' advantages, limitations and prospects for use. Mammary glands diseases in animals are one of the most pressing problems of veterinary medicine and livestock farming. Mastitis remains the most wide spread pathology, which is mainly registered in cows, goats and sheep, negatively affecting the productivity, animal welfare and economic indicators of the dairy industry. Another significant group of pathologies are breast neoplasms, which are especially well studied in dogs and cats. Timely detection of mastitis and tumors is crucial for the effective treatment and prevention of complications. Electronic literature search has been conducted in the Web of Science, Scopus, PubMed and Google Scholar databases over the recent 20 years following the principles of objectivity and system analysis. The possibilities of ultrasound diagnostics, radiography, computer and magnetic resonance imaging, as well as the latest technologies, in particular elastography and contrast-enhanced ultrasonography were considered in the article. It was found that among farm animals, the most common is ultrasound examination of the mammary glands, which is characterized by mobility, rapid obtaining of results in real time and the absence of the need for anesthesia. This method is effectively used to detect subclinical mastitis, monitor the course of the disease, and determine the optimal time to start therapy. The final diagnosis is confirmed by microbiological examination of milk. Other visualization techniques, such as radiography, computered and magnetic resonance imaging are used less frequently, mainly to assess normal anatomy or in studies aimed at comparing it with diagnostic methods in humans. In small animals, mammary glands neoplasms are diagnosed using ultrasound, radiography and computered imaging, followed by histo-pathological verification. Doppler imaging, contrast-enhanced ultrasonography, and elastography are used to differentiate non-malignant and malignant tumors. Of particular importance is the visualization of lymph nodes and detection of metastases using elastographic methods. Magnetic resonance and positron emission imaging are considered promising areas, however their widespread introduction into the clinical practice is limited by a high cost of equipment.

Keywords: animal mammary glands, veterinary diagnostics, pathology, mastitis, milk, tumors, animal welfare.

Сучасні методи візуалізації у вивченні та діагностиці захворювань молочних залоз тварин

Т. Ф. Кот | С. В. Гуральська | І. М. Сокульський | С. С. Заїка | Ю. В. Ковальчук | Г. П. Грищук | Л. Г. Євтух

Поліський національний
університет,
м. Житомир, Україна

Метою статті є аналіз сучасних методів візуалізації, що застосовуються для діагностики захворювань молочних залоз у тварин різних видів, а також оцінка їхніх переваг, обмежень і перспектив використання. Захворювання молочних залоз у тварин є однією з актуальних проблем ветеринарної медицини та тваринництва. Найпоширенішою патологією залишається мастит, який переважно реєструється у корів, кіз та овець, негативно впливаючи на продуктивність, благополуччя тварин і економічні показники молочної галузі. Іншу значну групу патологій складають новоутворення молочних залоз, що особливо добре вивчені у собак і котів. Своєчасне виявлення маститу та пухлин має вирішальне значення для ефективного лікування та запобігання ускладненням. Електронний пошук літератури проведено в базах даних Web of Science, Scopus, PubMed і Google Scholar за останні 20 років із дотриманням принципів об'єктивності та системного аналізу. У статті розглянуто можливості ультразвукової діагностики, рентгенографії, комп'ютерної та магнітно-резонансної томографії, а також новітніх технологій, зокрема еластографії та контрастно-підсиленої ультразвукової діагностики. Встановлено, що у сільськогосподарських тварин найпоширенішим є ультразвукове дослідження молочних залоз, яке відзначається мобільністю, швидким отриманням результатів у режимі реального часу та відсутністю потреби в анестезії. Цей метод ефективно використовується для виявлення субклінічного маститу, моніторингу перебігу захворювання та визначення оптимального часу початку терапії. Остаточна діагностика підтверджується шляхом мікробіологічного дослідження молока. Інші методи візуалізації, зокрема рентгенографія, комп'ютерна та магнітно-резонансна томографія, використовуються рідше, переважно для оцінки нормальної анатомії або в дослідженнях, орієнтованих на порівняння з методами діагностики у людей. У дрібних тварин новоутворення молочних залоз діагностують за допомогою ультразвуку, рентгенографії та комп'ютерної томографії з подальшою гістопатологічною верифікацією. Для диференціації доброякісних і злоякісних пухлин застосовуються доплерографія, контрастно-підсилена ультразвукова діагностика та еластографія. Особливе значення має візуалізація лімфатичних вузлів і виявлення метастазів з використанням еластографічних методів. Магнітно-резонансна та позитронно-емісійна томографія розглядаються як перспективні напрями, однак їх широке впровадження в клінічну практику обмежується високою вартістю обладнання.

Ключові слова: молочні залози тварин, ветеринарна діагностика, патологія, мастит, молоко, пухлини, благополуччя тварин.

Бібліографічний опис для цитування: Кот Т. Ф., Гуральська С. В., Сокульський І. М., Заїка С. С., Ковальчук Ю. В., Грищук Г. П., Євтух Л. Г. Сучасні методи візуалізації у вивченні та діагностиці захворювань молочних залоз тварин. *Scientific Progress & Innovations*. 2025. № 28 (3). С. 239–244.

