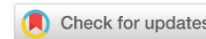


ПАТОЛОГИЯ ЖИВОТНЫХ, МОРФОЛОГИЯ, ФИЗИОЛОГИЯ, ФАРМАКОЛОГИЯ И ТОКСИКОЛОГИЯ

ANIMAL PATHOLOGY, MORPHOLOGY, PHYSIOLOGY, PHARMACOLOGY AND TOXICOLOGY



УДК 636.09:616.12: 636.7:636.8:619:616–073.7

<https://doi.org/10.23947/2949-4826-2026-25-2-44-53>

Пилотное исследование



EDN: HBFYFA

Сравнение диагностической точности полуавтоматического и экспертного измерения кардиовертебрального индекса у кошек и собак: первый этап валидации «Десктопного приложения для автоматизации расчета VHS на основе рентгенограмм»

Ю.С. Шмаренкова¹ , С.В. Акчурин² , А.Д. Титов² , В.В. Демичев² ,

И.В. Акчурина²

¹ Калужский филиал Российского государственного аграрного университета – МСХА им. К.А. Тимирязева, г. Калуга, Российская Федерация

² Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, г. Москва, Российская Федерация

✉ lshmarenkova_11@mail.ru

Аннотация

Введение. Болезни сердца являются одной из основных причин смертности мелких домашних животных. Расчет кардиовертебрального индекса (КВИ, VHS) — метод оценки увеличения силуэта сердца на рентгенограммах и прогнозирования развития застойной сердечной недостаточности. Однако традиционное ручное измерение КВИ сопряжено с высокой межнаблюдательной вариабельностью, субъективностью и значительными временными затратами. Для повышения доступности объективного кардиологического скрининга в рутинной клинической практике авторами было разработано десктопное приложение для автоматизации расчета КВИ на основе технологий искусственного интеллекта (ИИ), позволяющее стандартизировать оценку, минимизировать человеческий фактор и ускорить обработку рентгенограмм. Цель данного пилотного исследования — провести первый этап валидации приложения и сравнить диагностическую точность двух способов измерения КВИ — полуавтоматического и экспертного.

Материалы и методы. Для анализа сформирована сбалансированная выборка — по 30 рентгенограмм грудной клетки собак и кошек в правой боковой проекции, отобранных методом простой случайной выборки. Предварительная ручная аннотация изображений выполнена по методике Buchanan & Bücheler: два ветеринарных врача визуальной диагностики по рентгенограммам определяли короткую и длинную оси сердца и далее сопоставляли их относительно позвоночного столба. Для полуавтоматического расчёта КВИ использовали авторское «Десктопное приложение для автоматизации расчета кардиовертебрального индекса (VHS) на основе рентгенограмм», разработанное на основе свёрточной нейронной сети. Валидация включала сравнение результатов двух способов расчета КВИ с учетом коэффициента внутриклассовой корреляции (ICC).

Результаты исследования. Установлено, что «Десктопное приложение для автоматизации расчета кардиовертебрального индекса (VHS) на основе рентгенограмм» обеспечивает высокоточное и воспроизводимое автоматическое измерение КВИ на боковых рентгенограммах грудной клетки у собак и кошек. При этом оно имеет статистически высокое соответствие с измерением, полученным ветеринарными врачами визуальной диагностики ($ICC \geq 0,97$), причем на расчет затрачено меньше времени.

Обсуждение и заключение. Первый этап валидации приложения продемонстрировал отличную степень согласия между ИИ и двумя специалистами, поэтому предложенный подход представляет собой перспективный вспомогательный инструмент для врачей общей практики. Текущее пилотное исследование имеет несколько ограничений, в частности, выполнено на относительно небольшой выборке животных и может быть недостаточным для оценки его работы в узких подгруппах (например, при специфических породах или выраженной кардиомегалии). Для подтверждения клинической значимости требуются дальнейшие исследования

на более крупных и гетерогенных когортах, включая пациентов с выраженной кардиомегалией и анатомическими аномалиями.

Ключевые слова: пилотное исследование, рентгенодиагностика, рентгенограмма, грудная клетка, собаки, кошки, кардиовертебральный индекс, КВИ, VHS, кардиомегалия, искусственный интеллект, десктопное приложение, валидация

Для цитирования. Шмаренкова Ю.С., Акчурин С.В., Титов А.Д., Демичев В.В., Акчурина И.В. Сравнение диагностической точности полуавтоматического и экспертного измерения кардиовертебрального индекса у собак и кошек: первый этап валидации «Десктопного приложения для автоматизации расчета VHS на основе рентгенограмм». *Ветеринарная патология*. 2026;25(2):44–53. <https://doi.org/10.23947/2949-4826-2026-25-2-44-53>

Pilot Research

Comparison of the Diagnostic Accuracy of Semiautomated and Expert-Based Calculation of the Vertebral Heart Score in Cats and Dogs: First Stage Validation of the “Desktop Application for Automation of the VHS Calculation Based on Radiographs”

Yulia S. Shmarenkova¹  , Sergey V. Akchurin² , Artem D. Titov² , Vadim V. Demichev² ,

Irina V. Akchurina² 

¹Kaluga Branch of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Kaluga, Russian Federation

²Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

 lshmarenkova_11@mail.ru

Abstract

Introduction. Cardiac diseases are considered to be among the main causes of mortality in small domestic animals. Calculation of the vertebral heart score (VHS) is a method used to assess the cardiac silhouette enlargement on radiographs and predict the development of congestive heart failure. However, traditional manual procedure of VHS calculation is characterized by high inter-observer variability, subjectivity, and significant time-consumption. To improve the access to objective cardiac screening in every-day clinical practice, the authors has developed a desktop application for automating VHS calculation using the artificial intelligence (AI) technologies that unifies the assessment standard, minimizes human error, and accelerates processing of radiographs. The aim of the present pilot research is to conduct the first stage validation of the application and compare the diagnostic accuracy of two VHS calculation methods — semiautomated and expert-based.

