

На правах рукописи

Ленков Михаил Владимирович

**СПОСОБ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЯ
АККОМОДАЦИОННОГО АППАРАТА ГЛАЗА ЧЕЛОВЕКА
В УСЛОВИЯХ ЗРИТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ**

Специальность 05.11.17

«Приборы, системы и изделия медицинского назначения»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук



Рязань 2006

Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Рязанский государственный радиотехнический университет»

Научный руководитель: – доктор технических наук, доцент
Жулев Владимир Иванович

Официальные оппоненты: – доктор технических наук, профессор
Филатова Наталья Николаевна
– кандидат технических наук, доцент
Юдаев Юрий Алексеевич

Ведущая организация: – Самарский государственный аэрокосмический университет

Защита диссертации состоится 29 июня 2006 г. в 13 часов на заседании диссертационного совета Д 212.211.04 в Рязанском государственном радиотехническом университете по адресу: 390005, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1.
Тел. (4912) 92-03-48.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке РГРТУ.

Автореферат разослан 27 мая 2006 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
канд. техн. наук, доцент



А.Г. Борисов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Единственной функциональной системой организма человека, обеспечивающей поступление до 85 % информации в головной мозг из окружающего мира, является зрительная система. В настоящее время в условиях широкого применения современных средств информатизации ее работа для жизнедеятельности человека приобретает еще большую значимость. Поэтому точность и оперативность оценки ее функционального состояния имеют первостепенное значение для определения и поддержания оптимальных условий пребывания глаз и своевременного предотвращения развития их патологии.

Высокий уровень статических и динамических зрительных нагрузок на глаза человека, проявляющихся в различных сферах его деятельности, приводит к заболеваниям, в большинстве случаев связанным с функциональным нарушением аккомодационного аппарата глаза: близорукости и дальнозоркости, а также нервно-психологическим расстройствам. Этому в особенности подвержен детский и юношеский контингент населения страны и прежде всего за счет высокого темпа повсеместной компьютеризации и внедрения в практическую жизнь новых информационных технологий, предусматривающих возможность длительного получения видеoinформации. Согласно данным НИИ глазных болезней РАН на март 2006 года, в России около 85 % людей в возрасте от 14 до 45 лет, деятельность которых связана со зрительным напряжением, в той или иной степени пренебрегают правилами зрительной эргономики, вследствие чего 55 % из них имеют приобретенные патологии зрения, отмеченные выше. При этом медицинские учреждения испытывают острую потребность в современных технических средствах объективной функциональной диагностики аккомодационного аппарата глаза, обеспечивающих оперативное и достоверное выявление нарушений рефракции глаза и нервно-зрительных заболеваний. Причиной являются отсутствие отечественных аналогов и сравнительно высокая стоимость зарубежных приборов данной прикладной направленности.

Исследования известных отечественных и зарубежных специалистов-офтальмологов Кравкова С.В., Ананина В.Ф., Розенблюма Ю.З., Волкова В.В., Дашевского А.И., Грегори Р.Л., Глассера А., Кауфмана П. в области влияния зрительных нагрузок на глаза человека показали, что в большинстве случаев физиологическим нарушениям подвержен исполнительный элемент аккомодационного аппарата глаза – цилиарная (аккомодационная) мышца.

Для исследования работоспособности цилиарной мышцы в условиях зрительной нагрузки традиционно применяются оптические автоматизированные и ручные методы. Однако они не позволяют с высокой диагностической точностью определить функциональное состояние цилиарной мышцы при аккомодации. Это связано с тем, что ручные тесты предусматривают активное участие обследуемого в оценке конечных результатов, где может проявляться элемент субъективизма, а прикладные возможности существующих зарубежных офтальмологических аппаратно-программных средств, таких как лазерные аккомодометры, авторефрактометры и кератографы, ограничиваются морфометрическими измерениями или косвенным определением оптических параметров цилиарной мышцы при аккомодации.

Исследования, проведенные электрофизиологами Г. Шубертом, Х. Хадживара и С. Ишикава, показали, что наиболее эффективным способом оценки состояния цилиарной мышцы глаза является определение динамики ее электрических потенциалов, которые с высокой точностью отражают физиологическое состояние аккомодационного аппарата и достоверно позволяют судить о состоянии органов зрения в целом (в условиях процесса аккомодации). До настоящего времени предпринятые попытки данных ученых в части практического исследования амплитудно-временных параметров биопотенциалов цилиарной мышцы в связи с отсутствием четкой методики регистрации и соответствующей аппаратуры ее проведения были безуспешными. При этом анализ известных электрографических методов, в

частности метода реоофтальмографии, выявил ряд существенных недостатков, которые значительно ограничивают его применение для электродиагностики цилиарной мышцы.

Электрофизиологические исследования аккомодационного аппарата, направленные на изучение динамики электрических параметров цилиарной мышцы, позволяют достоверно определять состояние как поверхностных, так и внутренних структур органа зрения. Это, прежде всего, основано на возможности анализа источника электрического сигнала, его природы и внутренних электрических взаимосвязей с другими органами. В настоящее время в таких исследованиях заинтересованы специалисты в области электро- и нейрофизиологии глаза с целью создания адекватной электрофизиологической модели зрительно-глазодвигательной системы человека.

Это подчеркивает актуальность решаемых задач, направленных на разработку и внедрение в офтальмологическую практику новых электродиагностических способов и технических средств оперативной диагностики состояния аккомодационного аппарата глаза человека, что позволит с высокой точностью определять степень влияния на него зрительной нагрузки и корректировать ее, тем самым оптимизировать процесс восприятия зрительной информации.

Цель диссертационной работы. Повышение эффективности диагностики аккомодационного аппарата глаза человека путем разработки способа и технических средств исследования динамики биопотенциалов цилиарной мышцы в условиях естественной зрительной нагрузки или ее имитации.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи исследования:**

- провести сравнительный анализ существующих методов и технических средств исследования аккомодационного аппарата глаза в условиях зрительной нагрузки, на основе которого сформулировать требования к способу объективного исследования цилиарной мышцы при аккомодации и техническим средствам его реализации;
- разработать электрическую модель цилиарной мышцы глаза, характеризующую ее функционирование в структуре нервно-мышечного управления в процессе зрительной нагрузки и получить аналитическое описание сигнала биопотенциалов цилиарной мышцы на поверхности глазного яблока при аккомодации;
- разработать неинвазивный электрографический способ регистрации амплитудно-временных параметров биопотенциалов цилиарной мышцы для оперативной диагностики состояния аккомодационного аппарата глаза, обеспечивающей получение как клинической, так и научно-исследовательской информации;
- разработать электродные устройства для съема биопотенциалов цилиарной мышцы через веки при аккомодации, обеспечивающие необходимую точность измерения и максимально благоприятные условия для глаза обследуемого в процессе регистрации при многократных и продолжительных измерениях;
- разработать аппаратно-программный комплекс оперативной диагностики аккомодационного аппарата глаза, обеспечивающий измерение амплитудно-временных параметров биопотенциалов цилиарной мышцы при аккомодации;
- провести проверку адекватности электрической модели цилиарной мышцы по заданным статистическим критериям на основании вычислительного эксперимента.