Молочні залози є органом-мішенню для гормонів – пролактину, естрогену та прогестерону, що синтезуються в гіпоталамусі, гіпофізі, щитоподібній залозі, яєчниках [27, 29]. Її стан слугує важливим індикатором загального гормонального здоров'я жінки та потребує постійного медичного нагляду через високу частоту патологій, зокрема мастопатій і злоякісних новоутворень. У ветеринарній медицині найпоширенішими захворюваннями молочних залоз є мастит у корів, кіз та овець [28, 37, 47], а також пухлини молочних залоз у собак і котів [19, 44, 51]. Своєчасне виявлення симптомів та призначення адекватної терапії є критично важливими для одужання і збереження функціональності молочних залоз [23, 38]. Оцінка анатомічних особливостей, структури та фізіологічних процесів у молочних залозах можлива завдяки використанню сучасних методів візуалізації. Основні методи, що застосовуються у ветеринарній практиці, включають комп'ютерну томографію, позитронно-емісійну томографію, магнітно-резонансну томографію, а також різні ультразвукові технології, зокрема В-режимну ультрасонографію, доплерографію, контрастно-підсилену ультрасонографію, тривимірну ультрасонографію та еластографію [14, 17, 38, 45]. Комп'ютерна томографія та магнітно-резонансна томографія надають переважно структурну інформацію, тоді як позитронно-емісійна томографія дозволяє оцінити функціональні характеристики тканин і органів. Комбіноване застосування позитронно-емісійної томографії і комп'ютерної томографії забезпечує поєднання функціональної та анатомічної інформації, що підвищує точність діагностики [3]. Доплерографія, контрастна ультрасонографія, 3D-ультразвук та еластографія є неінвазивними, швидкими та доступними методами, які дають змогу оперативно виявляти патології молочної залози. Водночас, між цими методами існують відмінності у діагностичній чутливості та специфічності [14].

В охороні здоров'я людини існують чітко регламентовані протоколи діагностичної візуалізації для оцінки стану молочних залоз [21]. Проте у ветеринарній медицині подібні протоколи поки що не розроблені. На сьогодні запропоновано лише окремий алгоритм для оцінки лімфатичних вузлів у собак із пухлинами молочних залоз [49].

Для проведення літературного аналізу було здійснено електронний пошук наукових публікацій у базах даних Web of Science, Scopus, PubMed та Google Scholar. За пошуку використовували такі ключові терміни: «молочна залоза», «мастит», «пухлини», «тварини», «комп'ютерна томографія», «контрастування», «доплерографія», «магнітно-резонансна томографія», «позитронно-емісійна томографія», «ультразвукове дослідження», «тривимірне дослідження», «еластографія». Пошукова стратегія передбачала використання різних комбінацій зазначених термінів. З метою забезпечення актуальності аналізу було враховано лише наукові роботи, опубліковані українською та англійською мовами впродовж останніх 20 років. Дослідження проводилося з дотриманням принципів об'єктивності та

системного підходу до вивчення проблеми застосування методів візуалізації у дослідженні та діагностиці захворювань молочних залоз тварин.

Комп'ютерна томографія – сучасний метод візуалізації з високою просторовою роздільною здатністю та помірною контрастністю тканин. Рентгєнівське джерело обертається навколо тіла тварини, формуючи серію знімків для побудови тривимірного зображення. Промені проходять крізь тканини та послаблюються залежно від їхньої щільності. У ветеринарії дослідження проводять під наркозом, часто використовуючи модифіковане обладнання для людей [3, 25]. У спеціальній літературі є дані про комп'ютерно-томографічну візуалізацію у великої рогатої худоби з метою оцінки розвитку молочної залози телиць як засобу прогнозування виробництва молока [38]. Щодо домашніх тварин, комп'ютерна томографія використовують для діагностики пухлин молочної залози сук за рахунок високої чутливості у виявленні потенційних метастазів [8, 26, 38]. Перевагами комп'ютерної томографії є висока просторова роздільна здатність і точність отриманих зображень, а до недоліків цієї методики належать низька контрастність м'яких тканин, використання іонізуючого випромінювання, обмежена доступність обладнання та висока вартість [2, 3].

