

Научная статья/Research Article

УДК 619:611.738+619:612+636.7

DOI: 10.36718/1819-4036-2023-12-176-182

Эмма Владимировна Баданова<sup>1</sup>, Екатерина Александровна Зубарева<sup>2</sup>✉

<sup>1,2</sup>Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, Омск, Россия

<sup>1</sup>ev.badanova@omgau.org

<sup>2</sup>ea.zubareva@omgau.org

## МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ И БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕКОТОРЫХ МЫШЦ ЗАПЯСТНОГО СУСТАВА У СОБАКИ: ПИЛОТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

*В статье приводятся морфофункциональные характеристики некоторых мышц запястного сустава собаки, а также их биоэлектрические характеристики. Цель исследования – описать биоэлектрические характеристики лучевого и локтевого разгибателей запястья собаки с учетом морфофункциональных характеристик данных мышц. Задачи исследования: провести морфологическое и электрофизиологическое исследование лучевого и локтевого разгибателей запястья у собаки; выявить закономерности формирования ЭМГ в зависимости от внутреннего строения и иннервации мышц, провести сравнительную оценку морфологических и биоэлектрических характеристик изучаемых мышц. Исследования проводились на кафедре анатомии, гистологии, физиологии и патологической анатомии ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина» (г. Омск). В результате проведенных исследований выявлено, что иннервация мышечных волокон локтевого и лучевого разгибателя запястья собаки имеет сходный, групповой характер, то есть группы мышечных волокон имеют большое количество двигательных единиц. Данные группы отражаются на ЭМГ как отдельные комплексы. Отдельный комплекс потенциалов действия в паттерне ЭМГ-сигнала имеет продолжительность 0,01–0,014 с и частоту 600–800 Гц. Длина мышечных пучков у обеих мышц различна: у локтевого разгибателя запястья равна 0,5 см, у лучевого соответственно – 3,5 см. Таким образом, было обнаружено, что особенности иннервации и внутреннего строения мышцы влияют на рисунок ЭМГ-сигнала. Влияние строения мышцы по типу перистости и длине мышечных волокон (у перистых мышц) не выявлено. Таким образом, получаемый рисунок (паттерн) ЭМГ-сигнала характерен для статодинамических мышц. Предложенная модель формирования ЭМГ-сигнала в результате дальнейшей разработки будет иметь перспективу своего применения для качественной и количественной интерпретации и оценки функционального состояния нервно-мышечной системы у животных и человека.*

**Ключевые слова:** лучевой разгибатель запястья, локтевой разгибатель запястья, ЭМГ, собака, скелетные мышцы, физиология, анатомия, иннервация

**Для цитирования:** Баданова Э.В., Зубарева Е.А. Морфофункциональные и биоэлектрические характеристики некоторых мышц запястного сустава у собаки: пилотное исследование // Вестник КрасГАУ. 2023. № 12. С. 176–182. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-12-176-182.

Emma Vladimirovna Badanova<sup>1</sup>, Ekaterina Aleksandrovna Zubareva<sup>2</sup>✉