Materials and Methods. A balanced sample of 30 right lateral chest radiographs of dogs and cats was selected for analysis as a result of simple random sampling. Preliminary VHS was calculated by manual measurements on the radiographs by the Buchanan & Bücheler method: two veterinarians specializing in visual diagnostics measured the short and long axes of the heart on the radiographs and then compared their dimensions against the spinal vertebrae. The semi-automated calculation of VHS was performed by the author-developed “Desktop application for automation of the vertebral heart score (VHS) calculation based on radiographs” using a convolutional neural network. App validation implied a comparison of the results of the two methods of VHS calculation, taking into account the intraclass correlation coefficient (ICC).

Results. The “Desktop application for automation of the vertebral heart score (VHS) calculation based on radiographs” has proved to perform a highly accurate and replicable automated calculation of VHS on lateral chest radiographs of dogs and cats. It also has demonstrated statistically high agreement with the calculations obtained by veterinarians specializing in visual diagnostics ($ICC \geq 0.97$), along with less time required for calculation.

Discussion and Conclusion. The first stage of app validation has demonstrated an excellent agreement between the AI and two specialists’ results, therefore, the proposed approach can be deemed a future-oriented tool for general practitioners. The present pilot research has several limitations, i.e. it was conducted on a relatively small sample of animals, which may be insufficient for evaluation of app performance in narrow subgroups (e.g., in specific breeds or in severe cardiomegaly cases). Further studies in larger, more heterogeneous cohorts, including patients with severe cardiomegaly and anatomical abnormalities, are required to confirm clinical significance of the results.

Keywords: pilot research, X-ray diagnostics, radiograph, chest, dogs, cats, vertebral heart score, VHS, cardiomegaly, artificial intelligence, desktop application, validation

For Citation. Shmarenkova YS, Akchurin SV, Titov AD, Demichev VV, Akchurina IV. Comparison of the Diagnostic Accuracy of Semiautomated and Expert-Based Calculation of the Vertebral Heart Score in Cats and Dogs: First Stage

Validation of the “Desktop Application for Automation of the VHS Calculation Based on Radiographs”. *Russian Journal of Veterinary Pathology*. 2026;25(2):44–53. <https://doi.org/10.23947/2949-4826-2026-25-2-44-53>

Введение. Болезни сердца находятся в числе основных причин смерти возрастных кошек и собак [1]. Хотя эхокардиография является основным методом визуальной диагностики для оценки морфологического и функционального статуса сердца, рентгенодиагностика также играет важную роль в выявлении патологий. Поскольку заболевания сердца часто связаны с увеличением сердечного силуэта на рентгенограммах, этот недорогой и широкодоступный метод исследования можно использовать, в первую очередь, в качестве метода скрининга, когда у пациентов наблюдаются неоднозначные клинические признаки (кашель, утомляемость, появление одышки и т. п.) [2].

Чтобы достоверно оценить размер сердца на рентгенограммах, Buchanan J.W. и Bücheler J. разработали метод определения размера сердечного силуэта в зависимости от размера тел позвонков, известный как кардиовертебральный индекс (КВИ или VHS, Vertebral Heart Scale) [3]. В оригинальном исследовании, опубликованном в 1995 г., длинная ось сердца измерялась от вентральной границы главного левого бронха до наиболее удаленной точки верхушки сердца. Короткая ось измерялась по линии, перпендикулярной длинной оси, в самой широкой части сердечного силуэта. Длины двух осей сравнивались с длиной позвонков, начиная с краниального края T4.

Альтернативный метод, описанный Poad M.H. с коллегами [4], предлагает использовать вентральный край полой вены в качестве ориентира для измерения по короткой оси, однако, насколько известно, не существует исследований, оценивающих влияние этой модификации на ценность измерения КВИ.

Основная польза измерения КВИ заключается в том, чтобы предоставить ветеринарному врачу общей практики объективные измерения для выявления кардиомегалии. Этот метод на данный момент рекомендован Американским колледжем ветеринарной медицины (ACVIM) для классификации собак с пороком митрального клапана [5]. Измерение КВИ также полезно для мониторинга размеров сердца пациентов с течением времени в целях скрининга, особенно среди пород, склонных к приобретенным заболеваниям сердца [6]. Более того, современное программное обеспечение в ветеринарной рентгенодиагностике включает в себя специализированные инструменты для его измерения на цифровых рентгенограммах, что повышает удобство применения метода.

Прогресс в области визуальной диагностики предоставил доступ к мощным системам компьютерного анализа (CAD), которые недавно

появились в ветеринарной медицине. Проще говоря, CAD-системы могут использоваться для идентификации ключевых точек и прогнозирования их координат на изображениях. Это, например, можно применить при определении тяжести течения остеоартроза по рентгенограммам тазобедренных суставов и составления дальнейшего прогноза [7]. Изначально значимые результаты были показаны в обнаружении ключевых точек для приложений распознавания лиц, но теперь эта технология применяется и в медицинской визуализации изображений, поскольку она позволяет автоматизировать вычисление ключевых точек изображений на основе обнаружения анатомических ориентиров [8].