Позитронно-емісійна томографія – це відносно новий метод візуалізації, який застосовується переважно у домашніх тварин і може надати інформацію про функціональні процеси організму в трьох вимірах. Для цього обстеження необхідне внутрішньовенне введення радіоактивно мічених трасерів, тоді як специфічні трасери позитронно-емісійної томографії наразі використовуються для оцінки специфічних метаболічних процесів, наприклад, метаболізму глюкози, використання кисню або об'єму крові [45]. У сільськогосподарських тварин позитронно-емісійну томографію не застосовували в діагностиці. Проте у домашніх тварин цей метод використовують для дослідження пухлин молочної залози [45]. Sánchez et al. (2019) стандартизували максимальне значення поглинання глюкози та співвіднесли його з розміром пухлин. Вони встановили, що мінімальний розмір пухлини, необхідний для виявлення злоякісних уражень за цим показником, становить 1,5 см. При цьому значення поглинання глюкози понад 2 забезпечувало 100 % чутливість щодо злоякісності. Однак кореляції між максимальним значенням поглинання глюкози та гістологічним підтипом або ступенем злоякісності не виявлено [45]. До недоліків позитронно-емісійної томографії належать обмежена анатомічна інформація, низька чутливість дорогого обладнання, обмежена доступність обладнання та необхідність використання радіоактивних трасерів [3].

Магнітно-резонансна томографія забезпечує детальні зображення з кращим контрастом м'яких тканин порівняно з комп'ютерною томографією. Принцип методу полягає у використанні потужного

магнітного поля для вирівнювання ядерної намагніченості атомів водню, присутніх у тканині тіла досліджуваної тварини [3, 32, 42]. Під час обстеження тварини повинні перебувати під анестезією, що полегшує маніпуляції та скорочує тривалість процедури. Перед дослідженням молочні залози необхідно видалити, особливо у жуйних, щоб уникнути компресії та отримати чітку візуалізацію паренхіми. У домашніх тварин методика виконується відповідно до принципів маммографії людини [17]. У домашніх тварин для оцінки морфологічних характеристик пухлин (розміру, форми та структури тканин) молочної залози собак застосовують статичну магнітно-резонансну томографію, тоді як динамічна магнітно-резонансна томографія з контрастним підсиленням дає можливість дослідити фізіологічні властивості пухлин [17]. Переваги магнітно-резонансної томографії включають високу просторову роздільну здатність (до 1 мм), відмінний контраст м'яких тканин та відсутність потреби у використанні рентгенівського випромінювання або радіоактивних трасерів [3]. За даними Aristokli et al. (2022), магнітно-резонансна томографія забезпечує високу чутливість (94,6 %) та специфічність (74,2 %) у діагностиці раку молочної залози порівняно з ультразвуковим дослідженням і маммографією [4]. Серед недоліків методу – висока вартість обладнання та обмежена його доступність [3].

Ультразвукова доплерографія застосовується для оцінки кровотоку в молочній залозі, зокрема визначення характеру та швидкості руху крові й виявлення можливих патологій. Метод ґрунтується на ефекті Доплера – зміні частоти ультразвукових хвиль, що відбиваються від рухомих об'єктів, таких як еритроцити [24]. Як зазначено у [40], під час оцінки васкуляризації за допомогою спектрального доплера важливу роль відіграють налаштування обладнання. Зокрема, кут між доплерівським променем і довгою віссю судини («кут Доплера») не повинен перевищувати 60°; коефіцієнт посилення кольору слід налаштувати так, щоб колір відображався лише всередині судини; частоту повторення імпульсів необхідно оптимізувати для запобігання «феномену накладання». Характеристика картини кровотоку (ламінальний чи турбулентний потік, високий чи низький опір) є важливими показниками для діагностики патології молочних залоз. Аналіз кровотоку також може застосовуватися для оцінки ефективності протисудинної терапії [1]. Щодо неоплазії молочних залоз, доплерівське дослідження використовують для кількісної оцінки перфузії паренхіми та васкуляризації неопластичних тканин, а також для диференціації злоякісних і доброякісних уражень [10].

Під час ультразвукової доплерографії сільськогосподарських тварин фіксують у положенні стоячи. Тварин-компаньйонів укладають на бік. Седация зазвичай не потрібна [17, 40]. У спеціальній літературі є дані про моніторинг і оцінку кровотоку молочної залози проводили у здорових лактуючих та сухостійних корів, телиць, вівцематок та кіз [7, 48]. Щодо патологій, повідомляється про застосування

доплерівського ультразвукового дослідження молочної залози у кіз та овець при маститі [7, 46]. Доплерографія надмолочних лімфатичних вузлів може надати важливу інформацію щодо інфекцій у корів [43]. Використання цього методу для діагностики та контролю маститу у собак описано Valaci et al. (2015) [5] і Träsch et al. (2007) [50], які застосовували доплерографію для оцінки ефективності протоколів лікування. Згідно з даними [14, 15, 35, 48], доплерівське ультразвукове дослідження може допомогти у прогнозуванні злоякісності пухлин молочної залози собак, хоча його чутливість і специфічність залишаються помірними.

Перевагами доплерівської ультрасонографії є можливість отримання інформації про васкуляризацію та гемодинаміку кровотоку молочної залози в режимі реального часу, а також доступна вартість обладнання. До недоліків належить обмежена здатність виявляти дрібні ураження або мікрокальцифікати, що може зумовлювати хибно-негативні результати при діагностиці пухлин у домашніх тварин [39, 40].

