

На правах рукописи

Вирясова Нина Александровна

Параметры электроэнцефалограмм спортивных лошадей разного
возраста и типа ВНД

Специальность: 03.03.01 – Физиология

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Москва – 2019

Работа выполнена на кафедре физиологии, этологии и биохимии животных Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева»

Научный руководитель: **Ипполитова Татьяна Владимировна,**
доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой физиологии, фармакологии и токсикологии им. А.Н. Голикова и И.Е. Мозгова ФГБОУ ВО МГАВМиБ – МВА имени К.И. Скрябина

**Официальные
оппоненты:** **Кулаичев Алексей Павлович,**
доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник кафедры высшей нервной деятельности, лаборатория сравнительной физиологии высшей нервной деятельности ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»

Емельянова Анна Сергеевна,
доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры анатомии и физиологии сельскохозяйственных животных ФГБОУ ВО РГАТУ

Ведущая организация: Ярославский НИИЖК – филиал ФНЦ «ВИК им. В.Р.Вильямса»

Защита состоится «10» июня 2019 г. в 12 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 220.043.09 на базе ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет имени К. А. Тимирязева», по адресу: 127550, г. Москва, ул. Прянишникова, д. 19, тел/факс: 8 (499) 976-21-84.

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке имени Н. И. Железнова ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева» и на сайте Университета www.timacad.ru.

Автореферат разослан «____» _____ 2019 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
к.б.н., доцент

Ксенофонтова А.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. В современном мире при всём возрастающих требованиях к увеличению продуктивности животных, актуальным становится определение функционального состояния организма животного, что является важным составляющим его здоровья. Головной мозг, как основной координатор всех физиологических функций, играет первостепенную роль в оптимальной регуляции всех процессов в организме.

Электроэнцефалография (ЭЭГ) - метод исследования корковой активности нейронов головного мозга, наиболее доступный и быстрый для физиолога и безопасный и простой для животного способ оценки функционального состояния головного мозга. Объективная оценка состояния центральной нервной системы методом ЭЭГ позволяет определить активность корковых нейронов как в качественно, так и в количественно сравнимых показателях. Данными ЭЭГ в физиологии животных можно пользоваться не только как научно-исследовательским методом, но и для диагностических целей. В связи с этим возникает большая потребность в изучении и правильной трактовке ЭЭГ для диагностики нормы и патологий ЦНС у лошадей.

Степень разработанности. Активное изучение биоэлектрической активности мозга методом ЭЭГ начинается в середине 20 века. В СССР впервые исследования электрической активности головного мозга с применением электронных приборов были проведены С. А. Саркисовым и М. Н. Ливановым. ЭЭГ у сельскохозяйственных животных исследовали и другие физиологи ещё в середине 20 века, но их работы носили экспериментально-описательный характер. А.Н.Голиков, Е.И. Любимов (1969) изучали ЭЭГ у крупного рогатого скота. Им также удалось в 1956 г. зарегистрировать биотоки мозга жеребят шлейфным осциллографом системы МПО-2.

Метод ЭЭГ за рубежом в основном используют для исследования процесса сна у лошадей (Y. Ruckebusch (1972), Mysinger P. W. (1985) и Ram C. Purohit (Auburn University, 1985)) и для оценки глубины наркоза и степени аналгезии при проведении общей анестезии во время хирургических операций (Monica Aleman, D.Colette Williams, University of California, Davis, 2015).

В России Э.Б. Николаева (2004) разработала методику регистрации биоэлектрической активности головного мозга рысистых лошадей при помощи накладных биполярных электродов в 4-х отведениях и изучала особенности её

при действии внешних раздражителей, таких как звуковые, зрительные, тактильные и слабые болевые.

Для животных обычно используются шлемы с четырьмя, шестью и восемью униполярными электродами, что связано с особенностями анатомического строения черепной коробки и топографии физиологических зон головного мозга разных видов животных. Схема расположения электродов, принятая в гуманитарной медицине, для лошадей неприменима в связи с особенностями анатомо-топографического расположения их головного мозга. Ранее применяемые методы имели ряд существенных недостатков, что неизбежно вело к возникновению артефактов в записи. В мировой науке ЭЭГ лошадей ещё мало изучена, параметры биоэлектрической активности не установлены, имеются лишь единичные сведения по этому вопросу. Качественные реакции головного мозга, связанные с ритмической активностью, описаны в основном на человеке. На лошадях подобных данных ранее не описано. Легко воспроизводимой методики, позволяющей в производственных условиях регистрировать ЭЭГ у лошадей, до настоящего времени разработано не было, что и определило выбор и актуальность данной темы исследования.

Цель диссертационной работы. Изучить биоэлектрическую активность коры больших полушарий головного мозга и установить параметры спонтанной электроэнцефалограммы у спортивных лошадей.

Для решения данной цели были поставлены следующие задачи:

1. Усовершенствовать и опробовать методику регистрации ЭЭГ у лошади в 6-и униполярных отведениях накладными электродами.
2. Изучить спонтанную биоэлектрическую активность корковых нейронов головного мозга и установить значения показателей ЭЭГ лошади в покое.
3. Изучить особенности спонтанной электроэнцефалограммы у спортивных лошадей разного возраста.
4. Изучить особенности спонтанной электроэнцефалограммы у спортивных лошадей разного типа ВНД.
5. Изучить особенности спонтанной электроэнцефалограммы у лошадей различной спортивной специализации.

Научная новизна. Нами усовершенствована и впервые использована методика регистрации ЭЭГ лошадей с помощью специального шлема для регистрации биоэлектрической активности мозга в 6-и униполярных

отведений накладными электродами. Разработана и опробована схема размещения электродов, соответствующая топографии функциональных зон головного мозга лошади, установлены показатели спонтанной ЭЭГ лошади в покое, выявлены особенности биоэлектрической активности корковых нейронов головного мозга у лошадей разного возраста, типа ВНД и спортивной специализации.

Теоретическая и практическая значимость. Установленные данные могут служить ориентировочным материалом для оценки функционального состояния центральной нервной системы (ЦНС) у спортивных лошадей ещё на этапе предпродажного исследования, что позволит определять потенциальные возможности организма, его устойчивость к стрессам, а следственно и результативность на соревнованиях. Выявленные характеристики основных ритмов могут быть использованы в оценке функционального состояния центральной нервной системы у спортивных лошадей, что позволяет рекомендовать данный метод для широкого применения в ветеринарии для диагностики различных патологий ЦНС у лошадей и оценки эффективности медикаментозной терапии.

Данный метод и устройство для регистрации ЭЭГ у животных являются наиболее объективными и удобными на сегодняшний день, что позволяет определять функциональное состояние нервной системы животных в производственных условиях, не прибегая к трудоёмким и затратным методам.