<sup>1,2</sup>Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Omsk, Russia

<sup>1</sup>ev.badanova@omgau.org

<sup>2</sup>ea.zubareva@omgau.org

## MORPHOFUNCTIONAL AND BIOELECTRIC CHARACTERISTICS OF SOME MUSCLES OF THE WRIST JOINT IN A DOG: PILOT STUDY

The paper presents the morphofunctional characteristics of some muscles of the dog's wrist joint, as well as their bioelectrical characteristics. The purpose of the study is to describe the bioelectrical characteristics of the radial and ulnar extensor carpi of the dog, taking into account the morphofunctional characteristics of these muscles. Objectives of the study: to conduct a morphological and electrophysiological study of the radial and ulnar extensor wrist muscles in dogs; identify patterns of EMG formation depending on the internal structure and innervation of muscles, and conduct a comparative assessment of the morphological and bioelectrical characteristics of the muscles being studied. Research was carried out at the Department of Anatomy, Histology, Physiology and Pathological Anatomy of the Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin (Omsk). As a result of the studies, it was revealed that the innervation of the muscle fibers of the dog's extensor carpi ulnaris and radialis has a similar, group character, that is, groups of muscle fibers have a large number of motor units. These groups are reflected on the EMG as separate complexes. An individual set of action potentials in the EMG signal pattern has duration of 0.01–0.014 s and a frequency of 600–800 Hz. The length of the muscle bundles in both muscles is different: for the extensor carpi ulnaris it is 0.5 cm, for the radial one, respectively, 3.5 cm. Thus, it was found that the characteristics of the innervation and internal structure of the muscle affect the pattern of the EMG signal. The influence of muscle structure by the type of feathering and the length of muscle fibers (in feathery muscles) was not revealed. Thus, the resulting pattern (pattern) of the EMG signal is characteristic of statodynamic muscles. The proposed model of EMG signal formation, as a result of further development, will have the prospect of being used for qualitative and quantitative interpretation and assessment of the functional state of the neuromuscular system in animals and humans.

**Keywords:** radial wrist extensor, elbow wrist extensor, EMG, dog, skeletal muscles, physiology, anatomy, innervations

**For citation:** Badanova E.V., Zubareva E.A. Morphofunctional and bioelectric characteristics of some muscles of the wrist joint in a dog: pilot study // Bulliten KrasSAU. 2023;(12): 176–182. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2023-12-176-182.

**Введение.** Регистрация биоэлектрической активности скелетных мышц (метод электромиографии – ЭМГ) является самым объективным методом исследования функционального состояния мышц [1]. Понимание механизмов образования ЭМГ-сигнала является важным критерием для правильной интерпретации и оценки сигнала. Попытки выделить параметры зависимости сигнала от морфологии мышцы обычно сводились к поиску корреляции ЭМГ-сигнала и силы мышечного сокращения; проводилась декомпозиция сигнала на отдельные импульсы, которые имеют схожие форму, амплитуду и длительность [2]. Данные исследования имеют цель определить закономерности работы двигательных единиц.

В настоящем исследовании проведен анализ взаимосвязи строения мышцы, ее внутренней архитектуры и иннервации с ЭМГ-сигналом. Результаты данного исследования помогут повысить эффективность и объективность оценки

функционального состояния мышцы (степень утомления, восстановления после нагрузки, тонуса мышц и т.д.) по ЭМГ-сигналу. Кроме того, расширение знаний и методов изучения нервной и мышечной ткани необходимо для получения адекватной обратной связи, на базе которой реализуется система управления биологическими процессами организма.

**Цель исследования** – провести корреляцию между ЭМГ-сигналом и внутренним строением, иннервацией и особенностями работы изучаемой мышцы.

**Материалы и методы.** Нами были проведены морфологические и электрофизиологические исследования нескольких мышц грудной конечности у собак, а именно локтевой и лучевой разгибатели запястья. Изучение мышц проводилось на беспородных собаках ( $n = 5$ ) в возрасте 3–6 лет.

Для морфологического исследования использовались мышцы из кадаверного материала.

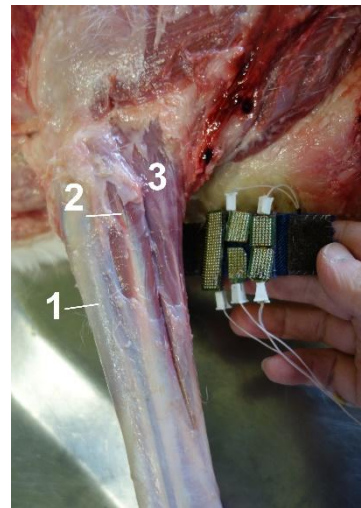
ла (собаки были подвергнуты эвтаназии по состоянию здоровья, но не имели признаков нарушения опорно-двигательного аппарата). Применялись методики обычного и тонкого препарирования с использованием микроскопа МБС-2 под падающей каплей воды по методу В.П. Воробьева. Конечные разветвления нервов в группах мышечных волокон изучались с использованием метода распучковывания и разволокнения по аналогичному методу для распучковывания и разволокнения нервов [3]. Мышечные волокна прикрепляли на спичку без головки и фиксировали в течение трех суток в 1,5 % растворе нейтрального формальдегида. Перед распучковыванием и разволокнением мышцы промывались в проточной воде, затем помещались на 1–1,5 ч в 5 % раствор уксусной кислоты для набухания мышечных волокон. Подготовленные мышцы промывались в проточной воде и микроскопировались под бинокулярным микроско-

