хозяйство проблемы и перспективы: сборник научных трудов. – Гродно, 2018. – С. 235-240.
8. Ховайло, Е. В. Влияние двигательной активности на качество капытцевого рога у коров / Е. В. Ховайло, А. Л. Лях, В. А. Ховайло / Сельское хозяйство проблемы и перспективы: сборник научных трудов. – Гродно, 2013. – С. 273-279.

УДК 619:616-073

ТЕПЛОВИЗОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ВЕТЕРИНАРНОЙ МЕДИЦИНЕ

Е. В. Ховайло, А. Л. Лях, В. А. Ховайло, А. Н. Толкач

УО «Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины»
г. Витебск, Республика Беларусь
(Республика Беларусь, 210026, г. Витебск, ул. Доватора, 7/11; bmzip@mail.ru)

Ключевые слова: *тепловизор, диагностика, собака, кошка, корова.*

Аннотация. *В статье приводятся данные о возможности клинического применения тепловизионной камеры для диагностики патологических процессов сопровождающихся изменением температуры у животных в условиях промышленного животноводства (молочные комплексы) и ветеринарных клиник. Термография – метод функциональной диагностики, в основе которого лежит регистрирование инфракрасного излучения, которое исходит от любых тел.Подробно описывается методика подготовки к работе с тепловизором. Приводятся примеры субъективных и объективных факторов, которые могут повлиять на окончательный результат измерений и получаемое изображение, а также способы их недопущения и устранения. Тепловизорные исследования были проведены на коровах, собаках, кошках, хомяках. В описании клинических случаев заболеваний приводятся цветные иллюстрации с тепловизионной камеры с трактовкой полученных изображений.*

TEPLOVIZORNY RESEARCHES IN VETERINARY MEDICINE

V. M. Rucol, A. L. Lyah, V. A. Khovaylo, E. V. Khovaylo, A. N. Tolkach

EI «Vitebsk order "Badge of Honor" Academy of veterinary medicine»
Vitebsk, Republic of Belarus
(Republic of Belarus, 210026, Vitebsk, 7/11 first Dovatora st., e-mail: bmzip@mail.ru)

Key words: *thermal imager, diagnostics, dog, cat, cow.*

Summary. *Data on a possibility of clinical use of the thermal imaging camera for diagnostics of pathological processes of the followed by temperature change at animals in the conditions of animal industry (dairy complexes) and veterinary clinics are provided in article. A thermography – a method of functional diagnostics which cornerstone registration of infrared radiation which proceeds from any bodies is.*

The technique of preparation for work with the thermal imager is in detail described. Examples of subjective and objective factors which can affect a final output of measurements and received images, and also ways of their prevention and elimination are given. Thermal image researches were conducted on cows, dogs, cats, hamsters. Color illustrations from the thermal imaging camera with interpretation of the received images are given in the description of clinical cases of diseases.

(Поступила в редакцию 05.03.2019 г.)

Введение. Термография – метод функциональной диагностики, в основе которого лежит регистрирование инфракрасного излучения тела.

Любые тела, в целом независимо от их природы, способны испускать электромагнитные волны в достаточно широком диапазоне длин волн, в т. ч. и инфракрасное излучение, также называемое тепловым. Верхняя граница ИК-излучения определяется светочувствительностью человеческого глаза и граничит с видимым светом с длиной волны 0,76 мкм, а нижняя граница достаточно условна, до 1000-2000 мкм и перекрывается диапазоном радиоволн. В ИК-диапазоне есть участки, где излучение достаточно интенсивно поглощается окружающей исследуемый объект атмосферой. Так, в ней присутствует углекислый газ, озон, водяной пар, но с увеличением длины волн влияние этих помех сильно снижается. Биологические объекты с температурой в диапазоне от 31 до 42^0C, излучают в диапазоне 6-50 мкм, а максимум спектральной плотности приходится на длину волны около 10 мкм. Основным и наиболее часто используемым рабочим диапазоном тепловизионной аппаратуры являются 3-5,5 мкм (средневолновой ИК-диапазон, или MWIR) и 8-14 мкм (длинноволновой ИК-диапазон, или LWIR). Именно в этих диапазонах длин волн помехи для их регистрации со стороны среды минимальны, а излучательная способность наблюдаемых объектов с температурой от -50 до $+50^0$C максимальна.