Методология и методы исследования. Все исследования выполнены в крупных конноспортивных комплексах на сертифицированном оборудовании и с применением методов, соответствующим требованиям.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Методика регистрации ЭЭГ у спортивных лошадей в 6-и униполярных отведениях накладными электродами.
2. Характеристика спонтанной ЭЭГ у спортивных лошадей в покое.
3. Особенности спонтанной ЭЭГ у лошадей разного возраста.
4. Особенности спонтанной ЭЭГ у лошадей разного типа ВНД.
5. Особенности спонтанной ЭЭГ у лошадей в зависимости от спортивной специализации.

Степень достоверности и апробация результатов. Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и практических предложений базируется на большом количестве выполненных исследований, которые были

произведены на сертифицированном оборудовании и обработаны по установленным стандартам.

Результаты исследований апробированы на международных и национальных научных конференциях: Шестая научно-практическая конференция «Актуальные вопросы ветеринарии, зоотехнии и биотехнологии», проводимая в рамках 8-го Всероссийского фестиваля науки «Nauka 0+» (Москва, 15 октября 2016 г.); Третья научно-практическая межотраслевая конференция «Перспективы использования достижений наук о сознании и высшей нервной деятельности в медицине, ветеринарии и для создания сельхозмашин нового поколения» - Москва, 30 июня 2016 г.; Международная научно-практическая конференция «Адаптационные механизмы и регуляция физиологических функций», посвященная 100-летию со дня рождения д.в.н., проф. А.Н. Голикова - г. Москва, 17-18 января 2017 г.; XI Международная заочная научно-практическая конференция «Теоретические и практические аспекты развития современной науки» (г. Москва, 2014);

Публикации. По теме диссертации опубликовано 6 печатных работ и 1 – в печати, в том числе 3 статьи в научных журналах и изданиях, которые включены в перечень российских рецензируемых научных журналов для публикации материалов исследования, а также 1 статья в научном журнале, входящем в международную базу цитирования.

Объем и структура работы. Диссертация изложена на 146 страницах машинописного текста и состоит из следующих разделов: введение, общая характеристика работы, собственные исследования, включающие главы: материалы и методы исследования, результаты исследования, обсуждение полученных результатов, заключение, список использованной литературы, приложения А–З. В работе представлено 29 таблиц, 50 рисунков (в т.ч. 21 таблиц и 12 рисунков в приложении).

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Материалы и методы исследования

Материалы

Объектом исследования стали 118 голов спортивных лошадей разных пород (таких как тракененская, ганноверская, голштинская и др.), различного пола и возраста (от 4 до 22 лет), используемых в конкурсе, троеборье и выездке (табл. 1).

Таблица 1

Количество исследованных лошадей по группам, гол.

Возрастная группа	Вид и уровень нагрузок	Выездка – юношеские езды	Выездка – Малый, Средний и Большой призы	Конкур	Троеборье	Прокат, группы начальной подготовки и хобби-класс
Молодые (от 4 – 8 лет)	2	7	23	13	3	
Среднего возраста (от 9 – 13 лет)	8	23	20	2	2	
Старшего возраста (14 – 18 лет)	2	2	5	2	1	
Пожилые (18 лет и старше)	2	–	–	–	1	
Всего	14	32	48	17	7	

Исследования мы проводили в КСК «Битца» и КСК «Новый век». Все животные на момент исследования были клинически здоровы и находились в активном тренинге, участвовали в соревнованиях (местных квалификационных, соревнованиях регионального уровня, а также международных). Во время исследования лошадей фиксировали в привычной обстановке при помощи недоуздка на развязках или в станке. Опыты проводили в утренние или дневные часы за 1 час до кормления/тренинга или спустя 1 час после.

Схема исследований приведена на рис 1.

Методы исследования

Регистрацию ЭЭГ проводили по методике, разработанной нами, при помощи специального запатентованного шлема Ипполитовой/Гаусс для регистрации ЭЭГ у животных (рис. 2), электроды на котором располагаются по проекциям разных долей мозга (рис. 3), что позволяет неинвазивно, без применения седативных веществ и выбивания шерсти регистрировать электрическую активность мозга.