Прежние методы машинного обучения позволяли оценивать эти индексы, однако на данный момент глубокое обучение и свёрточные нейронные сети (CNN) способны превзойти человеческие способности. Например, алгоритмы глубокого обучения были разработаны для расчета кардиоторакального коэффициента (CTR) на рентгенограммах грудной клетки человека и оказались более надежными, эффективными и менее трудозатратными, чем расчеты вручную [9].

Широкому внедрению КВИ в рутинную клиническую практику препятствуют вариабельность и субъективность ручного измерения. Исследования показывают, что различия в значениях КВИ между наблюдателями могут достигать 0,8–1,2 позвонка, что эквивалентно переходу из «нормы» в «патологию» [10, 11]. Даже при строгом соблюдении методики Buchanan & Bücheler (фиксация ориентиров: вентральная граница левого бронха/трахео-лёгочного угла, верхушка сердца, максимальная ширина перпендикулярно длинной оси), точность измерения зависит от опыта, физического состояния (степень утомления) и когнитивных искажений оператора.

В этой связи автоматизация расчёта КВИ с использованием алгоритмов искусственного интеллекта (ИИ), в частности свёрточных нейронных сетей, приобретает особую актуальность. Современные ИИ-системы способны не только детектировать анатомические ориентиры, но и минимизировать человеческий фактор, обеспечивая стандартизированные, воспроизводимые измерения [7]. Внедрение таких инструментов в ветеринарную практику позволит:

- повысить чувствительность и специфичность ранней диагностики кардиомегалии;
- обеспечить объективный мониторинг динамики заболевания при повторных исследованиях;

— расширить доступ к качественной кардиологической оценке в условиях общей ветеринарной практики, где отсутствует специалист-кардиолог.

Таким образом, разработка и валидация алгоритмов автоматического вычисления КВИ у мелких домашних животных представляют собой насущную научную и практическую задачу, направленную на повышение качества диагностики сердечной патологии, улучшение прогноза и оптимизацию ресурсов ветеринарной медицины. С этой целью авторами недавно было разработано «Десктопное приложение для автоматизации расчета кардиовертебрального индекса (VHS) на основе рентгенограмм» [12], обученное автоматически и независимо устанавливать ключевые точки для измерений КВИ у кошек и собак. Целью данного исследования является пилотная валидация разработанного алгоритма, а также сравнение эффективности и диагностической точности двух способов измерения кардиовертебрального индекса — полуавтоматического и экспертного — у кошек и собак.

Материалы и методы. В исследование, проведенное в период с ноября по декабрь 2025 г., включены правые боковые рентгенограммы грудной клетки собак и кошек, полученные в ветеринарных клиниках г. Калуги и г. Москвы на цифровых DR-панелях (wikiVET, Китай). После анонимизации изображения конвертированы в формат JPEG. Критериями исключения служили значительная ротация грудной клетки, плевральный выпот, новообразования и другие артефакты, искажающие контур сердца.

Методом простой случайной выборки сформирована сбалансированная группа: по 30 снимков собак и кошек (всего $n=60$). Выборка животных была определена на основе: 1) рекомендаций по минимальному объёму выборки для расчёта коэффициента внутриклассовой корреляции (ICC), где

при ожидаемом значении $ICC > 0,9$ и доверительном интервале 95 % выборка из 30–50 наблюдений обеспечивает достаточную статистическую мощность для оценки согласованности [8]; 2) практики аналогичных исследований по валидации ИИ-алгоритмов в ветеринарной радиологии, где выборки объёмом 25–40 снимков на группу признаются репрезентативными для первичной оценки диагностической точности [7, 9]; 3) принципа сбалансированности групп для минимизации систематической ошибки при сравнении методов. Формальный априорный расчёт мощности (power analysis) не проводился ввиду отсутствия предварительных данных о вариабельности измерений, получаемых именно данным алгоритмом, что является стандартной практикой для исследований первого этапа валидации новых ИИ-инструментов.

Для оценки применялась оригинальная методика Buchanan & Bücheler [3]: длинная ось сердца измерялась от вентральной границы главного левого бронха до верхушки сердца, короткая ось проводилась перпендикулярно ей в наиболее широкой части силуэта (рис. 1). Измерения выполняли два независимых ветеринарных врача-радиолога (стаж работы в визуальной диагностике 4–5 лет, общий клинический опыт >8 лет).

Данный подход соответствует общепринятой практике первичной валидации ИИ-алгоритмов в ветеринарной визуализации, где фокус смещён на оценку систематического смещения и воспроизводимости, а не на многоцентровый консенсус. Для нивелирования индивидуальной субъективности в качестве эталонного значения принималось среднее арифметическое показателей обоих специалистов, что обеспечивает стабильную базу для сравнения с автоматизированным алгоритмом.