Контрастно-підсилене ультразвукове дослідження є сучасним методом візуалізації, який останніми роками активно впроваджується для оцінки пухлин молочних залоз у людей і тварин [34, 36]. Для його проведення ультразвукове обладнання повинно бути оснащено спеціалізованим програмним забезпеченням, яке дозволяє здійснювати візуалізацію з використанням вторинних гармонік та інверсного імпульсу. Обов'язковим компонентом процедури є введення контрастної речовини. Як контрастний агент застосовуються мікробульбашки, які повинні відповідати певним критеріям: бути стабільними, стійкими до зовнішнього тиску, а також забезпечувати мінімальну розчинність і низьку дифузію газу в кров [36]. Сучасні мікробульбашки мають малий діаметр (1–10 мкм), вкриті білковою, ліпідною або полімерною оболонкою і заповнені інертним, відносно нерозчинним газом [14, 35]. Контрастну речовину вводять внутрішньовенно через яремну вену [36, 52].

Контрастно-підсилене ультразвукове дослідження використовується в медицині для прогнозування характеру уражень молочних залоз, що дає змогу зменшити кількість біопсій, необхідних для встановлення діагнозу [21, 31]. Дослідження, проведені на сільськогосподарських тваринах, показали, що знижена перфузія контрастної речовини в паренхіму молочної залози овець корелює зі зменшенням об'єму функціональної тканини при хронічних ураженнях залози [36]. У дрібних домашніх тварин цей метод досліджено на прикладі молочних залоз і пахвинних лімфатичних вузлів здорових собак на різних стадіях естрального циклу [52], а також у собак із пухлинами молочних залоз [49]. Крім того, контрастну речовину вводили черезшкірно безпосередньо в тканину молочної залози собак з метою моделювання патологічного процесу [18].

До переваг контрастно-підсиленого ультразвукового дослідження належить можливість

візуалізації процесу ангіогенезу та оцінки кровотоку у функціональних судинах [30], що є важливою складовою при дослідженні пухлин молочних залоз. Серед недоліків методу – обмежена здатність до виявлення дрібних уражень і низька специфічність, яка становить лише 16,7 % [14].

Тривимірна (3D) ультрасонографія – це відносно новий метод візуалізації, який наразі має обмежене застосування у ветеринарній практиці для дослідження молочних залоз тварин [16, 22]. Водночас у медицині людини він широко використовується, зокрема під час біопсії молочних залоз або для анатомічного контролю під час хірургічного втручання з видалення новоутворень [53]. Для проведення цього дослідження використовується «об'ємний перетворювач» – сучасний датчик із вбудованим механічним приводом, системою позиціонування та механізмом автоматичного сканування. Під час процедури перетворювач залишається нерухомим, тоді як активні елементи датчика автоматично здійснюють сканування в межах визначеної оператором об'ємної області інтересу.

Головною перевагою тривимірної ультрасонографії є підвищена точність у диференціації доброякісних і злоякісних новоутворень у порівнянні з двовимірним методом (2D), що зумовлено отриманням розширеної морфологічної інформації про судинне русло [9]. До недоліків слід віднести високу вартість обладнання та потребу у спеціальній підготовці персоналу для коректного використання методики [22].

Еластографія – це ультразвуковий метод, який застосовується для оцінки еластичності та жорсткості тканин. Відомо, що еластичність тканин, навіть у межах одного органа, може змінюватися залежно від фізіологічного стану або наявності патологічного процесу. Ці зміни можна візуалізувати завдяки спеціальному програмному забезпеченню, інтегрованому в сучасні ультразвукові системи [33].

Під час дослідження спочатку фіксуються оцифровані радіочастотні ехо-сигнали від тканини у її природному стані – без прикладання зовнішнього тиску. Далі на тканину вздовж осі випромінювання спрямовується контрольована компресія за допомогою ультразвукового перетворювача, після чого фіксується другий сигнал. Отримані до- та після-компресійні ехо-лінії обробляються системою, внаслідок чого формується еластограма – графічне зображення розподілу жорсткості тканини [20]. В еластографії реального часу жорсткість тканин відображається у кольоровій шкалі: сині ділянки відповідають м'яким, більш еластичним тканинам, тоді як червоні – більш жорстким, зниженої еластичності [14].

У ветеринарній практиці метод акустичної променевої імпульсної візуалізації найчастіше застосовується для оцінки пухлин молочних залоз у собак і котів [12, 13, 14]. У дослідженні Feliciano et al. [13] результати еластографії порівнювали з гістопатологічною класифікацією карцином за типом та ступенем

злаякісності. Було встановлено, що метод із помірною точністю дозволяє ідентифікувати карциноми II та III ступеня. Водночас чутливість методу недостатня для точного розрізнення складних і специфічних гістологічних типів новоутворень [13, 20]. Попри певні обмеження, еластографія вважається перспективним інструментом у ветеринарній онкології, зокрема як допоміжний метод для оцінки потенційної злаякісності пухлин молочних залоз у собак [14, 41]. Проте в багатьох випадках біопсія залишається необхідним етапом остаточної діагностики [6].