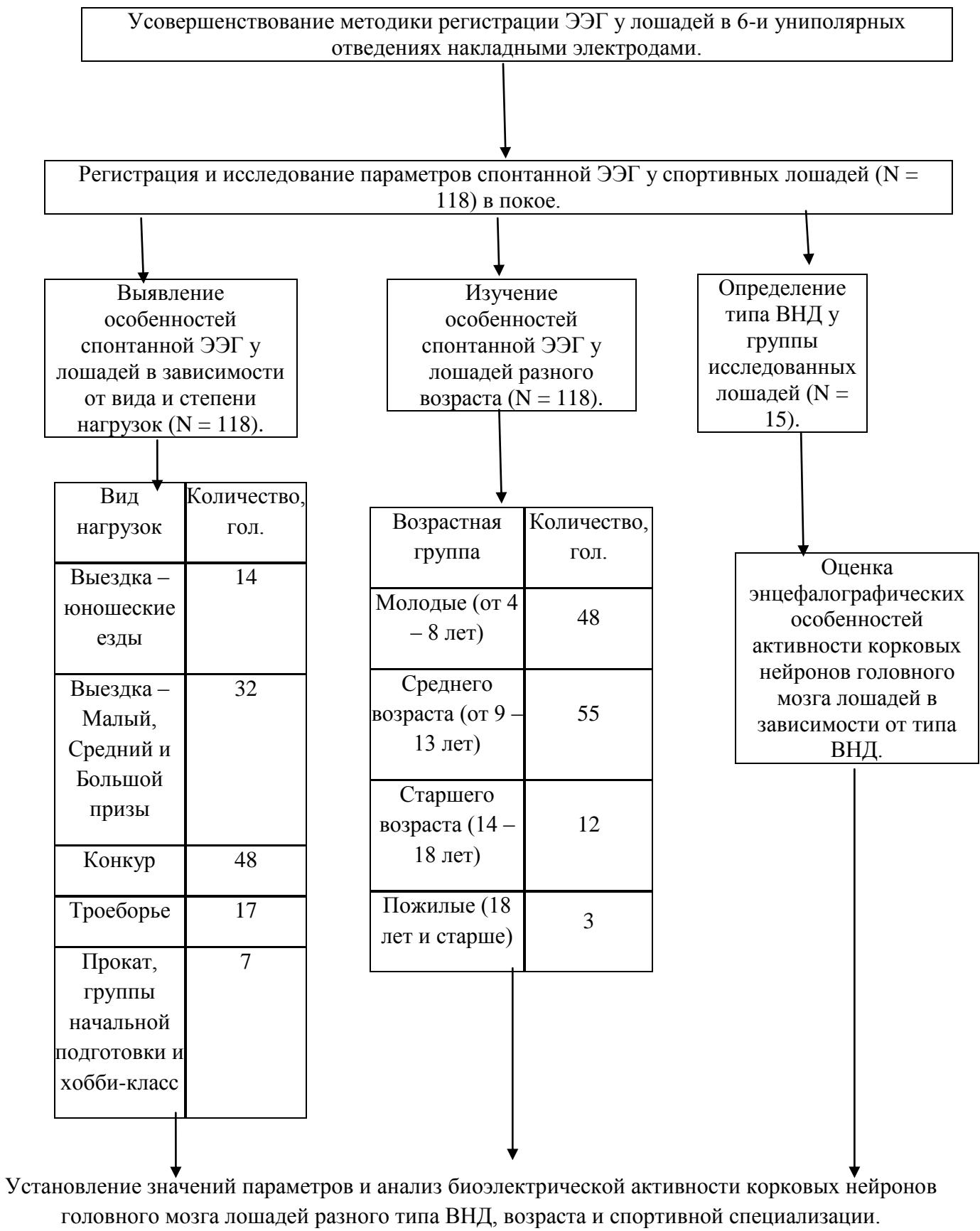


Рис. 1. Схема эксперимента



Рис. 2. Специальный шлем Ипполитовой/Гаусс для ЭЭГ у лошадей

Мы использовали накладные мостиковые электроды, они представляют собой металлические стержни, вставленные в специальный шлем для ЭЭГ лошадей. Нижний конец стержня контактирует с кожей головы, а к противоположному концу стержня подсоединяется отводящий провод. Шерсть на голове животного в месте прилегания электродов мы обезжиривали 70 %-м раствором спирта, а на электроды перед исследованием наносили электроконтактный гель. Усиленные сигналы с выхода усилителей записывали в память компьютера для последующей статистической обработки.

При помощи данного метода и устройства есть возможность регистрировать электротомограмму (рис. 4) – так называемую функциональную томографию, которая позволяет в режиме реального времени оценивать биоэлектрическую активность разных зон головного мозга и проводить анализ распространения токов по коре ГМ.

По биоэлектрической активности различных зон возможно предположить о приоритетном процессе, в данный момент происходящем в мозге лошади (рис. 5).

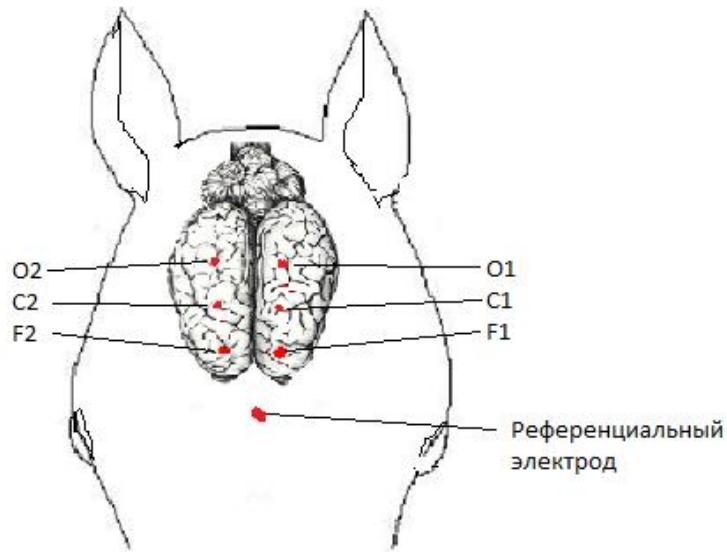


Рис. 3. Схема расположения электродов на проекциях головного мозга лошади

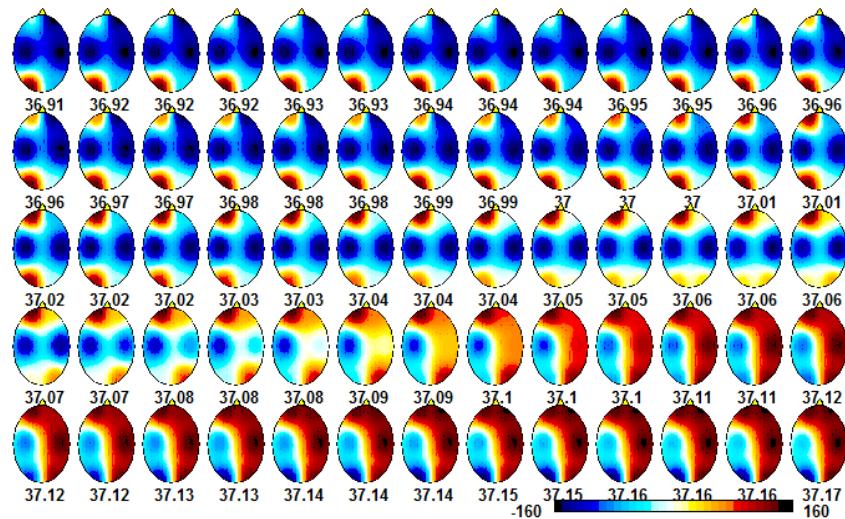


Рис. 4. Электротомограмма

Так лобные доли отвечают за когнитивные функции, запоминание навыков, также здесь располагается двигательная зона. Поэтому преимущественная активность лобных долей может свидетельствовать об активной ориентировочной реакции, когнитивном процессе и анализе информации. Теменная доля имеет функции анализа и обработки чувствительных и осязательных сигналов. К ним относят: осязательные, болевые ощущения и давление. Преобладание активности в этой доле может говорить о влиянии тактильного раздражителя. Височная доля имеет в своем строении слуховую кору, которая необходима для того, чтобы интерпретировать звуки и услышанную речь. Активности в этой доле говорит о

слуховом раздражении. Затылочные доли преобразуют световые сигналы в информацию о цвете, движении и форме объектов, понятные теменным долям, которые и формируют трёхмерные образы в сознании. Так активность этих долей мозга может указывать на влияние зрительного раздражителя.

Запись ЭЭГ продолжали в течение 2-5 мин после её стабилизации. Регистрацию активности корковых нейронов производили при помощи комплексной электрофизиологической аппаратно-программной системы (полиграфического анализатора) CONAN, используя визуальный метод и математическую обработку данных на основании критерия Стьюдента при помощи программы «Stadia».