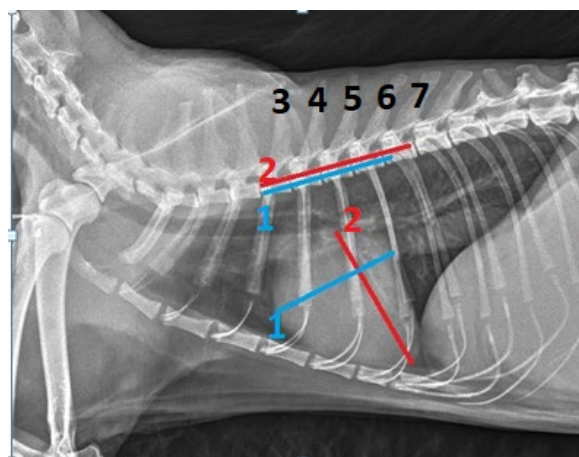


Рис. 1. Принцип расчета кардиовертебрального индекса: 1 — короткая ось сердца; 2 — длинная ось сердца; 3–7 — грудные позвонки, начиная от T4

Автоматизированный расчет КВИ осуществлялся с помощью авторского десктопного приложения на основе модифицированной архитектуры YOLOv8-seg, обеспечивающей сегментацию сердечного силуэта, детекцию позвонков и определение ключевых точек. Обучение модели проводилось на предварительно размеченных авторами рентгенограммах. Интерфейс программы реализует полуавтоматический расчет с возможностью ручной корректировки положения осей для повышения точности (рис. 2).

Статистический анализ выполнялся в программном пакете MedCalc v.20 (MedCalc Software Ltd., Бельгия). Перед проведением основного анализа была

выполнена проверка статистических допущений для применения параметрических методов. Нормальность распределения количественных признаков (длинная и короткая оси сердца, КВИ) оценивалась с помощью теста Шапиро-Уилка. Гомогенность дисперсий между группами измерений (два эксперта и алгоритм ИИ) проверялась тестом Брауна-Форсайта, устойчивым к отклонениям от нормальности. Поскольку нарушения допущений не были обнаружены ($p > 0,05$ для всех тестов), применение коэффициента внутриклассовой корреляции с моделью абсолютного согласия признано методологически обоснованным.

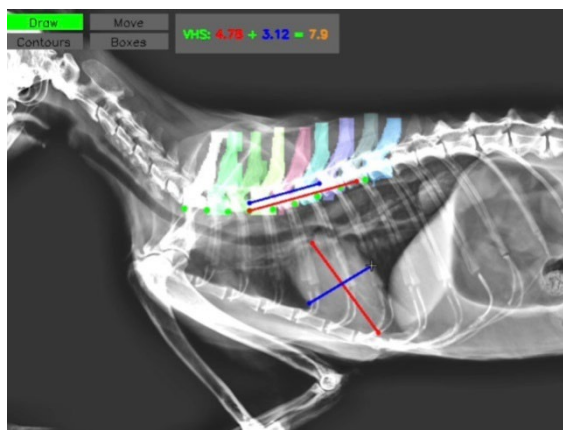


Рис. 2. Скриншот работы приложения в режиме «Рисование» (фото авторов)

Для оценки согласованности результатов между экспертами и алгоритмом ИИ рассчитывался коэффициент внутриклассовой корреляции (ICC, модель абсолютного согласия) с 95 % доверительными интервалами на основе F-распределения, что позволяет оценить устойчивость полученных показателей согласованности. Согласно общепринятой классификации [8], значения $ICC < 0,5$ интерпретировались как низкие, 0,5-0,75 — умеренные, 0,75-0,9 — хорошие, $> 0,9$ — отличные.

Дополнительно для визуализации и количественной оценки систематического смещения между методами измерения (эксперты vs. алгоритм ИИ) строились графики Бланда-Альтмана. На данных графиках по оси абсцисс откладывалось среднее значение двух сравниваемых измерений, по оси ординат — разность между ними (bias). Рассчитывались среднее смещение (mean bias) и пределы согласия (limits of agreement, LoA) как среднее $\pm 1,96$ стандартных отклонений разностей. Клинически приемлемым считалось смещение, не превышающее 5 % от среднего значения показателя, а также отсутствие систематической зависимости разности от величины измерения.

Для оценки производительности обученной модели YOLOv8-seg на отложенной выборке были рассчитаны стандартные метрики детекции и сегментации. Для задачи детекции анатомических ориентиров (границы

сердца, тела позвонков) использовались: точность (Precision), полнота (Recall), F1-мера и средний показатель точности при пороге IoU=0,5 (mAP@50). Для оценки качества сегментации сердечного силуэта применялись: коэффициент сходства Дайса (Dice coefficient) и метрика mAP@50 для масок. Все метрики рассчитывались при пороговом значении уверенности модели 0,5. Дополнительно фиксировалось среднее время инференса на одно изображение.

Результаты исследования. В ходе проведения статистического анализа было установлено, что значения длинной оси сердца, короткой оси сердца и кардиовертебрального индекса, полученные с использованием разработанного алгоритма ИИ и двумя независимыми специалистами в области ветеринарной визуальной диагностики, демонстрируют высокую степень согласованности как в группе собак ($n=30$), так и в группе кошек ($n=30$). Перед расчётом коэффициента внутриклассовой корреляции (ICC) была выполнена проверка статистических допущений. Нормальность распределения количественных признаков оценивалась с помощью теста Шапиро-Уилка, гомогенность дисперсий между методами измерения (два эксперта и алгоритм ИИ) — тестом Брауна-Форсайта. Как показано в таблице 1, для всех анализируемых параметров (длинная ось, короткая ось, КВИ) в обеих группах животных значения p превышали порог значимости 0,05, что не даёт оснований отвергнуть нулевую

гипотезу о нормальности распределения и равенстве дисперсий. Таким образом, применение параметрического ICC с моделью абсолютного согласия является методологически обоснованным.