Висновки

Метою проведеного огляду було здійснення аналізу сучасних методів візуалізації, що застосовуються для діагностики захворювань молочних залоз у тварин різних видів, а також надання оцінки їхніх переваг, обмежень і перспектив використання.

Сучасні методи візуалізації, які характеризуються високою точністю, інформативністю та мінімальною інвазивністю, відіграють ключову роль у поглибленому вивченні морфофункціонального стану молочних залоз тварин, що, значно підвищує ефективність ранньої діагностики, моніторингу патологічних змін і вибору оптимальних підходів до лікування та профілактики захворювань.

За маститу в сільськогосподарських тварин ультразвукове дослідження із застосуванням доплерографії, контрастно-підсиленої ультрасонографії або еластографії може бути використане як первинний метод діагностики клінічних і субклінічних форм захворювання, а також для визначення подальшої терапевтичної тактики, але остаточне підтвердження діагнозу вимагає проведення бактеріологічного аналізу зразків молока. Натомість за пухлин молочних залоз у дрібних домашніх тварин доцільним є комбінування методів візуалізації. На початковому етапі здійснюється оцінка поширеності новоутворення, ступеня його васкуляризації та структурних характеристик за допомогою доплерографії. Надалі для отримання детальної анатомічної інформації можуть бути використані комп'ютерна або магнітно-резонансна томографія, а для оцінки метаболічної активності тканин – позитронно-емісійна томографія. Остаточний діагноз встановлюється на основі біопсії з подальшим гістопатологічним аналізом, бажано під контролем ультразвукового дослідження при дрібних або непальпованих утвореннях.

Перспективи подальших досліджень полягатимуть у розробці стандартів для інтерпретації результатів візуалізації у ветеринарній практиці, що підвищить точність діагностики і дозволить проводити раннє виявлення змін на доклінічному етапі.