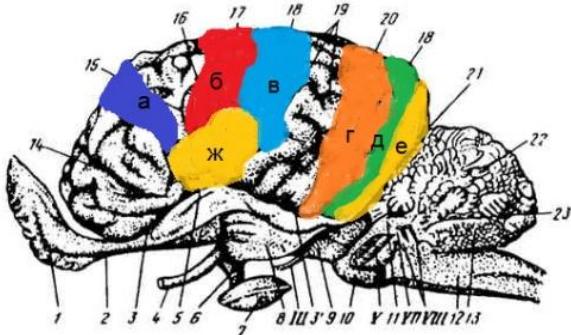


Рис. 163. Головной мозг лошади:

1 — обонятельная луковица; 2 — обонятельная извилина; 3 — базальная борозда; 3' — ее каудальная часть; 4 — зрительный нерв; 5 — остроков; 6 — воронка; 7 — гипофиз; 8 — грушевидная доля; 9 — ножки большого мозга; 10 — мост; 11 — боковая ножка мозжечка; 12 — продолговатый мозг; 13 — сосудистое сплетение четвертого желудочка; 14 — предсylvиева борозда; 15 — диагональная борозда; 16 — латеральная сильвнева борозда (передняя верхушечная и каудальная ветви); 17 — надсильвнева борозда; 18 — эктоплатеральная борозда; 19 — супрасильвнева борозда; 20 — эктомаргинальная борозда; 21 — поперечно-мозговая щель; 22 — мозжечок; 23 — ключок; III — глазодвигательный нерв; V — тройничный нерв; VII — лицевой нерв; VIII — равновесно-слуховой нерв

Рис. 5. а – Зона кожно-мышечной чувствительности; б – Двигательная зона; в – Сомато-сенсорная зона; г – Первичная зрительная зона (восприятие образов); д – Вторичная зрительная зона (понимание образов); е - Третичная зрительная зона (запоминание образов); ж – Слуховой центр.

Статистическая обработка данных велась в табличном процессоре Microsoft Excel с использованием возможностей пакета «Анализ данных». Для выявления влияния ВНД, возраста и спортивной специализации на выраженность ритмов использовался однофакторный дисперсионный анализ на основе параметрического критерия Фишера, который позволяет определять достоверность результатов независимо от выборки. Достоверными считали различия при $p=0,05$.

Анализ проводили с использованием научного профессионального статистического пакета Statistica 6.0 фирмы StatSoft.

Оценку мозговой ритмики мы проводили по следующим показателям:

Индекс выраженности ритма (ИВР) – степень проявления ритма, процент времени, в течение которого регистрируется данный ритм(%). Под выраженнойностью в данном случае понимают такую активность, которая включает как минимум 3 последовательных пика, характерных альфа-ритму, с амплитудой не менее 10 мкВ. Если индекс ритма больше 75% то его считают доминирующим, если 50-75% - субдоминирующим, в диапазоне 0-25% - слабо выраженным.

Частота – число полных колебаний, совершаемых в единицу времени, сек. (Гц).

Амплитуда – наибольшее отклонение (от среднего) значения величины, размах колебаний.

Результаты исследований

Особенности спонтанной биоэлектрической активности мозга лошади в покое

Применив указанную методику, мы выявили волны биоэлектрической активности головного мозга у спортивных лошадей следующих диапазонов: дельта (0,3 – 4 Гц, амплитуда до 40 мкВ), тета (4,1 – 7 Гц, около 30 мкВ), альфа (7,1 – 13 Гц, амплитуда до 100 мкВ), бета-1 (13,1 – 25 Гц, амплитуда - 3-5 мкВ), бета-2 (25 – 40 Гц, амплитуда - 3-5 мкВ) и гамма (выше 40 Гц) (рис. 6).

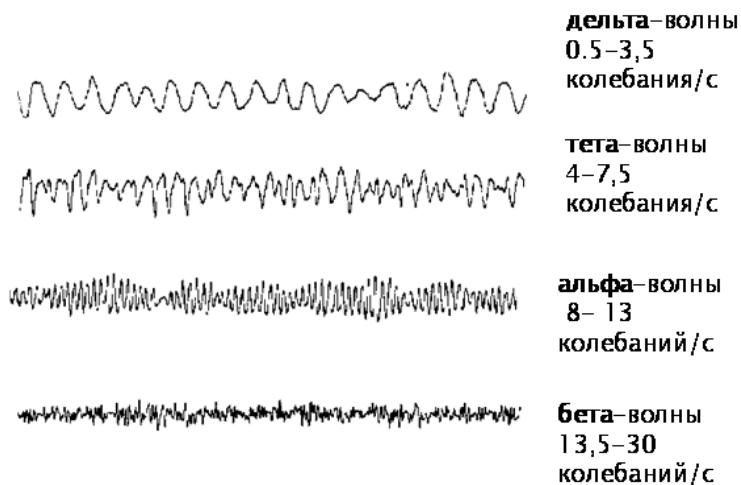


Рис. 6. Графическое изображение ритмов головного мозга

В ходе проведённых нами исследований у лошадей была определена степень проявления и установлены параметры ритмов в различных зонах головного мозга (лобное, теменное, затылочное отведения) в правом и левом полушариях (табл. 2).

Таблица 2

**Степень выраженности ритмов (ИВР) в различных зонах головного мозга
у всех исследованных лошадей, %**

Полушария головного мозга	Ритмы					
	альфа- ритм	бета-1- ритм	бета-2- ритм	дельта- ритм	тета-ритм	гамма- ритм
Лобное отведение (F)						
Левое полушарие головного мозга	61,1 \pm 3,87	72,87 \pm 1,44	63,73 \pm 4,49	86,9 \pm 0,45	73,60 \pm 2,19	82,6 \pm 1,31
Правое полушарие головного мозга	60,00 \pm 3,75	73,4 \pm 2,26	66,4 \pm 3,89	86,73 \pm 1,22	75,4 \pm 2,15	82,00 \pm 1,00
Теменное отведение (C)						
Левое полушарие головного мозга	55,53 \pm 4,78	72,73 \pm 2,36	61,40 \pm 3,80	86,00 \pm 0,93	74,80 \pm 1,95	81,53 \pm 0,86
Правое полушарие головного мозга	53,1 \pm 2,95	73,27 \pm 2,08	65,13 \pm 3,53	86,73 \pm 0,69	74,20 \pm 2,87	80,40 \pm 0,96
Затылочное отведение (O)						
Левое полушарие головного мозга	60,20 \pm 3,57	69,4 \pm 3,26	62,60 \pm 5,61	82,5 \pm 0,90	73,4 \pm 3,20	79,00 \pm 2,20
Правое полушарие головного мозга	59,60 \pm 4,45	71,33 \pm 2,99	60,9 \pm 5,02	84,80 \pm 1,63	75,47 \pm 2,23	80,90 \pm 0,92

уровень значимости $p=0,05$

Как мы можем видеть, все виды ритмов хорошо выражены и симметричны по амплитуде и частоте в обоих полушариях у всех исследованных лошадей (Рис.5). Значительных отличий между ИВР в правом и левом полушариях головного мозга лошади в ходе опыта не отмечалось, межполушарная асимметрия ярко не выражена. Однако наблюдается тенденция к небольшому преобладанию активности левого полушария.

Наиболее выраженным ритмом спонтанной активности в покое у спортивных лошадей является дельта-ритм (82,5-86,9%). Дельта-ритм представлял собой ритмические медленные волны длительностью 250-500 мс, данный ритм указывает на то, что лошадь в период регистрации находилась в состоянии спокойного бодрствования. Дельта-активность у человека чаще всего указывает на патологию (А.Р. Зенков, 2010), у животных же и в норме встречается выраженный дельта-ритм.