пом МБС-3. С помощью препаровальных игл аккуратно снимались эпимизий и перимизий. Затем пучок нерва окрашивался железным гематоксилином по Вейгерту в течение 0,5–1 мин. Далее образец промывался дистиллированной водой, наносилась капля канадского бальзама, образец накрывался покровным стеклом и проводилась микроскопия.

Для электрофизиологического исследования скелетных мышц использовался метод поверхностной ЭМГ, разработанный нами для лошадей [4, 5]. Для регистрации ЭМГ-сигнала через волосяной покров у собак использовались электроды для поверхностной электромиографии [6]. Размер электродов 0,7 на 1,0 см с межэлектродным расстоянием 1,5 см. Электроды устанавливались на середину мышечного брюшка (рис. 1, а, б). Запись ЭМГ проводилась при шаге. Для регистрации ЭМГ использовались мышцы локтевого и лучевого разгибателя запястья.



а



б

Рис. 1. Фиксация электродов на конечности собаки для регистрация ЭМГ (а), сопоставление размера электродов к мышцам запястного сустава и суставов пальцев (б):

1 – локтевой разгибатель запястья; 2 – общий разгибатель пальцев;

3 – лучевой разгибатель запястья

**Результаты и их обсуждение.** Мышца лучевого разгибателя запястья (*m. extensor carpi radialis*) состоит из коротких и длинных мышечных пучков (3,5–4,0 см), образует передний контур предплечья, имеет двуперистый тип строения. Участвует в разгибании запястного и сгибании локтевого суставов. Статодинамического типа. Активна при приземлении и опоре конечности. Мышца иннервируется лучевым нервом, который делится на латеральную и медиальную

ветви (рис. 2, а, б). Латеральные ветви лучевого нерва вступают в мышцу с медиальной поверхности и разветвляются по дихотомическому типу ветвления [7]. На микропрепарате (рис. 2, в) видны многочисленные сети нервных волокон и нервно-мышечные синапсы.

Локтевой разгибатель запястья (*m. extensor carpi ulnaris*) является многоперистой, статодинамического типа, участвует в разгибании запястного сустава. Длина мышечных пучков 0,5 см.