Конфлікт інтересів

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

References

1. Abma, E., Stock, E., De Spiegelaere, W., Van Brantegem, L., Vanderperren, K., Ni, Y., Vynck, M., Daminet, S., De Clercq, K., & de Rooster, H. (2019). Power Doppler ultrasound and contrast-enhanced ultrasound demonstrate non-invasive tumour vascular response to anti-vascular therapy in canine cancer patients. *Scientific Reports*, 9 (1), 9262. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45682-2>
2. Akers, R. M. (2017). A 100-Year Review: Mammary development and lactation. *Journal of Dairy Science*, 100 (12), 10332–10352. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12983>
3. Olsen Alstrup, A. K., & Winterdahl, M. (2009). Imaging techniques in large animals. *Scandinavian Journal of Laboratory Animal Science*, 36 (1), 55–66.
4. Aristokli, N., Polycarpou, I., Themistocleous, S. C., Sophocleous, D., & Mamais, I. (2022). Comparison of the diagnostic performance of Magnetic Resonance Imaging (MRI), ultrasound and mammography for detection of breast cancer based on tumor type, breast density and patient's history: A review. *Radiography*, 28 (3), 848–856. <https://doi.org/10.1016/j.radi.2022.01.006>
5. Balaci, I. M., Ciupe, S., Pop, A. R., Parlapan, L., Arion, A., Vasiu, I., Purdoui, R., Papuc, I., & Groza, I. S. (2015). Ultrasonographic findings of mastitic and normal mammary gland in bitches. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Veterinary Medicine*, 72 (1), 110–116. <https://doi.org/10.15835/buasvmcn-vm:11018>
6. Balleyguier, C., Ciolovan, L., Ammari, S., Canale, S., Sethom, S., Al Rouhbane, R., Vielh, P., & Dromain, C. (2013). Breast elastography: The technical process and its applications. *Diagnostic and Interventional Imaging*, 94 (5), 503–513. <https://doi.org/10.1016/j.diii.2013.02.006>
7. Barbogianni, M. S., Mavroggianni, V. S., Vasileiou, N. G. C., Fthenakis, G. C., & Petridis, I. G. (2017). Ultrasonographic examination of the udder in sheep. *Small Ruminant Research*, 152, 86–99. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2016.12.009>
8. Boone, J. M., Kwan, A. L. C., Yang, K., Burkett, G. W., Lindfors, K. K., & Nelson, T. R. (2006). Computed tomography for imaging the breast. *Journal of Mammary Gland Biology and Neoplasia*, 11 (2), 103–111. <https://doi.org/10.1007/s10911-006-9017-1>
9. Chen, D.-R., & Lai, H.-W. (2011). Three-dimensional ultrasonography for breast malignancy detection. *Expert Opinion on Medical Diagnostics*, 5 (3), 253–261. <https://doi.org/10.1517/17530059.2011.561314>
10. Dziecioł, M., Scholbach, T., Stafczyk, E., Ostrowska, J., Kinda, W., Woźniak, M., Atamaniuk, W., Skrzypczak, P., Nizański, W., Wiczorek, A., Scholbach, J., & Kielbowicz, Z. (2014). Dynamic tissue perfusion measurement in the reproductive organs of the female and male dogs. *Bulletin of the Veterinary Institute in Pulawy*, 58 (1), 149–155. <https://doi.org/10.2478/bvip-2014-0023>
11. Esselburn, K. M., Hill, T. M., Bateman, H. G., Fluharty, F. L., Moeller, S. J., O'Diam, K. M., & Daniels, K. M. (2015). Examination of weekly mammary parenchymal area by ultrasound, mammary mass, and composition in Holstein heifers reared on 1 of 3 diets from birth to 2 months of age. *Journal of Dairy Science*, 98 (8), 5280–5293. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-9061>
12. Feliciano, M. A. R., Maronezi, M. C., Brito, M. B. S., Simões, A. P. R., Maciel, G. S., Castanheira, T. L. L., Garrido, E., Uscategui, R. R., Miceli, N. G., & Vicente, W. R. R. (2015). Doppler and Elastography as complementary diagnostic methods for mammary neoplasms in female cats. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 67 (3), 935–939. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-8114>
13. Feliciano, M. A. R., Ramirez, R. A. U., Maronezi, M. C., Maciel, G. S., Avante, M. L., Senhorello, I. L. S., Mucédola, T., Gasser, B., Carvalho, C. F., & Vicente, W. R. R. (2018). Accuracy of four ultrasonography techniques in predicting histopathological classification of canine mammary carcinomas. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 59(4), 444–452. <https://doi.org/10.1111/vru.12606>
14. Feliciano, M. A. R., Uscategui, R. A. R., Maronezi, M. C., Simões, A. P. R., Silva, P., Gasser, B., Pavan, L., Carvalho, C. F., Canola, J. C., & Vicente, W. R. R. (2017). Ultrasonography methods for predicting malignancy in canine mammary tumors. *PLOS ONE*, 12 (5), e0178143. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178143>