Достоверность полученных результатов. Соотношения, описывающие изменение электрических потенциалов цилиарной мышцы в процессе ее сократительной деятельности (при аккомодации), разработаны на основе общепризнанной теории распространения электрического сигнала в нервно-мышечной среде А. Ходжкина и теории электростатического поля. Экспериментальные исследования по определению амплитудно-временных парамет-

ров биопотенциалов цилиарной мышцы при аккомодации показали адекватность выведенных расчетных соотношений. Диагностическая достоверность экспериментальных исследований, полученных на основе применения аппаратно-программного комплекса, проверена и подтверждена на трех категориях обследуемых: людях без зрительной патологии и людях с нарушением рефракции глаза – близорукостью и дальнозоркостью.

Научная новизна работы

1. Впервые предложена электрическая модель цилиарной мышцы глаза, отличающаяся расширенным представлением числа токовых компонентов, образованных ионными процессами на мембране гладкомышечного волокна и участвующих в формировании его электрического потенциала при аккомодации глаза.
2. Впервые предложено аналитическое описание амплитудно-временной характеристики сигнала электрических потенциалов цилиарной мышцы при аккомодации глаза, позволяющее производить их численный расчет на поверхности века для людей с различной рефракцией.
3. Впервые предложен электрографический способ исследования аккомодационного аппарата глаза человека, основанный на определении максимальной амплитуды биопотенциалов цилиарной мышцы и времени ее достижения в процессе аккомодации, отличающийся возможностью неинвазивной регистрации амплитудно-временной характеристики биопотенциалов цилиарной мышцы в естественных для обследуемого условиях и позволяющий повысить точность определения функциональных нарушений аккомодационного аппарата и снизить время процедуры диагностики.
4. Определены диагностические амплитудно-временные параметры, позволяющие с высокой точностью выявлять нарушения рефракции глаза.

Практическая значимость работы. Разработанная электрическая модель цилиарной мышцы и ее аналитическое описание, обеспечивающие адекватное представление динамики электрофизиологических процессов при аккомодации глаза в области электро- и нейрофизиологии глаза, позволяют:

- 1) проводить лабораторные исследования функциональных нарушений аккомодационного аппарата глаза;
- 2) проводить клинические и научно-практические исследования функционирования цилиарной мышцы глаза при различных зрительных и нервно-мышечных патологиях и выявление новых форм заболеваний;
- 3) уточнять электрофизиологическую модель зрительно-глазодвигательной системы человека.

Применение предложенного способа и аппаратно-программных средств диагностики в офтальмологии позволяет повысить достоверность и точность определения работоспособности аккомодационного аппарата глаза человека, выявлять потенциальные возможности цилиарной мышцы у людей с различными нарушениями рефракции глаза. Это достигается за счет следующих полученных результатов работы:

- 1) разработки электродных устройств, позволяющих неинвазивно и долговременно выполнять съем биопотенциалов с поверхности века и обеспечивающих максимально комфортные условия для глаз обследуемого в процессе измерений;
- 2) разработки прикладной программы, обеспечивающей многомерную регистрацию и обработку биоэлектрических сигналов цилиарной мышцы глаза при аккомодации;
- 3) разработки прикладной программы визуализации динамики амплитудно-временных параметров биоэлектрических потенциалов цилиарной мышцы глаза при аккомодации в соответствии с управляющими сигналами ее иннервации;
- 4) разработки механического устройства синхронизации предъявляемых искусственных

стимулов аккомодации и естественной электрофизиологической реакции на них цилиарной мышцы и его программного прототипа.

Методы исследования. При решении поставленных задач применялись «Современная мембранная теория о роли ионных градиентов в генерировании нервного импульса и о механизме распределения ионов между клеткой и средой» А. Ходжкина, теория электростатического поля, математический аппарат теории вероятностей и математической статистики, интегрального и дифференциального исчисления, теории случайных сигналов, теории численного анализа, методы математического моделирования на ЭВМ.

Проведена экспериментальная проверка диагностического эффекта от использования амплитудно-временных параметров биопотенциалов цилиарной мышцы для оценки состояния аккомодационного аппарата глаза человека в процессе зрительной нагрузки с применением аппаратно-программного комплекса диагностики аккомодационного аппарата глаза. Сравнение данных расчета с результатами практических исследований проводилось посредством вычислительного эксперимента.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на всероссийской НТК «Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы» (г. Рязань, 2000-2005 гг.), международной НПК «Вуз. Здоровье. Интеллект. Биоинформационные оздоровительные технологии» (г. Волгоград, 2001 г.), международной НТК «Методы и средства измерения в системах контроля и управления» (г. Пенза, 2002 г.), всероссийской конференции «Современная образовательная среда» (г. Москва, ВВЦ, 2002 г.), V международной НТК «Современные средства управления бытовой техникой» (г. Москва, 2003 г.), V межвузовской НПК «Информационные технологии в XXI веке» (г. Москва, 2003 г.), НПК Рязанского государственного медицинского университета им. акад. И.П. Павлова (г. Рязань, 2004 г.), X всероссийской НТК «Новые информационные технологии в научных исследованиях и в образовании» (г. Рязань, 2005 г.), VII межвузовской НПК «Информационные технологии в XXI веке» (г. Москва, 2005 г.).

Результаты диссертационной работы использовались в двух госбюджетных научно-исследовательских работах (рег.№ НИР: 04.02.084/204, 2001-2002 гг; рег.№ НИР: 204.02.04.005, 2003-2004 гг, программа «Научные исследования высшей школы по приоритетным направлениям науки и техники»).

Экспериментальный образец аппаратно-программного комплекса диагностики аккомодационного аппарата глаза демонстрировался на выставке «Наука и образование» (г. Москва, ВВЦ, 2002 г.).

Клиническая апробация макета аппаратно-программного комплекса диагностики аккомодационного аппарата глаза проведена на базе кафедры глазных и ЛОР болезней ГОУВПО «Рязанский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова Росздрава», ГУЗ «Рязанская клиническая больница им. Н.А. Семашко».