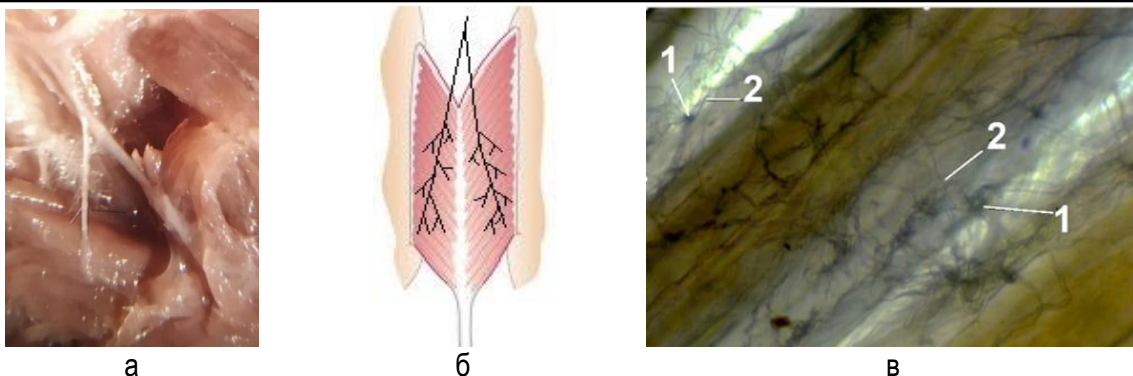


Рис. 2. Иннервация *m. extensor carpi radialis*: а – разветвление лучевого нерва в мышце; б – схематичное изображение иннервации мышцы; в – микропрепарат разветвления нервных окончаний в мышечных волокнах (окраска гематоксилином по Вейгерту × 140):

1 – нервно-мышечные синапсы; 2 – нервные волокна

Иннервируется локтевым нервом, который входит в состав сосудисто-нервного пучка, проходящего по медиальной поверхности плечевой кости. В проксимальной части локтевой кости локтевой нерв делится на дорсальную и пальмарную ветви, которая затем разветвляется в

мышце локтевого разгибателя запястья по рассыпному типу ветвления нервов (рис. 3 а, б). Конечные разветвления нервных окончаний локтевого нерва в мышце локтевого разгибателя запястья (рис. 3, в) имеют сходный характер ветвления, как у лучевого разгибателя запястья.

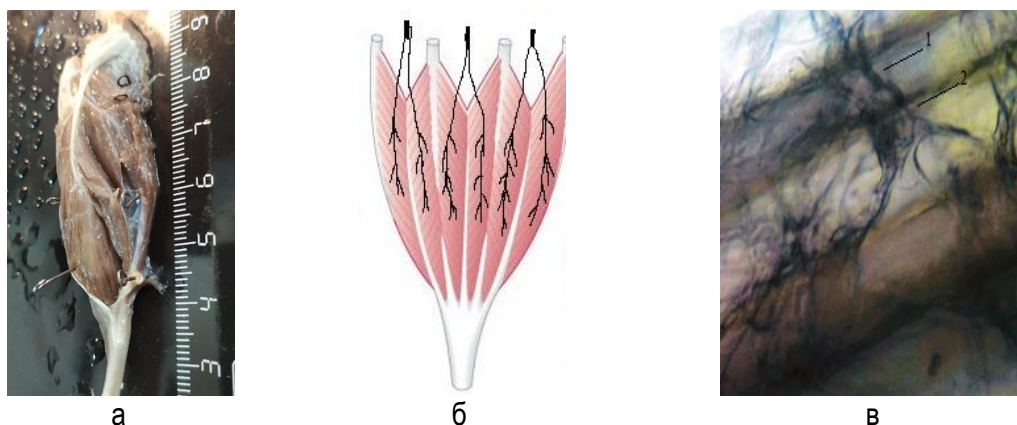


Рис. 3. Иннервация *m. extensor carpi ulnaris*: а – макропрепарат изолированной мышцы; б – схема иннервации мышцы; в – микропрепарат разветвления нервных окончаний в мышечных волокнах (окраска гематоксилином по Вейгерту × 140)

Прежде чем судить о связи ЭМГ с морфологией мышцы, следует заметить, что рисунок ЭМГ-сигнала изучаемых нами мышц в разных источниках литературы имеет сходство с получаемыми нами сигналами. Причем сигнал с крупных мышц параллельного типа предполагает свою характеристику сигнала, о чем будет описано в последующих статьях.

На рисунке 4, а представлен пример серии ЭМГ-сигнала сокращения локтевого разгибателя запястья у собаки. Если взять ЭМГ отдельного сигнала (рис. 4, б), растянуть его и проанализировать рисунок пиков, то можно заметить отдельные комплексы (пачки) импульсов, которые

могут быть результатом возбуждения группы мышечных волокон двигательной единицы, причем наличие в перистой мышце большого количества коротких мышечных волокон формирует рисунок пачки наиболее четко, так как возбуждаются отдельные зоны мышцы. Причем возбуждение одной зоны быстро сменяется возбуждением другой зоны мышцы.