Для всех тестов уровень значимости $\alpha=0,05$. Значения $p>0,05$ указывают на отсутствие оснований отвергнуть нулевую гипотезу (нормальность распределения / гомогенность дисперсий).

Согласно общепринятой интерпретационной шкале, значения $ICC \geq 0,90$ классифицируются как отличная

согласованность [8], что и было зафиксировано для всех измеряемых параметров (таблица 2).

Данные таблицы 2 свидетельствуют об отличных показателях ICC в расчетах ключевых параметрах КВИ между двумя ветеринарными врачами визуальной диагностики и десктопным приложением. Кроме того, расчет, выполняемый с помощью приложения, занимает меньше времени: в среднем, ветеринарному врачу, знакомому с методом расчета КВИ, требуется от 3 до 5 минут, чтобы установить значение. Использование приложения сокращает время исследования в 2 раза.

Таблица 1

Результаты проверки статистических допущений для применения коэффициента внутриклассовой корреляции

Показатель	Тест Шапиро–Уилка (W/p)	Тест Брауна–Форсайта (F/p)	Вывод
Длинная ось сердца у собак	0,972 / 0,681	1,24 / 0,298	Допущения выполнены
Короткая ось сердца у собак	0,965 / 0,412	0,89 / 0,419	Допущения выполнены
КВИ у собак	0,981 / 0,893	1,05 / 0,357	Допущения выполнены
Длинная ось сердца у кошек	0,968 / 0,524	1,41 / 0,253	Допущения выполнены
Короткая ось сердца у кошек	0,975 / 0,738	0,76 / 0,474	Допущения выполнены
КВИ у кошек	0,963 / 0,387	1,18 / 0,315	Допущения выполнены

Таблица 2

Сводная таблица результатов ICC для выполненных измерений и их классификация

Показатель	ICC между операторами и ИИ	Классификация
Длинная ось сердца у собак	0,9950	Отлично
Короткая ось сердца у собак	0,9921	Отлично
КВИ у собак	0,9841	Отлично
Длинная ось сердца у кошек	0,9904	Отлично
Короткая ось сердца у кошек	0,9953	Отлично
КВИ у кошек	0,9707	Отлично

Для дальнейшей верификации отсутствия клинически значимого смещения были построены графики Бланда-Альмана, на которых анализировалась разность (bias) между измерениями ИИ и средним значением, полученным двумя врачами. Среднее смещение (mean bias) для КВИ составило от -0,34 до +0,15 позвонка у собак и от -0,17 до +0,23 позвонка у кошек, что соответствовало допустимым значениям. Пределы интервалов согласия на графике Бланда-Альмана считались приемлемыми, если стандартное отклонение смещения находилось в пределах 5 % от среднего значения (рис. 3).

Для оценки технической производительности разработанного алгоритма были проанализированы стандартные метрики качества детекции и сегментации на тестовой выборке. Как показано в таблице 3, модель продемонстрировала высокие показатели по всем параметрам: F1-мера превысила 0,93 для обеих групп животных, а коэффициент Дайса для сегментации сердечного силуэта составил 0,92–0,94, что свидетельствует о точном выделении анатомических структур. Среднее время обработки одного изображения составило ~1,4 с, что согласуется с заявленным сокращением временных затрат по сравнению с ручным расчётом.

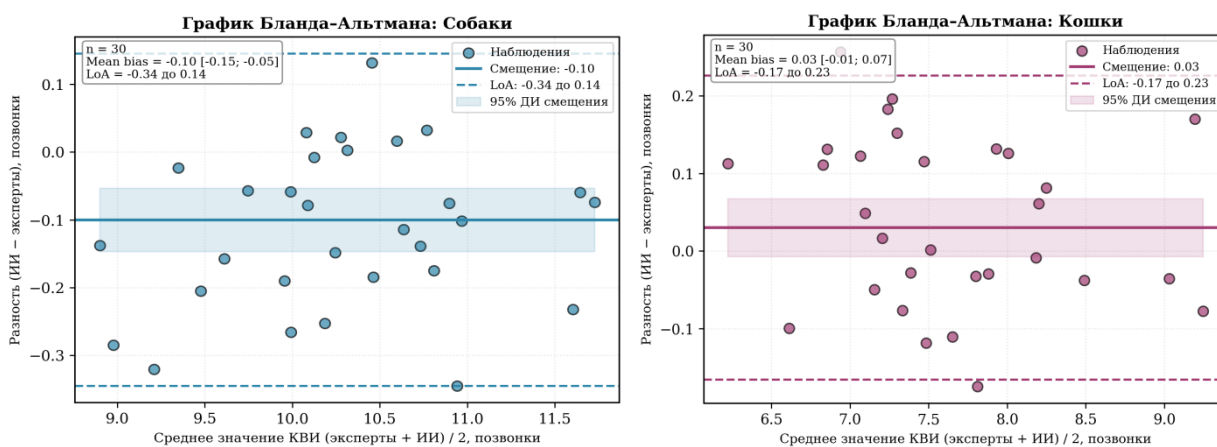


Рис. 3. Графики Бланда-Альмана для оценки согласованности измерений кардиовертебрального индекса между алгоритмом ИИ и средним значением двух экспертов. По оси абсцисс — среднее значение КВИ (эксперты + ИИ)/2, по оси ординат — разность (ИИ — эксперты). Сплошная горизонтальная линия — среднее смещение (mean bias), пунктирные линии — пределы согласия (limits of agreement, LoA: mean $\pm$ 1,96 SD). Заштрихованная область — 95 % доверительный интервал для mean bias