Основные положения, выносимые на защиту

1. Электрическая модель цилиарной мышцы глаза и ее аналитическое описание, характеризующие электрофизиологические процессы иннервации цилиарной мышцы в структуре нервно-мышечного управления при аккомодации глаза и обеспечивающие численное определение биопотенциалов цилиарной мышцы на поверхности век.
2. Автоматизированный электрографический способ диагностики аккомодационного аппарата глаза человека, основанный на анализе амплитудно-временных показателей биопотенциалов цилиарной мышцы при аккомодации, и аппаратно-программное средство его реализации для выявления людей с различной рефракцией глаза.
3. Конструкции электродных устройств, обеспечивающих неинвазивное долговременное отведение биопотенциалов с поверхности век и максимально комфортные условия пребывания глаз обследуемого в процессе измерений.

4. Структура и алгоритм работы механического элемента синхронизации и его программного прототипа предъявляемых искусственных стимулов аккомодации и естественной электрофизиологической реакции на них цилиарной мышцы.

Внедрение результатов работы. Полученные в работе результаты научно-практических исследований внедрены в клиническую практику на кафедре глазных и ЛОР болезней ГОУВПО «Рязанский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова Росздрава», ГУЗ «Рязанская клиническая больница им. Н.А. Семашко», в учебный процесс ГОУВПО «Рязанский государственный радиотехнический университет», использованы при проектировании физиотерапевтического оборудования в ООО НПФ «РРТИ-Интерком», что подтверждается соответствующими актами внедрения.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 35 печатных работ, из них 1 положительное решение о выдаче патента на изобретение РФ, 1 свидетельство об отраслевой регистрации программы для ЭВМ, 4 статьи в центральной печати, 6 статей в межвузовских сборниках, 23 тезиса докладов на конференциях.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 139 наименований, и одного приложения. Диссертация содержит 148 страниц основного текста, 60 страниц рисунков и таблиц (98 рисунков и 20 таблиц).

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, проанализировано состояние проблемы, сформулированы цель и задачи исследований, показаны научная новизна и практическая значимость работы, представлены основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена анализу известных методов и технических средств исследования аккомодационного аппарата глаза человека в процессе зрительной нагрузки, а также адекватных моделей его представления.

С позиции анатомо-физиологических особенностей функционирования и биомеханического взаимодействия элементов аккомодационного аппарата показано, что для определения работоспособности системы фокусирования глаза в процессе зрительной нагрузки наиболее эффективной является оценка внутреннего состояния исполнительного элемента аккомодационного аппарата – цилиарной мышцы, обладающей многоэлементным гладкомышечным строением. Проведенный анализ ее электрофизиологических свойств при аккомодации глаза обосновал целесообразность выбора в качестве диагностируемых параметров амплитудно-временных показателей ее электрических потенциалов и позволил определить, что их основным источником является активный транспорт ионов Na^+ , K^+ и Ca^{2+} через потенциалозависимые каналы плазматической мембраны цилиарного мышечного волокна. Выполнен клинический анализ нервно-мышечных заболеваний глаза, выявляемых на основании диагностики отмеченных параметров, среди которых: спазм аккомодации, дефицит аккомодации, аномалии рефракции глаза.

Составлена классификация существующих моделей, отражающих функционирование аккомодационного аппарата глаза в процессе зрительной нагрузки, анализ которых показал, что в настоящее время в отечественной и зарубежной биоинженерии отсутствуют его адекватные электрические модели, обеспечивающие достоверное аналитическое описание электрофизиологической работы цилиарной мышцы при аккомодации. При этом обозначены основные подходы к его формированию.

1. Воспроизведение амплитудно-временной характеристики генерируемых электрических потенциалов цилиарного мускула в процессе аккомодации на основе электрохимического анализа ионных мембранных процессов его отдельного гладкомышечного волокна.
2. Использование однодипольного представления источника сигнала и теории электроста-

тического поля для определения суммарных значений генерируемого цилиарной мышцей потенциального поля на поверхности глаза.

Выделена классификация существующих методов практического исследования аккомодационной функции глаза, на основании которой проведен анализ объективных методов диагностики аккомодационного аппарата. В результате установлено, что наиболее эффективным для оценки внутреннего состояния цилиарной мышцы при аккомодации является электрографический способ регистрации ее биопотенциалов, который до настоящего времени в связи с рядом методических сложностей и отсутствием аппаратной реализации не применялся в клинической практике. Проведен его сравнительный анализ с другими существующими оптическими и электрическими методами исследования аккомодации и отмечены преимущества. К ним относятся:

- выявление потенциальных возможностей цилиарной мышцы у людей с различными нарушениями рефракции глаза;
- возможность интегральной оценки работоспособности аккомодационного аппарата глаза в процессе зрительной нагрузки;
- достоверность и высокая точность определения электрофизиологических изменений в работе нервной и мышечной структур цилиарной мышцы при аккомодации;
- сокращение времени проведения диагностики до 2 мин в естественных для обследуемого условиях при обеспечении максимально комфортного пребывания его глаз.

Проведен анализ технических средств диагностики аккомодационного аппарата глаза, который выявил, что в современной офтальмологии используются дорогостоящие зарубежные аппаратные средства, основанные на измерении оптико-морфометрических параметров органов глаза, которые не позволяют дать оценку внутреннего состояния элементов аккомодационного аппарата, а тем более нервно-зрительных путей его управления. При этом существующие отечественные устройства реализации электрофизиологических методов функционального исследования глаза имеют существенные методические и технические недостатки, в особенности в части конструктивного исполнения первичных преобразователей. В связи с этим подробно проанализирован арсенал отечественных и зарубежных электродных устройств, который не выявил специализированных преобразователей для отведения потенциалов цилиарной мышцы. При этом определено, что существующие электроды имеют ряд недостатков, которые ограничивают их применение в электродиагностике цилиарной мышцы, среди которых:

- пространственное расположение контактных элементов, не позволяющих производить отведение электрических потенциалов цилиарной мышцы;
- конструкции обладают большой массой и высокой инерционностью, что вызывает дискомфорт у обследуемого;
- отсутствие возможности долговременной и качественной записи параметров на поверхности глаза в естественных для обследуемого условиях.

Соответственно показана необходимость разработки поверхностных и накожных электродных преобразователей с учетом особенностей строения цилиарной мышцы и ее функционирования при аккомодации, исключая отмеченные недостатки. Сформулированы конструктивные требования к их изготовлению.

На основе проведенного в первой главе анализа сформулированы технические и методические требования к разработке электрографического способа диагностики аккомодационного аппарата глаза и современных аппаратно-программных средств его реализации на основе неинвазивной регистрации биопотенциалов цилиарной мышцы.