Методом декомпозиции описывали, что ЭМГ – это сумма потенциалов действия (ГД) нескольких двигательных единиц (ДЕ). Двигательная единица состоит из мышечных волокон и иннервируемого их веточками нервного волокна. Авторами была проведена декомпозиция

путем разложения импульсов по их форме, длительности и амплитуде. При сокращении возбуждается несколько ДЕ, их количество зависит от силы сокращения [8]. В результате наших исследований выявлено, что ЭМГ-сигнал сокращения при шаге состоит из отдельных комплексов (пачек) импульсов отдельных ДЕ. Отдельный комплекс имеет приблизительно 0,01–0,014 с продолжительности и частоту сигнала 600–800 Гц. Амплитуда сигнала оценивается в

пределах амплитуды получаемого сигнала, так как данный показатель зависит от многих факторов, включая толщину кожи, контакт электрода с кожей, сопротивление и т. д. Частота, длительность и форма паттерна ЭМГ-сигнала являются наиболее информативными показателями, поэтому могут быть использованы для сравнительной оценки ЭМГ-сигналов и диагностики функционального состояния мышцы при использовании других техник ЭМГ.

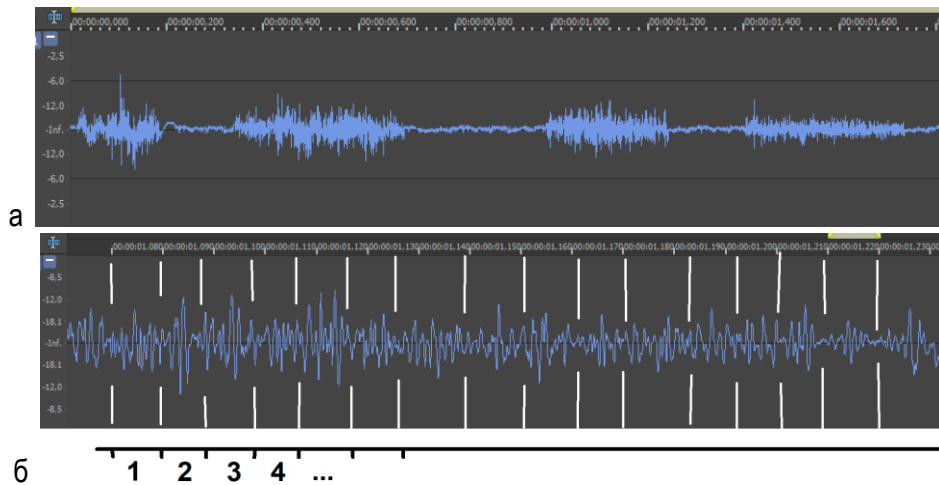


Рис. 4. Общий вид ЭМГ локтевого разгибателя запястья у собаки (а), растянутый отрезок отдельного мышечного сокращения (б)

Высокая частота сигнала свойственна мышцам статодинамического типа, так как функциональным назначением данных мышц является стабилизация сустава (статика) и разгибание запястного сустава с незначительной ротацией конечности к наружи (динамика). Исследуемые мышцы имеют хорошо развитую фасциальную

ткань, которая является остовом и стабилизатором работы мышц, особенно в статике [9].

В результате проведенных морфологических и электрофизиологических исследований можно создать графическую модель механизма формирования ЭМГ-сигнала (рис. 5, а, б).