Таблица 3

Метрики производительности модели YOLOv8-seg на тестовой выборке (n=60)

Метрика	Собаки (n=30)	Кошки (n=30)	Интерпретация
Детекция объектов			
Precision	0,96	0,94	Доля верно детектированных объектов среди всех предсказанных
Recall	0,95	0,93	Доля верно детектированных объектов среди всех истинных
F1-мера	0,95	0,93	Гармоническое среднее Precision и Recall
mAP@50	0,97	0,95	Средний показатель точности при IoU $\geq$ 0,5
Сегментация сердечного силуэта			
Dice coefficient	0,94	0,92	Мера перекрытия предсказанной и истинной маски
mAP@50 (mask)	0,93	0,91	Точность сегментации при пороге IoU $\geq$ 0,5
Практические показатели			
Время инференса, с	1,4 $\pm$ 0,3	1,3 $\pm$ 0,2	Среднее время обработки одного снимка на стандартном ПК

Ограничения исследования и направления следующих этапов валидации. Текущее исследование имеет несколько ограничений. Во-первых, оно было выполнено на относительно небольшой выборке из 60 рентгенограмм грудной клетки животных. Данный объём является достаточным для пилотной оценки согласованности ИСС и выявления грубых систематических смещений алгоритма, однако может быть недостаточным для оценки его работы в узких подгруппах (например, при специфических породах, выраженной кардиомегалии или артефактах изображения). Репрезентативность выборки для генеральной популяции пациентов требует подтверждения в дальнейших многоцентровых исследованиях. Для следующих этапов валидации планируется проведение априорного расчёта минимального размера выборки на основе дисперсии, полученной в данном пилотном исследовании, что позволит обеспечить заданную мощность ($\geq 80\%$) для обнаружения клинически значимых различий.

Во-вторых, в формировании референсных измерений участвовали только два специалиста, несмотря на известную высокую межнаблюдательную вариабельность КВИ. Выбор обусловлен задачами этапа пилотной валидации: целью работы являлась первичная оценка согласованности алгоритма с клинической практикой, а не масштабное межлабораторное сравнение. Высокая вариабельность ручного измерения компенсировалась использованием коэффициента внутриклассовой корреляции с моделью абсолютного согласия и анализом Бланда-Альмана, которые позволяют объективно определить расхождения и подтвердить их клиническую

незначимость. Для дальнейшей внешней валидации планируется привлечение мультидисциплинарной панели специалистов из независимых клиник, включая врачей с разным уровнем опыта, что позволит оценить устойчивость алгоритма в условиях реальной практики с выраженным субъективным фактором.

В-третьих, разработанный алгоритм валидировался на изображениях без выраженных артефактов и анатомических аномалий. В реальных клинических условиях наличие плеврального выпота, выраженной ротации грудной клетки или спондилёза может влиять на точность детекции контуров сердца и позвонков. Аналогичные ограничения описываются в исследованиях по валидации ветеринарных ИИ-моделей, где производительность алгоритмов часто снижается на гетерогенных выборках [13, 14, 15]. Для преодоления этого барьера необходимы дальнейшие исследования на мультицентровых когортах с включением пациентов с различной степенью кардиомегалии, сопутствующими патологиями и рентгенограммами разного качества. Было бы интересно оценить поведение ИИ в таких случаях.

Наконец, в-четвертых, текущее исследование не оценивало диагностическую чувствительность и специфичность алгоритма в прогнозировании конкретных кардиологических заболеваний. Как и традиционный КВИ, ИИ-инструмент предназначен исключительно для объективного измерения размеров сердечного силуэта, а не для постановки этиологического диагноза. В соответствии с современными рекомендациями по отчётности в области медицинского ИИ (например, CLAIM guidelines [16]), следующим этапом должна стать проспективная клиническая валидация с оценкой

влияния автоматизированного расчёта КВИ на принятие врачебных решений и исходы лечения пациентов.

Обсуждение и заключение. Полученные в настоящем пилотном исследовании результаты демонстрируют отличную согласованность ($ICC \geq 0,97$) между измерениями КВИ на базе модели YOLOv8-seg и оценками двух ветеринарных врачей-радиологов. Эти данные согласуются с современными тенденциями внедрения алгоритмов глубокого обучения в ветеринарную визуальную диагностику, где ИИ-системы успешно применяются для количественного анализа рентгенограмм и минимизации субъективного фактора [7, 10, 13, 14].

Высокая межнаблюдательная вариабельность при ручном расчёте КВИ остаётся одной из главных проблем метода. Как показано в работе [11], разница в оценках между опытными специалистами может достигать более одного позвонка, что способно привести к ошибочной классификации состояния пациента. Аналогичные ограничения отмечаются и в других исследованиях, посвящённых количественным радиометрическим методам, где субъективность выбора анатомических ориентиров

напрямую влияет на воспроизводимость результатов [1, 4]. Внедрение алгоритмов компьютерного зрения позволяет стандартизировать процесс измерения, фиксируя ключевые точки с высокой точностью и исключая когнитивные искажения оператора [7, 14].