Вторая глава посвящена разработке электрических моделей нервной и мышечной структур цилиарного тела, обеспечивающих адекватное представление электрофизиологи-

ческих процессов, сопровождающих его работу при аккомодации глаза, а также получению аналитических выражений, направленных на определение количественных характеристик сигналов электрического возбуждения, вызывающих активизацию мышечного волокна, и генерируемых при этом его биопотенциалов.

Рассмотрены основные биофизические процессы, отвечающие за инициализацию механических свойств в гладкой мышце и предложена структурно-функциональная модель взаимодействия элементов и систем ячейки гладкомышечного волокна при поступлении электрического сигнала возбуждения на его клеточную мембрану (рис. 1).

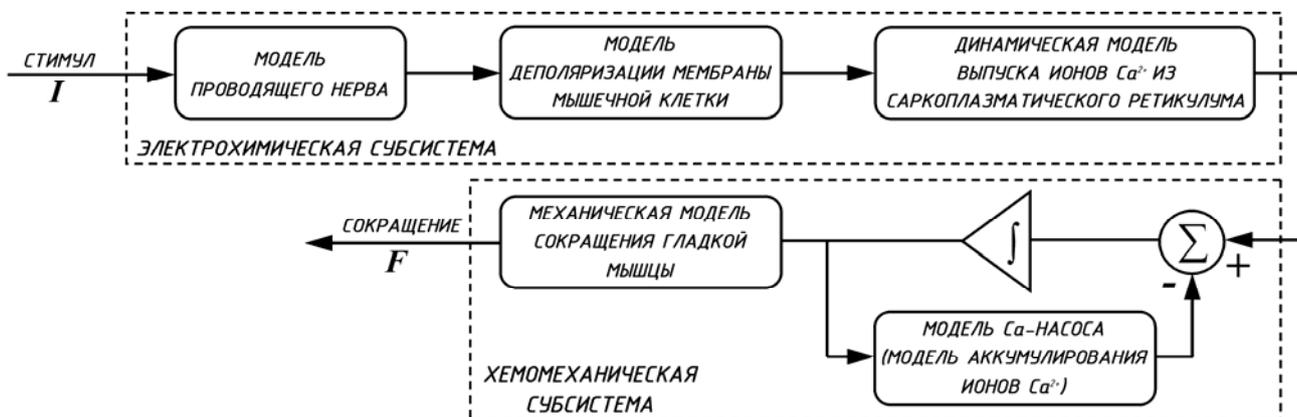


Рис. 1. Структурно-функциональная модель, раскрывающая процессы активизации гладкомышечной клетки цилиарного тела, с качественным представлением динамики ионов Ca^{2+}

Модель включает в себя пять подмоделей, описывающих нелинейные процессы отдельных физиологических систем мышцы, обеспечивающих цепь ее сократительного акта. Здесь особое внимание уделяется моделированию выпуска и аккумуляции ионов Ca^{2+} в саркоплазматической сети.

Для анализа свойств электрической передачи импульса по нервно-мышечному соединению в структуре цилиарного тела предложено использовать электрическую модель синаптического контакта (рис. 2) и аналитическое описание ее параметров:

$$Z = \sqrt{R_m R_i / (2\pi^2 \rho^3 \sqrt{1 + 4 \cdot \pi^2 f^2 R_m^2 C_m^2})}, \quad (1)$$

где Z – входной импеданс нервного (мышечного) волокна; R_m – удельное поперечное сопротивление единицы площади невозбужденной мембраны нерва; R_i – удельное сопротивление 1 см^3 вещества аксоплазмы; ρ – радиус нервного немиелинового волокна; C_m – удельная емкость единицы площади мембраны нерва (мышцы); f – частота переменного тока, при которой определяется входной импеданс.

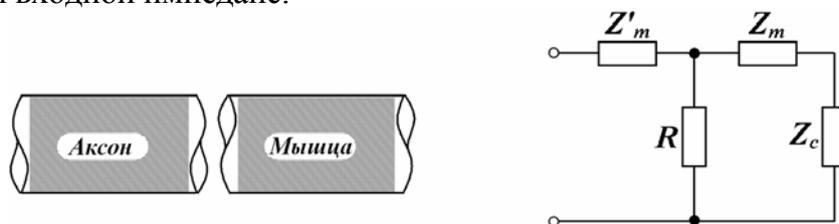


Рис. 2. Электрическая модель синаптического контакта в структуре цилиарного тела: Z_c – входной импеданс аксона; Z_m – импеданс концевой мембраны в покое; Z'_m – импеданс концевой мембраны в активном состоянии; R – сопротивление межклеточной щели

Для предложенной модели синаптического контакта получено значение коэффициента передачи электрического сигнала, который составил $1,25 \cdot 10^{-4}$ и показал, что прямая электрическая передача является невозможной. На основании этого принят подход отдельного моделирования электрических проявлений нервной и мышечной структур цилиарного тела при аккомодации глаза.

Произведена оценка динамики амплитудно-временных параметров электрического стимула, генерирующегося в структуре цилиарного нерва, вызывающих проявление активных свойств мышечной клетки в условиях допорогового возбуждения, на основе ее представления в виде сферической пассивной модели (рис. 3).

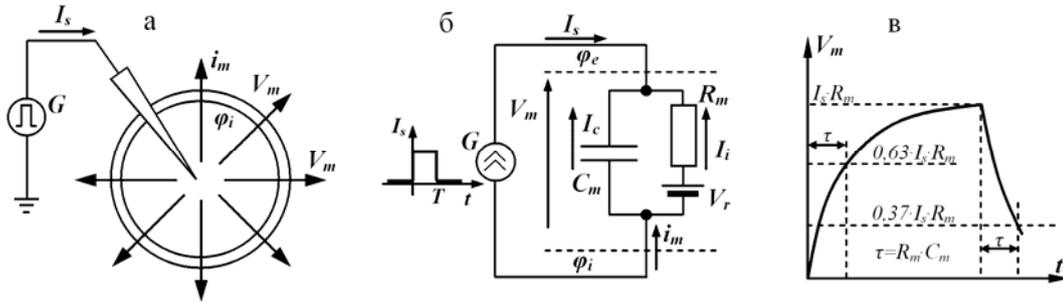


Рис. 3. Воздействие стимулирующего сигнала на сферическую мышечную клетку (а), эквивалентное электрическое представление ее мембраны (б) и электрическая реакция (в)

На основании представленной модели получены аналитические выражения, описывающие параметры характеристики продолжительности силы ($I-t$ кривой):

$$I_{s,th} = \frac{I_{rh}}{1 - e^{-T/\tau_m}}, \quad t = \tau \cdot \ln \frac{1}{1 - V_{th}/I_s \cdot R} \quad (2)$$

где $I_{s,th}$ – пороговый ток возбуждения мышечного волокна; t – продолжительность стимулирующего сигнала, способного активизировать мышечное волокно (хронаксия), при $I_{s,th} = 2 \times V_{th}/R_m$; I_{rh} – реобазисный ток; τ_m – мембранная постоянная времени, $\tau_m = R_m C_m$; V_{th} – пороговое напряжение; R_m – удельное мембранное сопротивление.