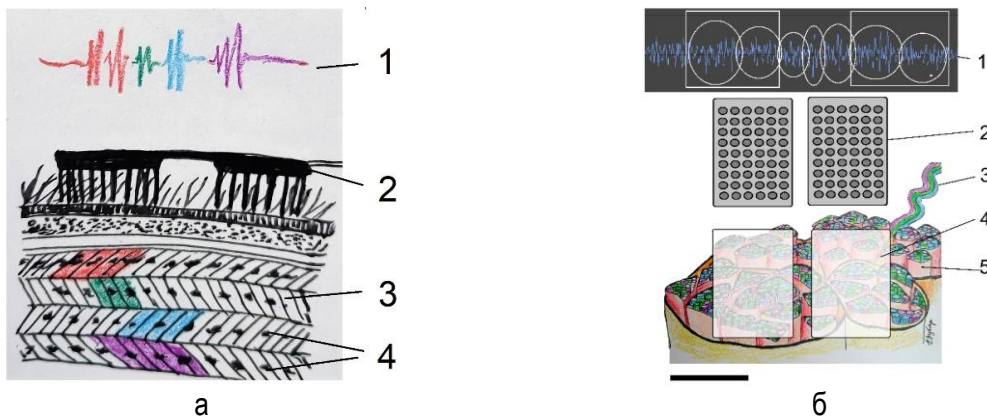


Рис. 5. Схематичное изображение механизма формирования ЭМГ-сигнала: а – вид сбоку: 1 – ЭМГ-сигнал; 2 – поверхностные электроды; 3 – мышечные волокна; 4 – нервно-мышечные синапсы; б – вид сверху: 1 – ЭМГ-сигнал с выделенными пачками ПДДЕ; 2 – вид электродов сверху с контактными элементами; 3 –  $\alpha$ -мотонейрон; 4 – проекция электродов на мышечные пучки; 5 – пучок мышечных волокон разных ДЕ (отрезок снизу равен 0,7 см)

**Заключение.** В результате проведенных исследований были сформулированы следующие выводы:

– особенности иннервации и внутреннее строение мышцы влияют на рисунок ЭМГ-сигнала, причем влияние мышц одно- или многоперистого типа на сигнал не выявлен;

– ЭМГ-сигнал сокращения при шаге состоит из отдельных комплексов (пачек) импульсов отдельных ДЕ, отдельный комплекс потенциалов ДЕ локтевого и лучевого разгибателей запястья у собаки имеет приблизительную продолжительность 0,01–0,014 с и частоту сигнала 600–800 Гц;

– частота, длительность и форма паттерна ЭМГ-сигнала являются наиболее информативными показателями для оценки работы ДЕ;

– модель активации мышечных волокон имеет потенциал для создания универсальной модели формирования ЭМГ-сигнала, по которой можно будет получить качественные и количественные характеристики различного функционального состояния нервно-мышечной системы.

#### Список источников

1. *Barkhaus P.E.* EMG Evaluation of the Motor Unit – Electrophysiologic Biopsy. URL: <https://emedicine.medscape.com/article/1846028-overview>, свободный (дата обращения: 18.04.2023).
2. Tutorial: Analysis of motor unit discharge characteristics from high-density surface EMG signals / *A. Del Vecchio* [et al.] // *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2020. № 53. P. 10–24.
3. *Баданова Э.В., Мухаметжанова Т.Р.* Модификация метода разволокнения и распучковывания нервов // Новые подходы к изучению актуальных проблем патологии, морфологии и физиологии животных: мат-лы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 85-летию со дня рождения проф., д-ра биол. наук Пьянова Владимира Дмитриевича и 105-летию со дня образования кафедры анатомии, гистологии, физиологии и патологической анатомии ФГБОУ ВО Омский ГАУ. Омск, 2022. С. 9–12.
4. *Зубарева Е.А.* Методика фиксации электродов на теле млекопитающих // Каталог

научных и инновационных разработок ФГБОУ ВО Омский ГАУ: сб. ст. Омск, 2022. С. 64–65.