Таким образом, данное приложение может стать отличным помощником при диагностике кардиологического статуса пациентов даже для врачей общей практики, не имеющих знаний и опыта в расчёте индекса. Кроме того, сокращение времени расчёта КВИ с 3–5 до ~1,5 минут, продемонстрированное в нашей работе, имеет прямое клиническое значение. В условиях высокой нагрузки специалистов общей практики автоматизация рутинных измерений способствует более быстрому принятию диагностических решений и оптимизации рабочего процесса [6, 7]. Помимо этого, стандартизированные ИИ-оценки создают надёжную основу для динамического мониторинга пациентов, что особенно важно при контроле прогрессирования заболеваний митрального клапана, где даже небольшие изменения силуэта сердца имеют прогностическую ценность [5, 6].

Список литературы / References

1. Ward JM, Youssef SA, Treuting PM. Why Animals Die: An Introduction to the Pathology of Aging. *Veterinary Pathology*. 2016;53(2):229–232. <https://doi.org/10.1177/0300985815612151>
2. Baisan A, Ciocan M, Birsan O, Vulpe V. Objective Assessment of the Radiographic Cardiac Size in Dogs – A Review of the Heart Size Measurements. *Lucrari Stiintifice - Universitatea de Stiinte Agricole a Banatului Timisoara, Medicina Veterinara*. 2017;50(2):16–23.
3. Buchanan JW, Bücheler J. Vertebral Scale System to Measure Canine Heart Size in Radiographs. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 1995;206(2):194–199.
4. Poad MH, Manzi TJ, Oyama MA, Gelzer AR. Utility of Radiographic Measurements to Predict Echocardiographic Left Heart Enlargement in Dogs with Preclinical Myxomatous Mitral Valve Disease. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2020;34(5):1728–1733. <https://doi.org/10.1111/jvim.15854>
5. Keene BW, Atkins CE, Bonagura JD, Fox PR, Häggström J, Fuentes VL, et al. ACVIM Consensus Guidelines for the Diagnosis and Treatment of Myxomatous Mitral Valve Disease in Dogs. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2019;33(3):1127–1140. <https://doi.org/10.1111/jvim.15488>
6. Lord P, Hansson K, Kvart C, Häggström J. Rate of Change of Heart Size before Congestive Heart Failure in Dogs with Mitral Regurgitation. *Journal of Small Animal Practice*. 2010;51(4):210–218. <https://doi.org/10.1111/j.1748-5827.2010.00910.x>
7. Boissady E, de La Comble A, Zhu X, Hespel AM. Artificial Intelligence Evaluating Primary Thoracic Lesions Has an Overall Lower Error Rate Compared to Veterinarians or Veterinarians in Conjunction with the Artificial Intelligence. *Veterinary Radiology and Ultrasound*. 2020;61(6):619–627. <https://doi.org/10.1111/vru.12912>
8. Koo TK, Li MY. A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *Journal of Chiropractic Medicine*. 2016;15(2):155–163. <https://doi.org/10.1016/j.jcm.2016.02.012>. Erratum in: *Journal of Chiropractic Medicine*. 2017;16(4):346. <https://doi.org/10.1016/j.jcm.2017.10.001>
9. Sun Y, Wang X, Tang X. Deep Convolutional Network Cascade for Facial Point Detection. In: *Proceedings of 2013 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. Portland, OR, USA: IEEE; 2013. P. 3476–3483. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2013.446>
10. Li Z, Hou Z, Chen C, Hao Z, An Y, Liang S, et al. Automatic Cardiothoracic Ratio Calculation with Deep Learning. *IEEE Access*. 2019;7:37749–37756. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2900053>
11. Hansson K, Häggström J, Kvart C, Lord P. Interobserver Variability of Vertebral Heart Size Measurements in Dogs with Normal and Enlarged Hearts. *Veterinary Radiology and Ultrasound*. 2005;46(2):122–130. <https://doi.org/10.1111/j.1740-8261.2005.00024.x>
12. Титов А.Д., Демичев В.В., Акчурун С.В., Шмаренкова Ю.С. Формирование и разметка специализированного датасета для задач компьютерного зрения в ветеринарной рентгенологии. *Вестник*

Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ, управление. 2025;4:129–140. URL: <https://vestnik-rosnou.ru/item/2025/4/129>

Titov AD, Demichev VV, Akchurin SV, Shmarenkova YuS. Formation and Markup of a Specialized Dataset for Computer Vision Tasks in Veterinary Radiography. *Vestnik of Russian New University (Vestnik of RosNOU). Series: Complex Systems: Models, Analysis and Management*. 2025;4:129–140. (In Russ.). URL: <https://vestnik-ro-nou.ru/item/2025/4/129>

13. Васильев М.Е., Шалимов А.С., Савина О.А. Обзор версий YOLO: одноэтапная модель сверточной нейронной сети. *Universum: технические науки*. 2025;6(135):36–46. URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/20293>

Vasilev ME, Shalimov AS, Savina OA. Overview of Yolo Versions: Single-Stage Convolutional Neural Network Model. *Universum: Technical Sciences*. 2025;6(135):36–45. (In Russ.). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/20293>