Тета-ритм представлен в диапазоне средних 73,4-75,4 %, он представляет собой регулярные медленные волны длительностью 200 мс с большой амплитудой и частотой 6 – 7 Гц. Тетаподобный ритм у лошадей более устойчив, чем альфа-ритм, и регистрировался более длительно, не изменяя своего частотно-амплитудного значения. Предполагается, что этот ритм наиболее выражен при выработке условных рефлексов.

Меньше других диапазонов выражена альфа-активность (53,1–61,1 %), а также высокочастотная бета-активность (60,9-66,4 %). При этом альфаподобный ритм характеризуется синхронными веретенообразными колебаниями с частотой 8-12 кол/с и амплитудой от 15 до 50 мкВ. Продолжительность синхронных колебаний от 2 до 15 секунд. Синхронные синусоидальные колебания появлялись на ЭЭГ и затухали спонтанно, при этом наблюдалась их группировка в своеобразные веретена, имеющие в своем составе вначале волны с низкой амплитудой, которые постепенно возрастили до максимума к середине веретена и понижая свою амплитуду к концу веретена. Открывание глаз, внешние раздражители, нервное напряжение вызывают подавление альфа-активности. Альфа-ритм прекращает определяться при появлении любых двигательных раздражителей.

Бета-ритм (частота 13-40, амплитуда – 5-20 мкВ) фиксировали у всех животных в состоянии активного бодрствования и как ответную реакцию на раздражители. Иногда его связывают с сенсомоторной системой. Частота бета-волн в состоянии активного бодрствования составляла 13-25 кол/с (бета-1-ритм), а при беспокойстве животного или при воздействии раздражителей 25-35 кол/с (бета-2-ритм). Низкочастотная бета-активность достаточно хорошо выражена (69,4-73,4 %), что свидетельствует о состоянии активного бодрствования животных во время регистрации. Предполагается, что этот ритм наиболее выражен при проявлении ориентировочной реакции.

Гамма-ритм (частота выше 40 кол/с, амплитуда ниже 10 мкВ) так же четко выражен 79-82,6 %. Гамма-волны появлялись у животных в активном бодрствующем состоянии, во время беспокойства животного и как ответная реакция на звуковые и зрительные раздражители.

Особенности спонтанной ЭЭГ у лошадей разного возраста.

Проведенные исследования особенностей ЭЭГ показали, что ЭЭГ разных возрастных групп лошадей так же имеют различия.

Таблица 4

Степень выраженности ритмов (ИВР) для 118 лошадей всех возрастов, %

Отведения Ритмы	Лобное отведение (левое полушарие)	Лобное отведение (правое полушарие)	Теменное отведение (левое полушарие)	Теменное отведение (правое полушарие)	Затылочное отведение (левое полушарие)	Затылочное отведение (правое полушарие)
Молодые лошади						
Дельта	86,8±1,11	86,4±0,07	84,8±2,63	86,2±0,94	85,4±3,48	86,6±1,82
Тета	77,2±3,43	75,4±0,49	73,2±3,05	68,6±1,37	73,6±3,89	83,8±2,25
Альфа	64,6±3,42	67,6±0,92	61,8±3,46	58,8±1,8	67,8±0,11	66,8±2,67
Бета-1	77,4±3,36	80,2±1,35	73,2±3,87	70,8±2,23	75,4±0,53	75,4±3,09
Бета-2	73,6±4,23	75,2±1,78	67,6±0,09	69,2±2,65	74,2±0,96	70,6±3,5
Гамма	81,8±1,12	83,8±2,21	82,4±0,51	83,8±3,07	82±1,39	82,2±3,91
Лошади среднего возраста						
Дельта	87,6±1,18	85,6±0,16	87,6±2,72	86,2±1,06	88,2±3,6	86±1,96
Тета	60,6±2,36	78±0,58	79,8±3,14	79±1,49	74±4,01	76,8±2,39
Альфа	44±3,21	63,6±1,01	62±3,55	62,6±1,92	54,8±0,25	58,6±2,81
Бета-1	68±3,15	75,4±1,44	76,6±3,96	76,6±2,35	70±0,67	74±3,23
Бета-2	44±4,45	68,6±1,87	62,8±0,21	61±2,77	59,2±1,1	60,2±3,64
Гамма	82,2±0,89	84,6±2,3	86±0,63	85,4±3,19	84,2±1,53	83,8±4,05
Лошади старшего возраста						
Дельта	75,6±2,36	80,4±0,47	77,8±3,03	74,8±1,3	78,2±3,84	78,2±2,14
Тета	76±2,58	78,4±0,89	78±3,45	73,8±1,73	76,2±4,25	76,4±2,57
Альфа	60,6±2,46	67,4±1,32	58,2±3,86	49,2±2,16	59,4±0,43	57±2,99
Бета-1	82,8±0,84	82,6±1,75	77,8±4,27	74,6±2,59	78,8±0,85	76,4±3,41
Бета-2	70,6±2,36	73,2±2,18	60,6±0,45	60,4±3,01	68,8±1,28	60,6±3,82
Гамма	83,8±8,5	83±2,61	84,2±0,87	82,6±3,43	83,4±1,71	82±4,23
Лошади пожилого возраста						
Дельта	88±0,16	89,5±0,55	61,5±3,02	85,5±10,9	86,5±13,2	87±11,5
Тета	76±0,35	69±2,49	46,5±0,33	78,5±2,47	66±0,42	64±4,22
Альфа	50,5±0,77	45,5±2,91	62±0,75	58±2,89	28,5±0,84	58±3,83
Бета-1	74±1,2	66±3,33	61,5±1,18	73,5±3,31	63±1,27	71±2,1
Бета-2	58,5±1,63	46±3,74	51±1,61	66,5±3,72	32,5±1,7	47,5±0,42
Гамма	82±2,06	83,5±4,15	63,5±2,04	86±4,13	78±2,13	85±1,22

уровень значимости $p=0,05$

В зависимости от возраста лошадей по альфа-ритму наблюдаются отличия в разных зонах. И если в лобном отведении выраженность разницы между левым и правым полушарием наблюдается у лошадей среднего и пожилого возраста, в теменном отведении у всех возрастов кроме пожилого преобладает левое полушарие, то в затылочном альфа-ритм более выражен в правом полушарии.

В отличие от альфа-ритма, выраженность среднего индекса бета-1-ритма примерно одинаковая от всех отведений вне зависимости от возраста, однако, только в затылочном отведении левого полушария выражены более ярко, чем в правом.

Наиболее выраженным ритмом спонтанной активности в покое у спортивных лошадей является дельта-ритм. Надо отметить, что пожилые лошади характеризуются большей выраженностью ритма.