5. Пат. 81060 Рос. Федерация. Электрод для поверхностной электромиографии / *Зубарев А.А., Зубарева Е.А., Пьянов В.Д.* № 2008119988/22; заявл. 24.06.08; опубл. 10.03.09, Бюл. № 2. 3 с.
6. *Зубарева Е.А.* Электромиография скелетных мышц тренируемой лошади // *Коневодство и конный спорт*. 2011. № 3. С. 16–19.
7. Топография и морфометрия магистральных нервных стволов грудной конечности в области стило- и зейгоподия у собаки / *М.В. Щупакин* [и др.] // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. 2015. № 3. С. 229–231.
8. *Газизова А.И., Мурзабекова Л.М., Буржан Т.Н.* Морфология, топография мышц собаки в области плечевого пояса и плеча // *The Scientific Heritage*. 2022. № 87-1(87). С. 3–5.
9. *Purslow P.P.* The structure and role of intramuscular connective tissue in muscle function // *Frontiers in Physiology*. 2020. 11:495.

#### References

1. *Barkhaus P.E.* EMG Evaluation of the Motor Unit – Electrophysiologic Biopsy. URL: <https://emedicine.medscape.com/article/1846028-overview>, svobodnyj (data obrascheniya: 18.04.2023).
2. Tutorial: Analysis of motor unit discharge characteristics from high-density surface EMG signals / *A. Del Vecchio* [et al.] // *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2020. № 53. P. 10–24.
3. *Badanova E.V., Muhametzhanova T.R.* Modifikaciya metoda razvolokneniya i raspuchkovvaniya nervov // *Novye podhody k izucheniyu aktual'nyh problem patologii, morfologii i fiziologii zivotnyh: mat-ly Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyasch. 85-letiyu so dnya rozhdeniya prof., d-ra biol. nauk P'yanova Vladimira Dmitrievicha i 105-letiyu so dnya obrazovaniya kafedry anatomii, gistologii, fiziologii i patologicheskoy anatomii FGBOU VO Omskij GAU*. Omsk, 2022. S. 9–12.

4. *Zubareva E.A. Metodika fiksacii `elektrodov na tele mlekopitayuschih // Katalog nauchnyh i innovacionnyh razrabotok FGBOU VO Omskij GAU: sb. st. Omsk, 2022. S. 64–65.*
5. Pat. 81060 Ros. Federaciya. `Elektrod dlya poverhnostnoj `elektromiografii / *Zubarev A.A., Zubareva E.A., P'yanov V.D.* № 2008119988/22; zayavl. 24.06.08; opubl. 10.03.09, Byul. № 2. 3 s.
6. *Zubareva E.A. `Elektromiografiya skeletnyh myshc treniruemoj loshadi // Konevodstvo i konnyj sport. 2011. № 3. S. 16–19.*
7. *Topografiya i morfometriya magistral'nyh nervnyh stvolov grudnoj konechnosti v oblasti stilo- i zejgopodiya u sobaki / M.V. Schipakin [i dr.] // Voprosy normativno-pravovogo regulirovaniya v veterinarii. 2015. № 3. S. 229–231.*
8. *Gazizova A.I., Murzabekova L.M., Birzhan T.N. Morfologiya, topografiya myshc sobaki v oblasti plechevogo poyasa i plecha // The Scientific Heritage. 2022. № 87-1(87). S. 3–5.*
9. *Purslow P.P. The structure and role of intramuscular connective tissue in muscle function // Frontiers in Physiology. 2020. 11:495.*

Статья принята к публикации 07.08.2023 / The article accepted for publication 07.08.2023.

Информация об авторах:

**Эмма Владимировна Баданова**<sup>1</sup>, старший преподаватель кафедры анатомии, гистологии, физиологии и патологической анатомии, кандидат ветеринарных наук

**Екатерина Александровна Зубарева**<sup>2</sup>, старший преподаватель кафедры анатомии, гистологии, физиологии и патологической анатомии, кандидат биологических наук

Information about the authors:

**Emma Vladimirovna Badanova**<sup>1</sup>, Senior Lecturer at the Department of Anatomy, Histology, Physiology and Pathological Anatomy, Candidate of Veterinary Sciences

**Ekaterina Aleksandrovna Zubareva**<sup>2</sup>, Senior Lecturer at the Department of Anatomy, Histology, Physiology and Pathological Anatomy, Candidate of Biological Sciences