15. Feliciano, M. A. R., Vicente, W. R. R., & Silva, M. A. M. (2012). Conventional and Doppler ultrasound for the differentiation of benign and malignant canine mammary tumours. *Journal of Small Animal Practice*, 53 (6), 332–337. <https://doi.org/10.1111/j.1748-5827.2012.01227.x>
16. Flöck, M., & Winter, P. (2006). Diagnostic ultrasonography in cattle with diseases of the mammary gland. *The Veterinary Journal*, 171 (2), 314–321. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2004.11.002>
17. Garamvölgyi, R., Petrás, Z., Hevesi, A., Jakab, C., Vajda, Z., Bogner, P., & Repa, I. (2006). Magnetic resonance imaging technique for the examination of canine mammary tumours. *Acta veterinaria Hungarica*, 54 (2), 143–159.
18. Gelb, H. R., Freeman, L. J., Rohleder, J. J., & Snyder, P. W. (2010). Feasibility of contrast-enhanced ultrasound-guided biopsy of sentinel lymph nodes in dogs. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 51 (6), 628–633. <https://doi.org/10.1111/j.1740-8261.2010.01712.x>
19. Giménez, F., Hecht, S., Craig, L. E., & Legendre, A. M. (2010). Early detection, aggressive therapy. *Journal of Feline Medicine and Surgery*, 12 (3), 214–224. <https://doi.org/10.1016/j.jfms.2010.01.004>
20. Glińska-Suchocka, K., Jankowski, M., Kubiak, K., Spuzak, J., & Nicpon, J. (2013). Application of shear wave elastography in the diagnosis of mammary gland neoplasm in dogs. *Polish Journal of Veterinary Sciences*, 16 (3), 477–482. <https://doi.org/10.2478/pjvs-2013-0066>
21. Grover, H., Grover, S. B., Goyal, P., Hegde, R., Gupta, S., Malhotra, S., Li, S., & Gupta, N. (2021). Clinical and imaging features of idiopathic granulomatous mastitis - The diagnostic challenges and a brief review. *Clinical Imaging*, 69, 126–132. <https://doi.org/10.1016/j.clinimag.2020.06.022>
22. Hildebrandt, T., Drews, B., Kurz, J., Hermes, R., Yang, S., & Göritz, F. (2009). Pregnancy monitoring in dogs and cats using 3D and 4D ultrasonography. *Reproduction in Domestic Animals*, 44 (s2), 125–128. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2009.01429.x>
23. Hussein, H. A., EL-Khabaz, K. A. S., & Malek, S. S. (2015). Is udder ultrasonography a diagnostic tool for subclinical mastitis in sheep? *Small Ruminant Research*, 129, 121–128. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2015.05.010>
24. Jesinger, R. A., Lattin, G. E., Ballard, E. A., Zelasko, S. M., & Glassman, L. M. (2011). Vascular abnormalities of the breast: Arterial and venous disorders, vascular masses, and mimic lesions with radiologic-pathologic correlation. *RadioGraphics*, 31 (7), E117–E136. <https://doi.org/10.1148/rg.317115503>
25. Keane, M., Paul, E., Sturrock, C. J., Rauch, C., & Rutland, C. S. (2017). Computed tomography in veterinary medicine: currently published and tomorrow's vision. *Computed Tomography - Advanced Applications*, 271–283. <https://doi.org/10.5772/intechopen.68556>
26. Kim, S., Kwon, K., Choi, H., & Lee, Y. (2017). Evaluation of mammary gland calcification in dogs: Radiography and computed tomography. *Journal of Animal Reproduction and Biotechnology*, 32 (3), 183–192. <https://doi.org/10.12750/jet.2017.32.3.183>
27. Kot, T., Dubovyi, A., & Liakhovchuk, Y. (2024). Features of mammary gland morphology in domestic carnivores. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies*, 26 (114), 10–15. <https://doi.org/10.32718/nvvet11402>
28. Kot, T. F., Huralska, S. V., & Zaika, S. S. (2023). *Morfologhiia yaiechnykh koriv na riznykh stadiakh statevoho tsykladu*. Druk-Buk [in Ukrainian]
29. Kot, T. F., Zhytova, O. P., & Huralska, S. V. (2019). *Osoblyvosti anatomii miasoidnykh tvaryn*. Druk-Buk [in Ukrainian]
30. Lamuraglia, M., Bridal, S. L., Santin, M., Izzi, G., Rixe, O., Paradiso, A., & Lucidarme, O. (2010). Clinical relevance of contrast-enhanced ultrasound in monitoring anti-angiogenic therapy of cancer: Current status and perspectives. *Critical Reviews in Oncology/Hematology*, 73 (3), 202–212. <https://doi.org/10.1016/j.critrevonc.2009.06.001>
31. Lee, S. C., Tchelepi, H., Grant, E., Desai, B., Luo, C., Groshen, S., & Hovanessian-Larsen, L. (2018). Contrast-enhanced ultrasound imaging of breast masses: Adjunct tool to decrease the number of false-positive biopsy results. *Journal of Ultrasound in Medicine*, 38 (9), 2259–2273. <https://doi.org/10.1002/jum.14917>
32. Lepori, D. (2015). Inflammatory breast disease: The radiologist's role. *Diagnostic and Interventional Imaging*, 96 (10), 1045–1064. <https://doi.org/10.1016/j.diii.2015.07.006>