Тета-ритм хорошо выражен и относительно симметричен по частоте и амплитуде в обоих полушариях. Однако можно отметить некоторые особенности, у лошадей старшего возраста во всех трех отведениях тета-ритм в правом полушарии преобладает над левым. У лошадей старше 18 лет в левом лобном отведении тета-ритм более интенсивный, а при затылочном отведении – наоборот.

Особенностью проявления гамма-ритма является большая активность в левом полушарии у молодых лошадей.

Таким образом, анализ данных показал, что ЭЭГ разных возрастных групп лошадей имеют определенные различия.

У молодых лошадей индексы выраженности ритмов в зависимости от отведения и полушария колеблются незначительно. Так, дельта-ритм выражен примерно одинаково во всех отведениях, так же, как и гамма-ритм. Преvalирующими являются дельта-, гамма- и тета-ритмы. Альфа-ритм выражен менее всего во всех отведениях. Волны высокочастотных (20-25 и выше 40 Гц) и низкоамплитудных (6-12 мкв) колебаний, относящихся к гамма- и бета-ритму, у молодых лошадей хорошо выражены, что свидетельствует о проявлении активной ориентировочной реакции во время регистрации. Быстрые низкоамплитудные колебания частотой 7,1 – 13 Гц (альфа-активность) и высокочастотная бета-активность (25 – 40 Гц) выражены меньше других диапазонов.

У лошадей среднего возраста индексы выраженности ритмов значительно колеблются в зависимости от отведения и полушария. Так, в лобном отведении левого полушария и затылочном отведении правого полушария все ритмы находятся практически на одном уровне. Во всех остальных отведениях наблюдаются значительные колебания между ритмами.

Для лошадей старшего возраста в лобном отведении левого полушария наиболее выраженные показатели наблюдаются у бета-1 и гамма-ритмов, остальные ритмы выражены в меньшей степени. У лошадей старшего возраста в незначительной степени над всеми ритмами превалирует медленноволновая высокоамплитудная активность частотой 2-5 Гц, характерная тета- и дельта-ритму, что может указывать на состояние спокойного бодрствования.

Исходя из полученных результатов, можем отметить значительные колебания ритмов во всех отведениях у лошадей пожилого возраста. ЭЭГ несинхронизирована

по полушариям и имеет значительные колебания по отведению. Тета-ритм выражен в меньшей степени, по сравнению с более молодыми животными. Кроме того, у пожилых лошадей наблюдается низкая выраженность быстрых низкоамплитудных колебаний, относящихся к альфа-ритму.

В лобном отведении левого и правого полушария, в теменном и затылочном отведениях правого полушария в меньшей степени выражен альфа-ритм, в то время как в теменном и затылочном отведениях левого полушария в меньшей степени выражен бета-2-ритм. Преобладающими являются дельта и гамма-ритмы, альфа и бета-2-ритмы выражены в наименьшей степени.

Исходя из результатов, установленных в ходе исследования видно, что в обоих полушариях наиболее сильно выражен дельта-ритм, за исключением лошадей старшего возраста, у которых гамма-ритм преобладает над дельта-ритмом. Бета-1, бета-2 и альфа-ритм, которые свидетельствуют об ориенти-ровочной реакции, у пожилых лошадей проявляются слабее, чем у других групп, тогда как именно эти ритмы выражены более всего у молодых лошадей, что может быть связано с реакцией на непривычную обстановку.

Проведенные исследования особенностей ЭЭГ у лошадей разного возраста показали, что ЭЭГ молодых лошадей можно сравнить с показателями лошадей старшего возраста, которые отличаются от ЭЭГ лошадей среднего и пожилого возраста, также схожих между собой.

Особенности спонтанной ЭЭГ у лошадей разного типа ВНД.

В ходе проведённых нами опытов мы выявляли особенности спонтанной ЭЭГ у лошадей разного типа ВНД. Для этого мы определили типы ВНД 15 голов лошадей из группы выездки.

Выявлены следующие типы ВНД:

- сильный уравновешенный подвижный (СУП) - 10 гол. (66,7%);
- сильный уравновешенный инертный (СУИ) - 3 гол. (20%);
- слабый (С) - 2 гол. (13,3%).

Сильный неуравновешенный (бездержный) тип мы не выявили.

Такое распределение по группам можно объяснить высокими требованиями к отбору спортивных лошадей. Лошади сильного неуравновешенного и слабого типа высшей нервной деятельности сложны в содержании и тренинге, они малопригодны или совсем непригодны для спорта высоких достижений, поэтому выбраковываются на начальных этапах подготовки.

При анализе данных установлено, что так называемые «ритмы сосредоточенности» (альфа и бета-2) у лошадей сильного уравновешенного инертного типа ВНД достоверно выражены в большей степени относительно лошадей других, выявленных нами, типов ВНД, а дельта-ритм менее выражен, что может свидетельствовать об относительной стойкости и стабильности нервных процессов.

В зависимости от силы нервных процессов установлено, что именно дельта-ритм достоверно больше выражен у лошадей со слабым типом ВНД относительно лошадей других, выявленных нами, типов, это может говорить о напряжении нервных процессов и проявлении ориентировочной реакции во время регистрации.

Полученные результаты и их анализ выявил характеристики основных ритмов электроэнцефалограмм спортивных лошадей разного типа ВНД, что в дальнейшем может лечь в основу определения типа нервной деятельности у спортивных лошадей с помощью ЭЭГ, не прибегая к более трудоёмким и затратным методам.

Особенности спонтанной ЭЭГ у лошадей разной спортивной специализации

Альфа-ритм преобладает у троеборных лошадей от лобного и затылочного отведения, в первом случае в левом полушарии, во втором случае в правом полушарии. Аналогичная картина, но с меньшей интенсивностью наблюдается у лошадей юношеской выездки. У конкурных лошадей альфа-ритм интенсивней от лобного отведения в левом полушарии. Максимальная выраженность тета-ритма проявляется у троеборных лошадей, минимальная - у лошадей юношеской выездки от всех отведений.