Произведено построение $I-t$ кривой для мышечной клетки (рис. 4), на основании которой определено, что значения минимальных амплитудно-временных порогов электрического сигнала, вызывающего возбуждение гладкомышечного волокна цилиарного мускула, составляют: реобазисный ток 0,014 мА, хронаксия 4,6 мс.

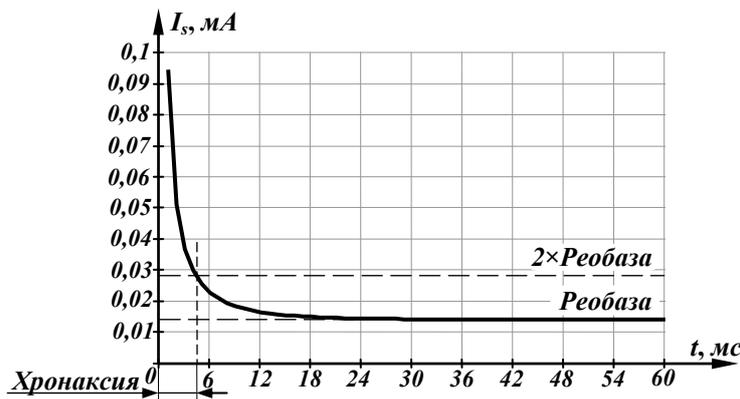


Рис. 4 Расчетная характеристика $I-t$ кривой продолжительности силы для мышечной клетки цилиарного мускула в момент воздействия стимулирующего сигнала $t=0$

Предложена электрическая модель цилиарного нерва (рис. 5,а) на основе кабельного представления биоэлектрических процессов его аксональной мембраны, для которой получено основное кабельное уравнение:

$$-\lambda^2 \frac{\partial^2 V_m}{\partial x^2} + \tau_m \frac{\partial V_m}{\partial t} + V_m = 0, \quad (3)$$

где $\lambda = \sqrt{r_m / (r_e + r_i)}$ – постоянная длины; $\tau_m = r_m c_m$ – постоянная времени мембраны.

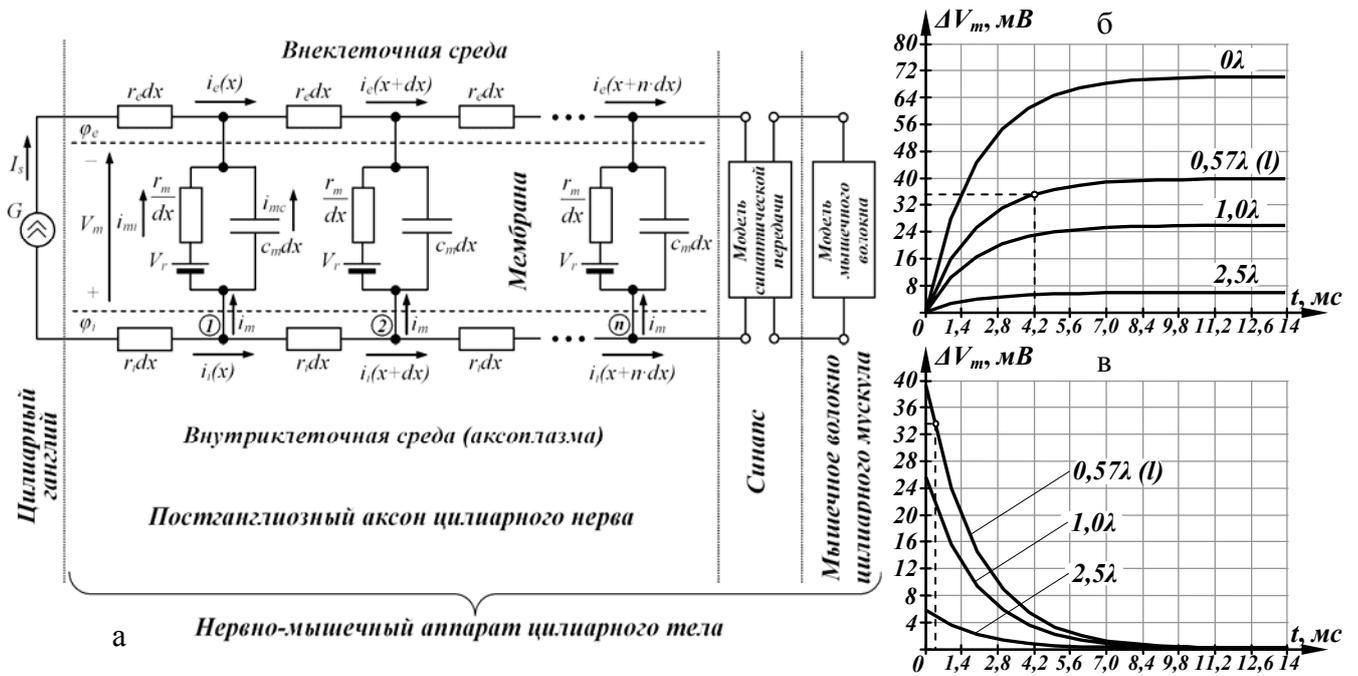


Рис. 5. Кабельная электрическая модель аксона в структуре нервно-мышечного аппарата цилиарного тела (а) и расчетные характеристики изменения мембранного потенциала в постганглиозном аксоне, при нестационарном во времени процессе распространения стимула: б – при действии стимулирующего сигнала; в – при выключении стимулирующего сигнала

На основе решения основного кабельного уравнения (3) произведена оценка распространения сигнала возбуждения в структуре цилиарного нерва для случаев:

- стационарного процесса во времени ($\frac{\partial V_m}{\partial t} = 0$):

$$V_m(x) = V_0 \cdot e^{-|x|/\lambda} \quad (4)$$

при граничных условиях $V_0 = V_m(0)$ и $V_m = 0$ при $x = \infty$.

Полученное для данного выражения решение позволило определить, что при возникновении электрического сигнала в постганглиозном аксоне на границе его перехода в структуру цилиарного тела время его проявления, в соответствии с длиной волокна аксона l , должно быть более 1τ , в противном случае данный сигнал не произведет стимулирующего эффекта мышечной клетки. При этом очередной стимулирующий сигнал должен поступить за время менее $0,5\tau$;

- стационарного процесса в пространстве ($\frac{\partial V_m}{\partial x} = 0$):

$$V_m(t) = V_0 \cdot e^{-t/\tau_m} \quad (5)$$

при граничном условии $V_0 = V_m(0)$.