Тепловизор – это сложная оптико-электронная система, которая позволяет формировать визуально видимое изображение на дисплее, при регистрации инфракрасного излучения обследуемого объекта или области пространства. Принцип работы тепловизора основан на наличии разницы температур поверхности разных тел, отличиях в их отражающей или поглощающей способности инфракрасного излучения. Это позволяет в реальном времени формировать картину распределения температуры в исследуемой области, ассоциируя определенный цвет на дисплее с конкретной температурой, при этом температурное разрешение может достигать 0,01 градуса.

Для изготовления объективов тепловизионных приборов используется монокристаллический германий, также могут применяться

халькогенидное стекло, сапфир, селенид цинка, кремний и полиэтилен. Фоточувствительным элементом тепловизионного прибора является двумерная многоэлементная матрица фотоприемников, изготовленных на основе различных полупроводниковых материалов. Технологий производства инфракрасных чувствительных элементов достаточно много. Однако в современных тепловизионных приборах можно отметить подавляющее превосходство микроболометрических матриц на основе аморфного кремния и оксида ванадия, которые не требуют применения специальных систем охлаждения, для снижения инфракрасных шумов от посторонних, не исследуемых в данный момент объектов. Микроболометр представляет собой приемник энергии инфракрасного излучения, действие которого основано на изменении электропроводности чувствительного элемента при нагревании его вследствие поглощения излучения. Чувствительный материал поглощает инфракрасное излучение, вследствие чего, согласно закону сохранения энергии, чувствительная площадка пикселя (единичного фотоприемника в матрице) микроболометра нагревается. Внутренняя электрическая проводимость материала изменяется, а эти изменения регистрируются и обрабатываются электронным измерительным блоком прибора. Конечным итогом является монохромная или цветная визуализация температурной картины на дисплее прибора. Отметим, что цветность, в которой отображается температурная картина на дисплее, целиком и полностью зависит от работы программной части тепловизионного прибора.

Иностранные ученые уже не первый год занимаются термографией как бесконтактным, не инвазивным методом диагностики заболеваний различной этиологии [1]. Температура тела отражает состояние тканевого обмена. Аномальное повышение (понижение) температуры может свидетельствовать о нарушении их кровоснабжения.

Чаще всего тепловизоры применяются для удаленной работы, например, для выявления стельности у коров и овец в стаде (отаре), не проводя индивидуального осмотра, хромоты у коров и лошадей [2].

Цель работы – изучение возможности клинического применения тепловизионной камеры доступного ценового диапазона для диагностики патологических процессов, сопровождающихся изменением температуры у животных, в условиях промышленного животноводства (молочных комплексов) и ветеринарных клиниках.

Материал и методика исследований. Для бесконтактного измерения и регистрации температуры использовали инфракрасный тепловизор доступной ценовой категории марки RGK TL-160. Диапазон регистрируемых температур – от -20°С до 350°С. Термочувствительность

– 0,08°С. Поле зрения – 25°х19°. Погрешность измерения температуры – ±2°С, или ±2% от показаний в °С. Диапазон расстояний отчетливой фокусировки – 30-50 см.

Поскольку на окончательный результат измерения и получаемое изображение влияет ряд объективных и субъективных факторов, то для их нивелирования перед тепловизорным исследованием животных адаптировали к температуре окружающей среды. В литературе есть данные, что человеку для температурной адаптации хватает примерно 20 мин [3, 4]. У животных, в зависимости от наличия и густоты шерстного покрова, это время колеблется от 10 до 35 мин. Помещение для термографического исследования должно быть закрытым, с постоянной температурой воздуха и без сквозняков.

Результаты исследований и их обсуждение. Учитывая принцип работы тепловизионной камеры, основанный на регистрации инфракрасного излучения, исходящего от объекта, мы предположили, что ряд патологических процессов, развитие которых сопровождается местной или общей гипо- и/или гипертермией, могут быть визуализированы с помощью данного прибора. Однако на окончательный результат измерения и получаемое изображение влияет ряд объективных и субъективных факторов, которые мы разделили на три группы.