Таблица 3

**Степень выраженности ритмов (ИВР) в различных зонах головного мозга
у лошадей разного типа ВНД, %**

Отведения	Ритмы					
	Альфа	Бета-1	Бета-2	Дельта	Тета	Гамма
Сильный уравновешенный подвижный						
Лобное отведение (левое полушарие)	59,1±4,84	74,2±1,90	62,2±4,93	86,5±0,5	74,6±2,83	83,7±1,56
Лобное отведение (правое полушарие)	56,8±4,42	73,7±2,72	63,9±4,96	86,8±1,55	74,5±2,63	84,7±1,17
Теменное отведение (левое полушарие)	54,40±5,5	72,6±2,65	57,7±4,31	85,9±0,95	74,1±2,58	86±0,7
Теменное отведение (правое полушарие)	59±4,34	74,1±2,16	64,2±4,26	86,8±1,00	72,1±3,84	84±1,09
Затылочное отведение (левое полушарие)	58,4±4,68	73,3±4,07	63,8±6.79	85±1,21	71,7±4,07	82±3,11
Затылочное отведение (правое полушарие)	56,1±5,76	70±3.81	57,6±6,16	87,1±0,64	74,3±2,88	85,7±1,13
Сильный уравновешенный инертный						
Лобное отведение (левое полушарие)	71±8,5	72±3,54	70,3±16,2	87,3±1,2	70±4,51	82,7±4,33
Лобное отведение (правое полушарие)	68±10,5	76,7±6,74	72,7±9,35	85±3,06	79,7±5,46	82,3±1,86
Теменное отведение (левое полушарие)	65,7±14,3	76,3±6,44	74±9,17	84,3±3,18	76,7±2,73	80,3±1,86
Теменное отведение (правое полушарие)	65±3,51	79,7±4,18	75,7±5,84	86,3±0,33	80,3±3,18	82,7±3,18
Затылочное отведение (левое полушарие)	69±6,11	69,7±9,02	68,7±14,9	84,7±1,45	72,7±8,88	84,7±2,85
Затылочное отведение (правое полушарие)	69±8,72	79,3±5,55	72±11,59	83,3±2,19	80±3,21	83,7±2,33
Слабый						
Лобное отведение (левое полушарие)	51,5±12,5	75±3	61,5±3,5	88,5±0,5	74±5	85±0
Лобное отведение (правое полушарие)	64±2	72±4	63,5±4,5	89±1	80,5±1,5	82±4

Продолжение Таблицы 3

Теменное отведение (левое полушарие)	46±4	68±8	61±4	89±1	75,5±6,5	83,5±1,5
Теменное отведение (правое полушарие)	54±1	67±8	54±3	87±1	75,5±5,5	81,5±0,5
Затылочное отведение (левое полушарие)	56±0	68,5±4,5	47,5±6,5	87,5±0,5	76±2	82,5±2,5
Затылочное отведение (правое полушарие)	63±4	66±1	52,5±7,5	75,5±10,5	74,5±6,5	85±2

уровень значимости $p=0,05$

Бета-1-ритм достаточно равномерен, но можно отметить его преобладание у троеборных лошадей от теменного отведения в левом полушарии мозга. У лошадей хобби-класса (прочие) он ярче выражен в затылочной части. У лошадей юношеской выездки бета-1-ритм от затылочного отведения менее выражен.

Еще большая выраженность высокочастотного бета-2-ритма наблюдается опять же у троеборных лошадей (рис. 35). Минимальные индексы отмечаются в левом полушарии у лошадей хобби-класса (прочие), а также в правом полушарии конкурных лошадей от теменного и затылочного отведения.

Как уже отмечалось ранее наиболее выражен индекс дельта-ритма от всех отведений. Различия по видам использования лошадей незначительны.

Гамма-ритм наиболее значительно выражен у лошадей хобби-класса. Минимальный индекс отмечен у лошадей юношеской выездки от затылочного отведения в левом полушарии. В целом можно сказать, что у лошадей остальных видов специализации гамма-ритм относительно равномерен.

У всех исследованных лошадей проявление ритмов хорошо выражено, асимметрия по полушариям ярко не выражена.

У лошадей со специализацией «выездка-юношеская езда», «конкур», «троеборье» и «хобби-класс» наиболее выраженным является дельта-ритм и гамма-ритм, а при нагрузке «выездка-малый, средний и большой приз» дельта-ритм достоверно ниже, чем при других видах нагрузок.

Таблица 4

**Степень выраженности ритмов (ИВР) в различных зонах головного мозга
для лошадей разной спортивной специализации, %**

Ритмы \ Отведения	Лобное отведение (левое полушарие)	Лобное отведение (правое полушарие)	Теменное отведение (левое полушарие)	Теменное отведение (правое полушарие)	Затылочное отведение (левое полушарие)	Затылочное отведение (правое полушарие)
Выездка – юношеская езда						
Дельта	84±5,5	85±7,14	73,75±5,17	81±2,11	80±3,01	82±0,21
Тета	72,25±6,3	74±7,64	65,25±5,68	77,5±3,66	74,25±2,56	76,25±0,63
Альфа	64,5±7,1	64±5,64	61,5±4,55	62,75±4,25	54,75±2,22	67,5±1,06
Бета-1	79,75±8,11	77,25±5,23	73,25±4,78	76,75±4,82	70,25±4,01	77,75±1,49
Бета-2	63,25±3,41	65,5±4,86	62±3,61	69,75±2,88	58±4,01	62,75±1,92
Гамма	80,5±5,12	84,75±7,14	76,25±3,9	85,75±2,16	84,5±3,6	84,75±2,35
Конкур						
Дельта	87,3±0,3	90,6±0,07	86±2,63	86,3±0,94	90,3±3,48	88,6±1,82
Тета	79±0,72	82±0,49	79±3,05	76±1,37	77±3,89	74,6±2,25
Альфа	57,6±4,1	62±0,92	53±3,46	51,3±1,8	55,3±0,11	51±2,67
Бета-1	76,3±3,69	79,6±1,35	77±3,87	71±2,23	74,6±0,53	75±3,09
Бета-2	74,6±3,28	67,3±1,78	55,6±0,09	54±2,65	60,3±0,96	56±3,5
Гамма	85±2,86	84±2,21	81±0,51	84±3,07	84±1,39	79,3±3,91
Выездка – малый, средний, большой приз						
Дельта	70,3±0,13	75±2,69	73±0,25	75,3±2,81	76±1,12	76,3±3,66
Тета	71±0,55	67,3±3,11	71±0,67	77,5±3,23	67,3±1,55	76,6±4,07
Альфа	61,3±0,98	69,3±3,52	63,3±1,1	62,3±3,64	65±1,98	66,3±0,29
Бета-1	76±1,41	79,3±3,93	74,6±1,53	74,6±4,05	73,6±2,41	71±0,71
Бета-2	68±1,84	81,6±0,16	71±1,96	70±0,27	73,6±2,83	72±1,14
Гамма	85,6±2,27	84±0,58	84±2,39	83,3±0,69	81±3,25	84±1,57
Троеборье						
Дельта	88,5±1,01	86±2,0	87,5±0,33	85,5±2,89	86±1,2	85,5±3,74
Тета	70,3±1,44	81,3±2,43	76,3±0,75	81,3±3,31	78,3±1,63	80±4,15
Альфа	62,3±1,87	62±2,85	68,3±1,18	49±3,72	60±2,06	59,3±0,38
Бета-1	78±2,3	80,6±3,27	76±1,61	75,3±4,13	80±2,49	75±0,36
Бета-2	64±2,72	75±3,68	65±2,04	59±0,35	75±2,91	62±2,08
Гамма	81±3,14	82±4,09	84±2,47	82±0,77	83±3,33	82±2,53
Хобби-класс						
Дельта	87,75±0,43	86±2,99	84,75±1,3	85,5±3,84	88,75±2,18	87,25±0,46
Тета	67,75±0,85	77,25±3,41	65,25±1,73	77±4,25	71,5±2,61	78,25±0,88
Альфа	36,25±1,28	57,25±3,82	52±2,16	57,5±0,47	51,75±3,03	57,25±1,31
Бета-1	67±1,71	73±4,23	70,5±2,59	70,5±0,89	70,25±3,45	74,5±1,74
Бета-2	46,25±2,14	61,75±0,45	62±3,01	61,25±1,32	55±3,86	56,75±2,17
Гамма	82,75±2,57	83,5±0,87	84,5±3,43	85,75±1,75	80±4,27	83,25±2,6