На основании анализа графических решений данного уравнения (рис. 5,б,в) установлено, что минимальное время действия стимулирующего сигнала в структуре нервного волокна для осуществления мышечной активизации составляет 4,2 мс ($2,1\tau$), при этом частота следования стимулирующих импульсов, заполняющих данный период, должна быть не менее 3300 Гц. Показано, что данные показатели имеют важное практическое значение при выборе электрических параметров стимулирования цилиарной мышцы в условиях физиотерапевтического восстановления ее функционального состояния.

Получено выражение для мембранного напряжения при динамических процессах распространения сигнала возбуждения во времени и в пространстве:

$$V_{m, I_s = \delta}(x, t) = r_m I_0 \sqrt{\frac{\tau_m / t}{4\pi\lambda^2}} \cdot e^{-\left(\frac{\tau_m}{t} \left(\left(\frac{t}{\tau_m}\right)^2 + \left(\frac{x}{2\lambda}\right)^2 \right)\right)} \quad (6)$$

Определено, что на поверхности возбудимого волокна проявляется только 50 % максимальной амплитуды генерирующегося электрического сигнала.

Предложена электрическая модель мышечного волокна цилиарного мускула (рис. б,а), уточняющая мембранную модель нерва Ходжкина-Хаксли. Получено для нее аналитическое описание на основе представления нелинейных электрохимических процессов мембраны отдельной мышечной клетки.

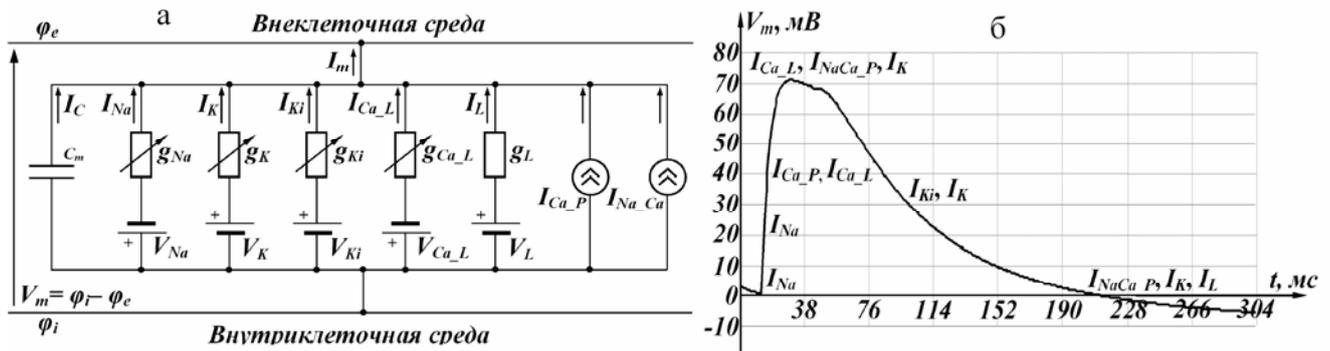


Рис. 6. Эквивалентная электрическая модель клетки мышечного волокна цилиарного тела (а) и его расчетная амплитудно-временная зависимость изменения мембранного напряжения (б)

Получена система выражений для компонентных токов, которая является законченным математическим аппаратом, представляющим аналитическое описание изменения потенциала действия отдельной мышечной клетки цилиарного мускула при его сокращении. Их решением явилось получение графической зависимости, показанной на рис. б,б.

На основе применения однодипольного представления источников электрического сигнала цилиарной мышцы и математического аппарата теории квазистатического электричества получено выражение для потенциала, генерируемого непатологической цилиарной мышцей на поверхности роговицы, которое имеет вид:

$$\varphi_{o_мыш.кл}(x) = \frac{K}{4 \cdot \pi \cdot \sigma_o} \cdot \int \frac{I_m(x) dx}{\sqrt{(x-x')^2 + y'^2 + z'^2}} \quad (7)$$

С использованием свойства аддитивности для источников биоэлектрического поля получено численное значение электрического потенциала, вызванного меридиональной группой мышечных волокон:

$$\varphi_{цм} = \sum_N \varphi_{o_мыш.кл} \quad (8)$$

Найдено графическое решение аналитических соотношений (7) и (8) (рис. 7). Представленная поверхность позволяет дать характеристику электрической активности нервно-мышечной структуры цилиарного тела в условиях нестационарного режима проявления суммарного биоэлектрического потенциала от элементарных источников по длине цилиарной мышцы и, таким образом, дать оценку ее функциональному состоянию. Показана эффективность данного подхода для проверки адекватности разработанных электрических моделей функционирования нервно-мышечной структуры цилиарного тела путем сопоставления расчетных результатов и экспериментальных данных.

Установлено, что граничными амплитудно-временными показателями биопотенциалов непатологической цилиарной мышцы, проявляющимися при аккомодации глаза, являются: максимальная амплитуда $\varphi=40$ мкВ, время ее достижения $t=0,5$ с. При этом частотный спектр сигнала лежит в диапазоне от 0 до 40 Гц.

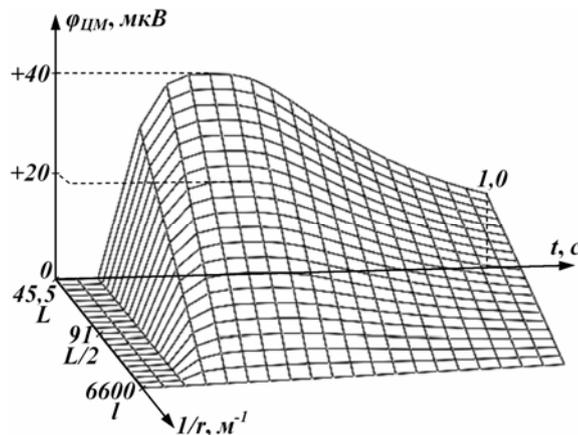


Рис. 7. Рельеф потенциального поля, генерируемого цилиарной мышцей на поверхности роговицы при аккомодации глаза

Третья глава посвящена разработке электрографического способа определения функционального состояния аккомодационного аппарата глаза в условиях зрительной нагрузки или ее имитации, а также технических и программных средств его реализации, кроме этого, получению количественной оценки показателей качества их практического исполнения.