Первая группа факторов (техническая) включает в себя ограничения технических параметров используемого прибора: его температурную чувствительность, гибкость настроек, разрешение матрицы и т. п.

- ✓ Очевидно, что многие общие и местные патологические процессы характеризуются гипо- или гипертермией, которую можно зарегистрировать на начальном этапе физикального обследования обычной термометрией либо, в случае местного изменения температуры, при пальпации животного. Применение тепловизионной камеры, которая в десятки раз дороже любого электронного контактного и бесконтактного термометра, в данном случае оправдано не столько ее температурной чувствительностью, сколько визуализацией температуры в сотнях тысяч точек, а не в одной точке, как при измерении термометром. Разрешающая способность матрицы тепловизора определяет качество (четкость) получаемой картинки.
- ✓ Вторым важным техническим параметром является чувствительность тепловизионной камеры, т. е. минимальный сдвиг температуры, который она способна зарегистрировать. Данный показатель может колебаться от 0,1 до 0,001°С. Чувствительность камеры существенно влияет на ее цену, что может стать ограничивающим фактором в ее приобретении.

✓ Третьим фактором могут стать характеристики объектива камеры, влияющие на формирование конечной картинки на матрице тепловизора. Один из важных показателей объектива – это угол, под которым лучи от объекта исследования падают на матрицу, формируя изображение. От «широкоугольности» объектива зависит расстояние, с которого можно проводить съемку. При работе с отдельными животными данный показатель не имел определяющего значения. Чем меньше расстояние до объекта съемки, тем меньше тепловых помех могло повлиять на результат. Возможно, этот показатель имел бы значение при тепловизионной съемке больших групп животных, например, в птичниках или загонах для скота. В нашей работе более важным параметром объектива тепловизора явилась его настройка на резкость, т. е. возможность фокусировки на интересующей поверхности тела животного и, как следствие, формирование резкой картинки искомой области.

✓ Четвертым важным техническим фактором явилась возможность вносить поправочные коэффициенты теплоотдачи. Данный параметр позволял повысить точность измерения температуры в интересующей области. Поскольку основная область использования тепловизоров – это строительная отрасль, то коэффициенты, касающиеся различных строительных материалов, уже определены и занесены в таблицы. В отношении животных требуется индивидуальный сравнительный подход. Поскольку материалом, обладающим 100% теплоотдачей, является поливинилхлоридная клейкая лента (ПВХ изолента), то именно ее мы использовали для определения такового коэффициента у животных. Методика проста: ПВХ изоленту наклеивали на тело животного в участок измерения и сравнивали разницу в показаниях температуры, если она имелась, то, вводя поправочный коэффициент, добивались одинаковых показаний на приборе в области ПВХ ленты и соседнем участке тела.

Не менее важным фактором, влияющим на качество формируемой картинки, является поправочный коэффициент температуры окружающей среды, в которой проводятся измерения. Данный параметр можно вводить, измерив температуру на рядом расположенных объектах. Однако более объективным методом будет использование фильтра Ламберта, представляющего собой поверхность из скомканной, а затем расправленной фольги. Данный фильтр позволяет создать рассеянный равномерный поток инфракрасного излучения, дающий наиболее точные представления об «инфракрасном фоне» помещения.

Вторая группа факторов, влияющих на тепловизионное изображение, связана с выраженностью температурных колебаний у живот-

ного в патогенезе патологического процесса. В классическом описании ряда патологических процессов присутствует либо изменение температуры тела, либо отдельных его участков, которое можно зафиксировать качественно и измерить количественно. Однако в практических условиях не всегда удается застать этап изменения температуры, что может быть связано с запоздалым обследованием животного или с уже оказанным первичным самостоятельным лечением, что часто бывает в отношении мелких животных. Как известно, хронические воспалительные процессы не характеризуются изменением температуры тела и его отдельных участков. Поэтому круг патологических процессов, потенциально регистрируемых тепловизионной камерой, сужается до острых воспалительных (артрит, синусит, травма) и иных патологических процессов (тепловой и солнечный удар) с общим либо местным повышением температуры и патологических процессов, связанных с общим либо местным понижением температуры (отеки, тромбозы, сильные кровопотери и др.). Помимо этого, важна стадия, на которой пациент поступил на исследование. Очевидно, что травма в завершающую стадию заживления не будет сопровождаться изменением местной температуры. Таким образом, вторая группа факторов, может оказать значительное ограничение на результативность использования тепловизора в качестве диагностического прибора.