уровень значимости $p=0,05$

Такие ритмы как альфа и бета-2 у конкурных лошадей и хобби-класса достоверно меньше, что может свидетельствовать о большей подвижности и реактивности нервной системы, чем у лошадей с другой специализацией.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате наших исследований мы установили нормативы показателей электроэнцефалограмм лошадей по частоте и амплитуде колебаний и изучили характер биоэлектрической активности корковых нейронов головного мозга у спортивных лошадей разного возраста, типа ВНД и в зависимости от направления спортивной специализации. Проведённое исследование выявило характеристики основных ритмов электроэнцефалограмм спортивных лошадей.

В ходе исследований нам удалось усовершенствовать и опробовать методику регистрации ЭЭГ у лошадей в 6-и униполярных отведениях накладными электродами при помощи специального запатентованного шлема Ипполитовой/Гаусс. В результате нашего исследования показано, что данный метод и устройство для регистрации ЭЭГ у животных позволяет объективно в количественно сравнимых значениях определять функциональное состояние нервной системы животных, не прибегая к трудоёмким и затратным методам.

На основании полученных в результате исследования данных можем сделать следующее **выводы**:

1. Усовершенствованная нами методика регистрации электроэнцефалограмм у лошадей в 6-и униполярных отведениях накладными электродами позволяет проводить оценку функционального состояния головного мозга у лошадей. Разработанная схема размещения электродов, соответствующая топографии функциональных зон головного мозга лошади, наиболее полно отражает биоэлектрическую активность коры больших полушарий ГМ.

2. У лошадей выявлены волны биоэлектрической активности головного мозга следующих диапазонов: дельта (0,3 – 4 Гц, амплитуда до 40 мкВ), тета (4,1 – 7 Гц, амплитуда около 30 мкВ), альфа (7,1 – 13 Гц, амплитуда до 100 мкВ), бета-1 (13,1 – 25 Гц, амплитуда - 3-5 мкВ), бета-2 (25 – 40 Гц, амплитуда - 3-5 мкВ) и гамма (выше 40 Гц).

2.1. Преобладающим ритмом спонтанной активности в покое у спортивных лошадей является дельта-ритм.

2.2. Меньше других диапазонов выражена альфа-активность и высокочастотная бета-активность.

2.3. Установлена достоверная асимметрия между правым и левым полушариями по дельта-ритму в затылочном и теменном отделах мозга у лошадей.

3. Выявлены достоверные отличия спонтанной ЭЭГ у лошадей разного возраста.

3.1. Установлено, что бета-1, бета-2 и альфа-ритм, которые свидетельствуют об ориентировочной реакции, у молодых лошадей более выражены, чем у других групп.

3.2. У лошадей старше 18-и лет именно бета-1, бета-2 и альфа-ритм проявляются слабее, чем у более молодых.

3.3. Преобладание тета-ритма в обоих полушариях и альфа-ритма в левом полушарии от лобного отведения достоверно можно связывать со специализацией лошадей.

4. Изучены особенности спонтанной ЭЭГ у лошадей разного типа ВНД.

4.1. Достоверно выявлено преобладание высокочастотных и низкоамплитудных колебаний, относящихся к бета-2-активности, у лошадей сильного уравновешенного инертного типа ВНД перед лошадьми других, выявленных нами, типов.

4.2. У лошадей со слабым типом ВНД выявлено преобладание дельта-ритма над другими ритмами.

5. Изучены особенности спонтанной ЭЭГ у спортивных лошадей различной спортивной специализации.

5.1. Выявлено достоверно более низкое проявление альфа и бета-2-ритмов у конкурных лошадей и лошадей хобби-класса по сравнению с лошадьми других групп.

5.2. При специализации «выездка-юношеская езда», «конкур», «троеборье» и «хобби-класс» преобладающим является дельта-ритм и гамма-ритм.

5.3. При специализации «выездка-малый, средний и большой приз» дельта-ритм достоверно ниже, чем при других видах нагрузок.

**Список работ, опубликованных по теме диссертации:
Научные статьи, опубликованные в рецензируемых журналах,
рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ:**

1. Вирясова, Н.А. Параметры электроэнцефалограмм спортивных лошадей / Н.А. Вирясова, Т.В. Ипполитова / Ветеринария, зоотехния и биотехнология. – 2016. - №2 – С. 58-63.
2. Вирясова, Н.А. Особенности электроэнцефалографической картины у спортивных лошадей с разными типами высшей нервной деятельности (ВНД) / Н.А. Вирясова, Т.В. Ипполитова / Ветеринария, зоотехния и биотехнология. – 2016. - №7 – С. 57-65.
3. Вирясова, Н.А. Особенности ЭЭГ у спортивных лошадей в зависимости от возраста / Н.А. Вирясова, Т.В. Ипполитова / Ветеринария, зоотехния и биотехнология. – 2017. - №4 – С. 78-86.
4. Вирясова, Н.А. Особенности биоэлектрической активности головного мозга спортивных лошадей / Н.А. Вирясова, Т.В. Ипполитова / Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 2 – С. 99-111. (WoS)

В других изданиях:

- 1 Вирясова Н.А. Методика регистрации электроэнцефалограммы у спортивных лошадей / Вирясова, Н.А., Ипполитова Т.В., Гаусс К.Р. // Вопросы ветеринарии и ветеринарной биологии, – 2016. – № 11 – С. 16-22.
- 2 Вирясова, Н.А. Особенности ЭЭГ у спортивных лошадей в зависимости от вида и степени нагрузок / Вирясова, Н.А., Ипполитова, Т.В. // Материалы Международной научно-практической конференции «Адаптационные механизмы и регуляция физиологических функций», посвященной 100-летию со дня рождения д.в.н., проф. А.Н. Голикова (г. Москва, 17-18 января 2017 г.) – С. 3-10.
- 3 Вирясова Н.А. Новое в регистрации электроэнцефалограмм у спортивных лошадей / Вирясова, Н.А. // Материалы третьей научно-практической межотраслевой конференции «Перспективы использования достижений наук о сознании и высшей нервной деятельности в медицине, ветеринарии и для создания сельхозмашин нового поколения» (г. Москва) (в печати)