Предложен объективный способ исследования работоспособности аккомодационного аппарата глаза, сущность которого заключается в том, что в процессе предъявления разноудаленных тест-объектов контактным способом производят измерение амплитудно-временной зависимости изменения биопотенциалов на поверхности век в проекции сократительной деятельности меридиональных мышечных волокон цилиарного тела. По амплитудно-временной зависимости определяют максимальную амплитуду аккомодационного ответа – U_{max} и момент времени ее достижения – t_{max} . Полученные параметры U_{max} и t_{max} проверяют на принадлежность к диагностическим диапазонам амплитудно-временных показателей, установленных для людей с различной рефракцией глаза: эметропов, миопов и гиперметропов, и по выявленной принадлежности к одному из них определяют характер функциональных отклонений в аккомодационном аппарате глаза. Отличительной особенностью предложенного способа является то, что для повышения диагностической точности определения нарушений в работе аккомодационного аппарата глаза и обеспечения максимально комфортных условий для глаз обследуемого в процессе измерения используется неинвазивная регистрация параметров, отражающих внутреннее функциональное состояние цилиарной мышцы глаза при аккомодации. При этом реализована синхронизация периодического во времени десятикратного предъявления разноудаленных стимулов и электрических ответов цилиарной мышцы, что позволяет применить для выделения низкоамплитудных сигналов метод синхронного накопления.

Для осуществления предложенного способа разработана структура измерительного канала (рис. 8), обеспечивающая коэффициент ослабления синфазного сигнала 10^7 и отношение сигнал-шум $2 \cdot 10^6$. Это достигнуто за счет следующих технических подходов:

- 1) нормализации характеристик измерительного канала с параметрами регистрируемого электрического сигнала биопотенциалов цилиарной мышцы;
- 2) применения на входе устройства дифференциального усилителя, включенного по схеме инструментального усилителя на трех операционных усилителях;
- 3) введения в схему дифференциального усилителя компенсатора синфазной помехи.

Разработан экспериментальный образец устройства аналоговой регистрации и обработки биопотенциалов цилиарной мышцы. Получена математическая модель основной погрешности измерительного канала, значение которой с заданной доверительной вероятностью $p=0,95$ составило 2 %.



Рис. 8. Структурная схема аппаратного средства диагностики цилиарной мышцы

Разработаны экспериментальные образцы электродных устройств поверхностного и на кожного типа для регистрации биопотенциалов цилиарной мышцы глаза в процессе зрительной нагрузки, позволяющие производить диагностику аккомодационного аппарата в естественных для обследуемого условиях. При этом показано, что конструктивные параметры разработанных электродных устройств оказывают минимальное физическое воздействие на глазное яблоко и тем самым обеспечивают долговременное измерение потенциалов цилиарной мышцы на любом контингенте обследуемых.

На основе модели Гельмгольца и закона Варбурга получено выражение для определения площади металлических контактов разработанных электродных устройств:

$$|Z_f| = \sqrt{2} \frac{\delta}{2\pi f \varepsilon \varepsilon_0 S}, \quad (9)$$

где Z_f – полный импеданс электрода; S – площадь поверхности электрода; δ – глубина контактного слоя; ε_0 – электрическая постоянная; ε – диэлектрическая проницаемость.

Получено графическое решение выражения (9) (рис. 9,а), на основании которого сформулировано условие выбора площади металлических контактов электродных устройств $S \geq 0,3 \text{ мм}^2$. Показано, что собственный шум электрода не превышает 10^{-14} В .

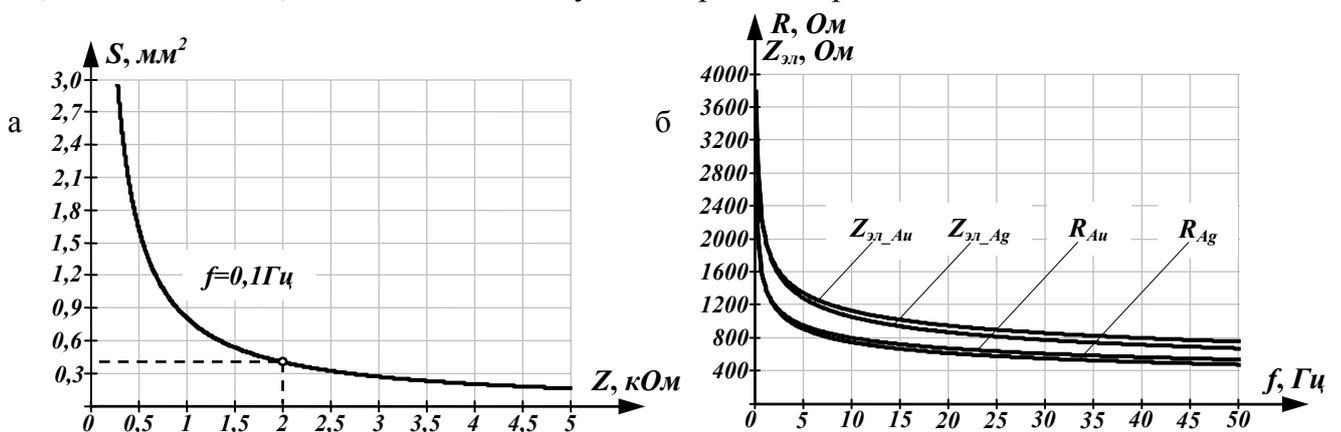


Рис. 9. Расчетные зависимости рабочей площади контакта электрода от его импеданса для граничной частоты проходящего сигнала 0,1 Гц (а) и импеданса и его активной составляющей контактов электрода от частоты проходящего сигнала, изготовленных из золота и серебра (б)

Обоснован выбор металлов золота и серебра в качестве материалов для изготовления контактов электродных преобразователей на основе расчета составляющих импеданса контактных элементов с использованием эмпирических формул закона Фрике. Их графическое

решение представлено на рис. 9,б.

Разработаны структура электронно-механического устройства и его программный прототип, обеспечивающие синхронизацию предъявляемых стимулов с естественной электрофизиологической реакцией цилиарной мышцы. Это позволило при исследовании аккомодации глаза эффективно реализовать метод синхронного накопления, который, как показали расчетные и экспериментальные данные, увеличил отношение сигнал-шум в ~ 7 раз.

На основании предложенного способа определения функционального состояния аккомодационного аппарата разработана методика выполнения неинвазивной регистрации биопотенциалов цилиарной мышцы через веки при аккомодации глаза. Разработана система отведений биопотенциалов с поверхности век (рис. 10).