Третья группа факторов, ограничивающих использование тепловизора, – это условия проводимых измерений. Инфракрасное излучение, исходящее от объекта исследования, подвергается воздействию ряда факторов, искажающих конечную картинку на тепловизоре как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения. Движение воздуха в помещении рассеивает тепловое излучение, поэтому сквозняки и работающие в помещении вентиляторы и кондиционеры сводят возможность получения объективной тепловизионной картинки на «нет». Также сложно проводить исследование на открытом воздухе, особенно в ветреную погоду: резкий перепад температур в животноводческих помещениях при недостаточном их утеплении и высокая влажность могут приводить к конденсации влаги и появлению тумана, который также недопустим при проведении исследований. В жаркое время года температура измеряемого объекта может незначительно отличаться от температурного фона помещения, что также не позволяет получить качественное изображение на тепловизоре, поэтому при проведении измерений надо стараться создать максимальный контраст между инфракрасным фоном и исследуемым объектом. Наличие рядом с исследуемым животным источника более сильного теплового излучения, способного перекрыть таковое от самого животного, будет искажать и

размывать тепловизионную картинку. Поэтому надо исключить в зоне исследования наличие горячих радиаторов отопления, бойлеров, тепловентиляторов и т. п. Блестящая поверхность способна отражать инфракрасные лучи в различные стороны, в т. ч. и в объектив тепловизора, что искажает результаты, поэтому надо избегать исследования мелких пациентов на столе из нержавеющей стали или с полированным покрытием. Даже сам исследователь, не желая того, является источником излучения тепла и, находясь в зоне измерения, может оказывать влияние на его результаты. Учитывая этот факт, мы старались держать тепловизор на вытянутой руке.

Таким образом, вышеописанные группы факторов должны быть учтены и по возможности устранены для получения качественной тепловизионной картинки, имеющей диагностическую ценность.

Тепловизорные исследования позволяют выявлять повышение местной температуры, например вызванных дерматитом, на определенных участках тела, даже если они скрыты под шерстью. Прибор фиксирует местную воспалительную реакцию на ведение некоторых лекарственных веществ. На изображениях, полученных с тепловизора, эти участки четко видны и окрашены в красный цвет (рисунки 1, 2, 3), т. е. имеют самую высокую температуру по сравнению с окружающими тканями.

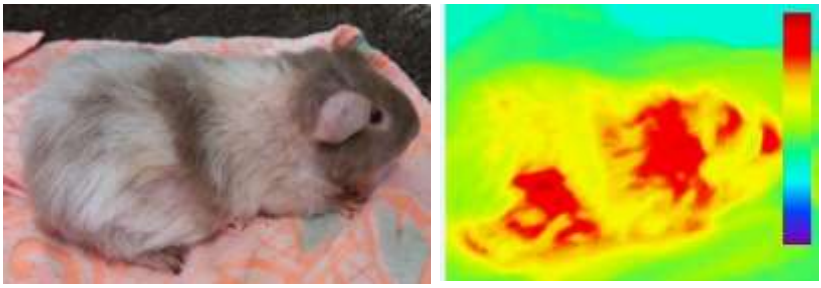


Рисунок 1 – Морская свинка с признаками местного воспаления

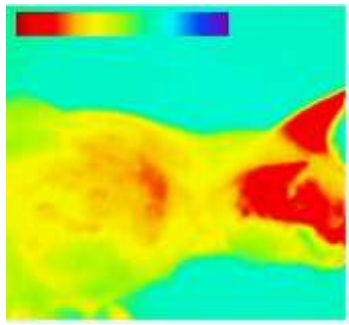


Рисунок 2 – Кошка с местной воспалительной реакцией (в области холки) на введение препарата