14. Hennessey E, DiFazio M, Hennessey R, Cassel N. Artificial Intelligence in Veterinary Diagnostic Imaging: A literature Review. *Veterinary Radiology & Ultrasound*. 2022;63(Suppl. 1):851–870. <https://doi.org/10.1111/vru.13163>

15. Levicar C, Nolte I, Granados-Soler JL, Freise F, Raue JF, Bach JP. Methods of Radiographic Measurements of Heart and Left Atrial Size in Dogs with and without Myxomatous Mitral Valve Disease: Intra- and Interobserver Agreement and Practicability of Different Methods. *Animals*. 2022;12(19):2531. <https://doi.org/10.3390/ani12192531>. Correction in: *Animals*. 2025;15(8):1082. <https://doi.org/10.3390/ani15081082>

16. Cruz Rivera S, Liu X, Chan AW, Denniston AK, Calvert MJ; SPIRIT-AI and CONSORT-AI Working Group. Guidelines for Clinical Trial Protocols for Interventions Involving Artificial Intelligence: the SPIRIT-AI Extension. *Lancet Digital Health*. 2020;2(10):e549–e560. doi: [https://doi.org/10.1016/S2589-7500\(20\)30219-3](https://doi.org/10.1016/S2589-7500(20)30219-3)

Об авторах:

Шмаренкова Юлия Сергеевна, старший преподаватель кафедры ветеринарии и физиологии животных факультета ветеринарной медицины и зоотехнии Калужского филиала РГАУ–МСХА им. К.А. Тимирязева (248007, РФ, г. Калуга, ул. Вишневого, д. 27) [ORCID](https://orcid.org/0000-0001-9151-1111), ishmarenkova_11@mail.ru

Акчурин Сергей Владимирович, доктор ветеринарных наук, профессор кафедры ветеринарной медицины института зоотехнии и биологии РГАУ–МСХА им. К.А. Тимирязева (127434, РФ, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49) [ORCID](https://orcid.org/0000-0001-9151-1111), sakchurin@rgau-msha.ru

Титов Артем Денисович, ассистент кафедры статистики и кибернетики института экономики и управления АПК РГАУ–МСХА им. К.А. Тимирязева (127434, РФ, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49) [ORCID](https://orcid.org/0000-0001-9151-1111), a.titov@rgau-msha.ru

Демичев Вадим Владимирович, доцент, кандидат экономических наук, доцент кафедры статистики и кибернетики института экономики и управления РГАУ–МСХА им. К.А. Тимирязева (127434, РФ, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49) [ORCID](https://orcid.org/0000-0001-9151-1111), demichev_v@rgau-msha.ru

Акчурин Ирина Владимировна, кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры ветеринарной медицины института зоотехнии и биологии РГАУ–МСХА им. К.А. Тимирязева (127434, РФ, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49) [ORCID](https://orcid.org/0000-0001-9151-1111), akchurinaiv@rgau-msha.ru

Заявленный вклад авторов:

Ю.С. Шмаренкова: сбор материала, подготовка текста, формирование выводов.

С.В. Акчурин: научное руководство, формирование основной концепции и цели исследования.

А.Д. Титов: подготовка размеченного датасета, разработка модифицированной модели компьютерного зрения, разработка прототипа графического интерфейса.

В.В. Демичев: планирование, руководство и техническая поддержка в разработке модели компьютерного зрения и прототипа графического интерфейса.

И.В. Акчурин: редактирование текста и выводов.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Yulia S. Shmarenkova, Senior Lecturer of the Veterinary Medicine and Animal Physiology Department, Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science, Kaluga Branch of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (27, Vishnevsky Str., Kaluga, 248007, Russian Federation) [ORCID](https://orcid.org/0000-0001-9151-1111), ishmarenkova_11@mail.ru

Sergey V. Akchurin, Dr.Sci. (Veterinary), Professor of the Veterinary Medicine Department, Institute of Animal Science and Biology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation) [ORCID](https://orcid.org/0000-0001-9151-1111), sakchurin@rgau-msha.ru

Artem D. Titov, Assistant at the Statistics and Cybernetics Department, Institute of Economics and Management of Agroindustrial Complex, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation), [ORCID](#), a.titov@rgau-msha.ru

Vadim V. Demichev, Cand.Sci. (Economics), Associate Professor of the Statistics and Cybernetics Department, Institute of Economics and Management of Agroindustrial Complex, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, RF) [ORCID](#), demichev_v@rgau-msha.ru

Irina V. Akchurina, Cand.Sci. (Veterinary), Associate Professor of the Veterinary Medicine Department, Institute of Animal Science and Biology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, RF) [ORCID](#), akchurinaiv@rgau-msha.ru

Claimed Contributorship:

YS Shmarenkova: collecting the materials, preparing the draft, formulating the conclusions.

SV Akchurin: scientific supervision, formulating the main concept and objectives of the research.

AD Titov: preparing a labeled dataset, developing a modified computer vision model, developing a graphical user interface prototype.

VV Demichev: planning, supervision, and technical support in the development of the computer vision model and the graphical user interface prototype.

IV Akchurina: editing the text and conclusions.

Conflict of Interest Statement: the authors declare no conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.

Поступила в редакцию / Received 14.01.2026

Поступила после рецензирования / Reviewed 21.05.2026

Принята к публикации / Accepted 01.06.2026