33. Li, Y., & Snedeker, J. . (2010). Elastography: modality-specific approaches, clinical applications, and research horizons. *Skeletal Radiology*, 40 (4), 389–397. <https://doi.org/10.1007/s00256-010-0918-0>
34. Liu, H., Jiang, Y.-X., Liu, J.-B., Zhu, Q.-L., & Sun, Q. (2008). Evaluation of breast lesions with contrast-enhanced ultrasound using the microvascular imaging technique: Initial observations. *The Breast*, 17 (5), 532–539. <https://doi.org/10.1016/j.breast.2008.04.004>
35. Mantziaras, G., & Luvoni, G. C. (2020). Advanced ultrasound techniques in small animal reproduction imaging. *Reproduction in Domestic Animals*, 55 (S2), 17–25. <https://doi.org/10.1111/rda.13587>
36. Mantziaras, G., Vasileiou, N. G., Ioannidi, K. S., Mavrogianni, V. S., Gougoulis, D. A., Fthenakis, G. C., Petridis, I. G., & Barbagianni, M. S. (2018). Use of contrast-enhanced ultrasonographic examination to evaluate health status of mammary glands of ewes at the end of a lactation period. *Journal of Dairy Research*, 85 (1), 39–43. <https://doi.org/10.1017/s002202991800002x>
37. Mørk, T., Waage, S., Tollersrud, T., Kvitile, B., & Sviland, S. (2007). Clinical mastitis in ewes; bacteriology, epidemiology and clinical features. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 49 (1). <https://doi.org/10.1186/1751-0147-49-23>
38. Otoni, C. C., Rahal, S. C., Vulcano, L. C., Ribeiro, S. M., Hette, K., Giordano, T., Doiche, D. P., & Amorim, R. L. (2010). Survey radiography and computerized tomography imaging of the thorax in female dogs with mammary tumors. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 52 (1). <https://doi.org/10.1186/1751-0147-52-20>
39. Park, A. Y., & Seo, B. K. (2018). Up-to-date Doppler techniques for breast tumor vascularity: superb microvascular imaging and contrast-enhanced ultrasound. *Ultrasonography*, 37 (2), 98–106. <https://doi.org/10.14366/usg.17043>
40. Petridis, I. G., Barbagianni, M. S., Ioannidi, K. S., Samaras, E., Fthenakis, G. C., & Vlomidis, E. I. (2017). Doppler ultrasonographic examination in sheep. *Small Ruminant Research*, 152, 22–32. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2016.12.015>
41. Pieczewska, B., Glińska-Suchocka, K., Nizański, W., & Dzięcioł, M. (2021). Decreased Size of mammary tumors caused by preoperative treatment with aglepristone in female domestic dogs (*Canis familiaris*) do not influence the density of the benign neoplastic tissue measured using shear wave elastography technique. *Animals*, 11 (2), 527. <https://doi.org/10.3390/ani11020527>
42. Pluguez-Turull, C. W., Nanyes, J. E., Quintero, C. J., Alizai, H., Mais, D. D., Kist, K. A., & Dornbluth, N. C. (2018). Idiopathic granulomatous mastitis: Manifestations at multimodality imaging and pitfalls. *RadioGraphics*, 38 (2), 330–356. <https://doi.org/10.1148/rq.2018170095>
43. Risvanli, A., Dogan, H., Safak, T., Kilic, M. A., & Seker, I. (2019). The relationship between mastitis and the B-mode, colour Doppler ultrasonography measurements of supramammary lymph nodes in cows. *Journal of Dairy Research*, 86 (3), 315–318. <https://doi.org/10.1017/s0022029919000530>
44. Rudyk, S. K., & Kot, T. F. (2012). *Anatomiia kishky. Chastyna 2. Systema orhaniv shkirnoho pokryvu. Nutroshchi. Zhytomyr: Polissia [in Ukrainian]*
45. Sánchez, D., Romero, L., López, S., Campuzano, M., Ortega, R., Morales, A., Guadarrama, M., Cesarman-Maus, G., García-Pérez, O., & Lizano, M. (2019). 18F-FDG—PET/CT in Canine mammary gland tumors. *Frontiers in Veterinary Science*, 6. <https://doi.org/10.3389/fvets.2019.00280>
46. Santos, V. J. C., Simplício, K. M. M. G., Sanchez, D. C. C., Almeida, V. T., Teixeira, P. P. M., Coutinho, L. N., Rodrigues, L. F. S., Oliveira, M. E. F., Feliciano, M. A. R., & Vicente, W. R. R. (2014). Conventional and Doppler ultrasonography on a goat with gangrenous mastitis. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 66 (6), 1931–1935. <https://doi.org/10.1590/1678-7062>
47. Sharun, K., Dhama, K., Tiwari, R., Gugjoo, M. B., Iqbal Yatoo, Mohd., Patel, S. K., Pathak, M., Karthik, K., Khurana, S. K., Singh, R., Puvvala, B., Amarpal, Singh, R., Singh, K. P., & Chaicumpa, W. (2021). Advances in therapeutic and managerial approaches of bovine mastitis: a comprehensive review. *Veterinary Quarterly*, 41 (1), 107–136. <https://doi.org/10.1080/01652176.2021.1882713>
48. Soler, M., Dominguez, E., Lucas, X., Novellas, R., Gomes-Coelho, K. V., Espada, Y., & Agut, A. (2016). Comparison between ultrasonographic findings of benign and malignant canine mammary gland tumours using B-mode, colour Doppler, power Doppler and spectral Doppler. *Research in Veterinary Science*, 107, 141–146. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2016.05.015>
49. Stan, F., Gudea, A., Damian, A., Gal, A. F., Papuc, I., Pop, A. R., & Martonos, C. (2020). Ultrasonographic algorithm for the assessment of sentinel lymph nodes that drain the mammary carcinomas in female dogs. *Animals*, 10 (12), 2366. <https://doi.org/10.3390/ani10122366>
50. Träsch, K., Wehrend, A., & Bostedt, H. (2007). Ultrasonographic description of canine mastitis. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 48 (6), 580–584. <https://doi.org/10.1111/j.1740-8261.2007.00301.x>
51. Valdivia, G., Alonso-Diez, Á., Pérez-Alenza, D., & Peña, L. (2021). From conventional to precision therapy in canine mammary cancer: A comprehensive review. *Frontiers in Veterinary Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.623800>
52. Vanderperren, K., Saunders, J. H., Van der Vekens, E., Wydooghe, E., de Rooster, H., Duchateau, L., & Stock, E. (2018). B-mode and contrast-enhanced ultrasonography of the mammary gland during the estrous cycle of dogs. *Animal Reproduction Science*, 199, 15–23. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2018.08.036>
53. Weismann, C., Mayr, C., Egger, H., & Auer, A. (2011). Breast sonography – 2D, 3D, 4D ultrasound or elastography? *Breast Care*, 6 (2), 98–103. <https://doi.org/10.1159/000327504>

ORCID

- T. Kot  <https://orcid.org/0000-0003-0448-2097>
- S. Huralska  <https://orcid.org/0000-0001-7383-1989>
- I. Sokulskiy  <https://orcid.org/0000-0002-6237-0328>
- S. Zaika  <https://orcid.org/0000-0002-9863-0988>
- Yu. Kovalchuk  <https://orcid.org/0000-0003-3677-3411>
- G. Gryshchuk  <https://orcid.org/0000-0001-7092-2412>
- L. Yevtukh  <https://orcid.org/0000-0003-3116-3980>



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.