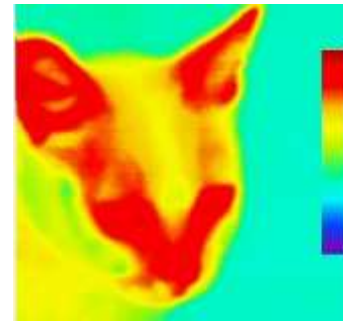


Рисунок 3 – Кошка с острым синуситом

У крупных животных клинический осмотр, например в ортопедии, связан с фиксацией в станке, а следовательно, и стрессом. Тепловизором можно оценивать состояние повязки (рисунок 4 а и 4 б) и делать вывод о необходимости дополнительной перевязки.

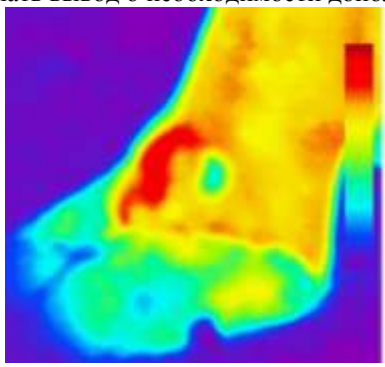


Рисунок 4 а – Копытце коровы с флегмоной венчика. Увеличение местной температуры до лечения

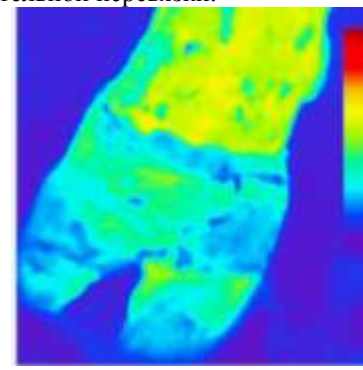


Рисунок 4 б – Копытце коровы с флегмоной венчика. Отсутствие увеличения местной температуры под бинтовой повязкой на 3-й день лечения

Тепловизорные съемки помогают выявить увеличение местной температуры, по сравнению со здоровыми копытцами (рисунок 6), в области копытец, не прибегая к фиксации коров в станках (рисунок 5), а значит, снижают стресс от осмотра ветеринаром.



Рисунок 5 – Копытце коровы с флегмоной венчика

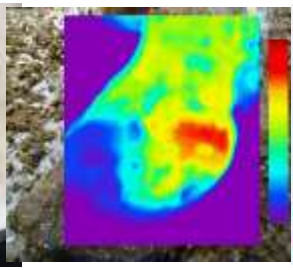


Рисунок 6 – Здоровое копытце коровы

Такая удаленная диагностика позволяет снизить временные затраты на ортопедическую диспансеризацию.

Заключение. Тепловизорные исследования при соблюдении условий проведения испытаний дают высоко достоверные показатели, облегчая осмотры агрессивных животных, диагностику хромоты, позволяют сокращать время на клинический осмотр, определение локализации зуда, наличия мастопатии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шушарин, А. Г. Медицинское тепловидение – современные возможности метода / А. Г. Шушарин, В. В. Морозов, М. П. Половинка // Современные проблемы науки и образования. – 2011. – № 4. – С. 1-18.

2. Evaluation of infrared thermography body temperature and collar-mounted accelerometer and acoustic technology for predicting time of ovulation of cows in a pasture-based system. – Режим доступа: https:// app.dimensions.ai/details/publication/pub.1030061909. – Дата доступа: 04.12.2018.

3. Jonez, B. F. A reappraisal of the use of infrared thermal image analyzer in medicine / B. F. Jonez // Med. Imaging. 1998. Vol. 17, N 6. P. 1019-1027.

4. Rekant, S. I. Veterinary applications of infrared thermography / S. I. Rekant, M. A. Lyons, J. M. Pacheco // Am. J. Vet. Res. 2016. Vol. 77, N 1. P. 98-107.