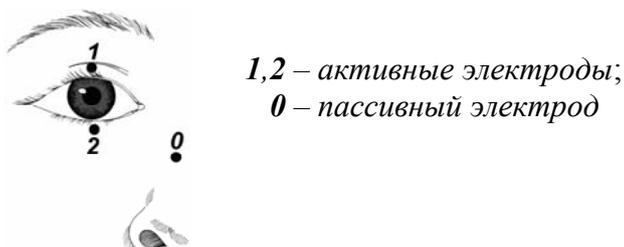


Рис. 10. Система отведений биопотенциалов цилиарной мышцы на поверхности век глаза

Выполнена качественная оценка факторов методической погрешности и произведен расчет ее составляющей от смещения электродного контакта на поверхности век на 1 мм, значение которой составило 0,8 %.

Разработана прикладная программа, рабочие окна которой показаны на рис. 11, обеспечивающая:

- компьютерную подготовку и проведение автоматизированной диагностики аккомодационной функции глаза в соответствии с предложенным способом исследования;
- цифровую регистрацию в режиме реального времени и обработку сигналов (метод синхронного накопления, спектральный анализ, цифровая фильтрация);
- визуализацию сигналов изменения биопотенциалов цилиарной мышцы во временном сопоставлении с предъявлением стимула.

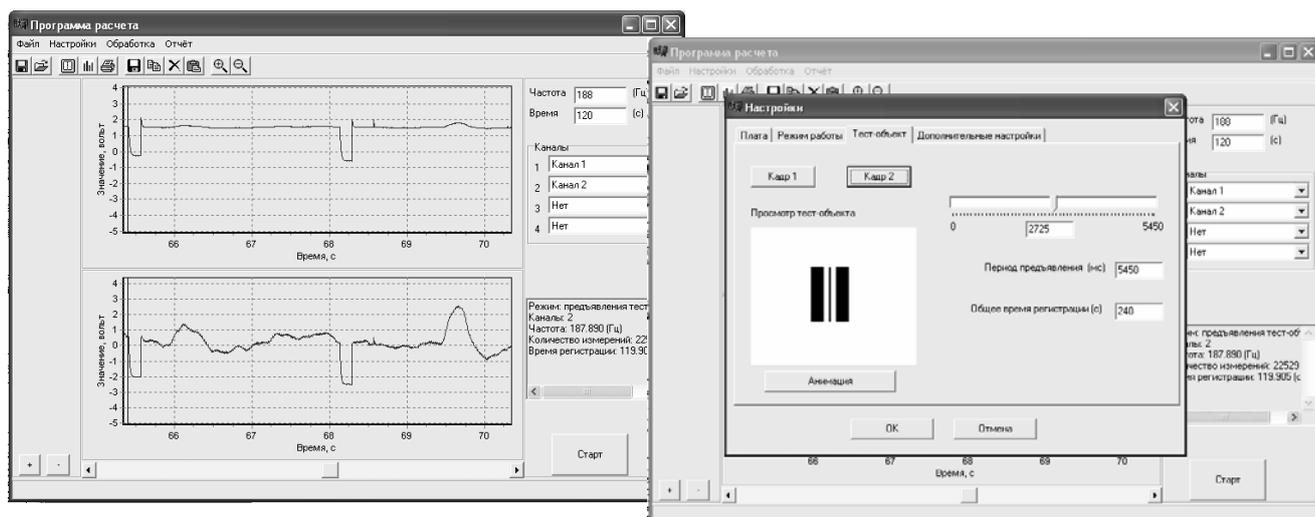


Рис. 11. Главные окна прикладной программы регистрации и обработки биопотенциалов цилиарной мышцы

В четвертой главе представлены результаты экспериментальных исследований аккомодационного аппарата глаза на основе разработанных способа, технических и программных средств. Для этого проведены измерения биопотенциалов цилиарной мышцы с поверхности век и роговицы в процессе аккомодации глаза для следующих вариантов реализации

предложенного способа.

1. Перевод взгляда осуществляется с тест-объекта, установленного на синхронизирующем устройстве – на расстоянии 1,2 м от глаза обследуемого, на тест-объект, расположенный на расстоянии 25 м;
2. Перевод взгляда осуществляется с тест-объекта, установленного на синхронизирующем устройстве – на расстоянии 1,2 м от глаза обследуемого, на тест-объект, предъявляемый на экране монитора ПК, расположенном на расстоянии 6 м;
3. Осуществляется наблюдение за тест-объектами, предъявляемыми на экране монитора ПК, установленном на расстоянии 2 м от глаза обследуемого.

Для определения диагностической достоверности результатов, полученных при использовании электрографического способа, регистрация биопотенциалов производилась на трех категориях обследуемых, имеющих различные показатели рефракции глаза:

- 1) *первая категория* – люди с непатологическим функциональным состоянием зрительного аппарата (эмметропы), 60 человек;
- 2) *вторая категория* – люди, имеющие врожденную или приобретенную близорукость (миопы), 20 человек;
- 3) *третья категория* – люди, имеющие врожденную или приобретенную дальнозоркость (гиперметропы), 5 человек.

Для данных категорий при экспериментальных исследованиях аккомодационного аппарата были использованы следующие единые методические и технические условия.

1. Диагностируемыми параметрами являются максимальная величина амплитуды биопотенциалов цилиарной мышцы и время ее достижения при предъявлении тест-объекта на ближнее расстояние.
2. Способ исследования является полностью автоматизированным, и его управление осуществляется специально разработанной прикладной программой.
3. Для неинвазивного биполярного отведения потенциалов цилиарной мышцы применяется разработанный кожный электрод, выполненный на основе очковой оправы.
4. Время предъявления теста в фиксированном положении составляет 2,725 с.
5. Время полной регистрации биопотенциалов цилиарной мышцы составляет 240 с.
6. В экспериментальной установке производится синхронизация момента предъявления аккомодационного стимула на ближнее расстояние и электрической реакции мышцы.
7. Цифровая обработка зарегистрированных амплитудно-временных характеристик производится после окончания сеанса диагностики, которая включает в себя: метод синхронного накопления, спектральный анализ сигнала и цифровую фильтрацию.
8. Исследования производятся в естественных для обследуемого условиях, и психофизиологический фактор полностью исключается.

Типовые амплитудно-временные зависимости изменения биопотенциалов цилиарной мышцы при аккомодации для людей с различной рефракцией глаз показаны на рис. 12.

По результатам исследований выделены диапазоны амплитудных и временных параметров потенциалов цилиарной мышцы, определяющие нарушения аккомодационного аппарата, связанные с изменениями рефракции глаза, представленные в таблице.

Диагностические диапазоны выявления нарушений аккомодации глаза

<i>Категория</i>	<i>Параметр</i>	
	<i>Диапазон амплитуды максимального напряжения цилиарной мышцы, мкВ</i>	<i>Диапазон времени проявления максимального напряжения цилиарной мышцы, с</i>
Эмметроп	30...45	0,45...0,7
Миоп	15...30	0,9...1,1
Гиперметроп	50...75	0,2...0,4

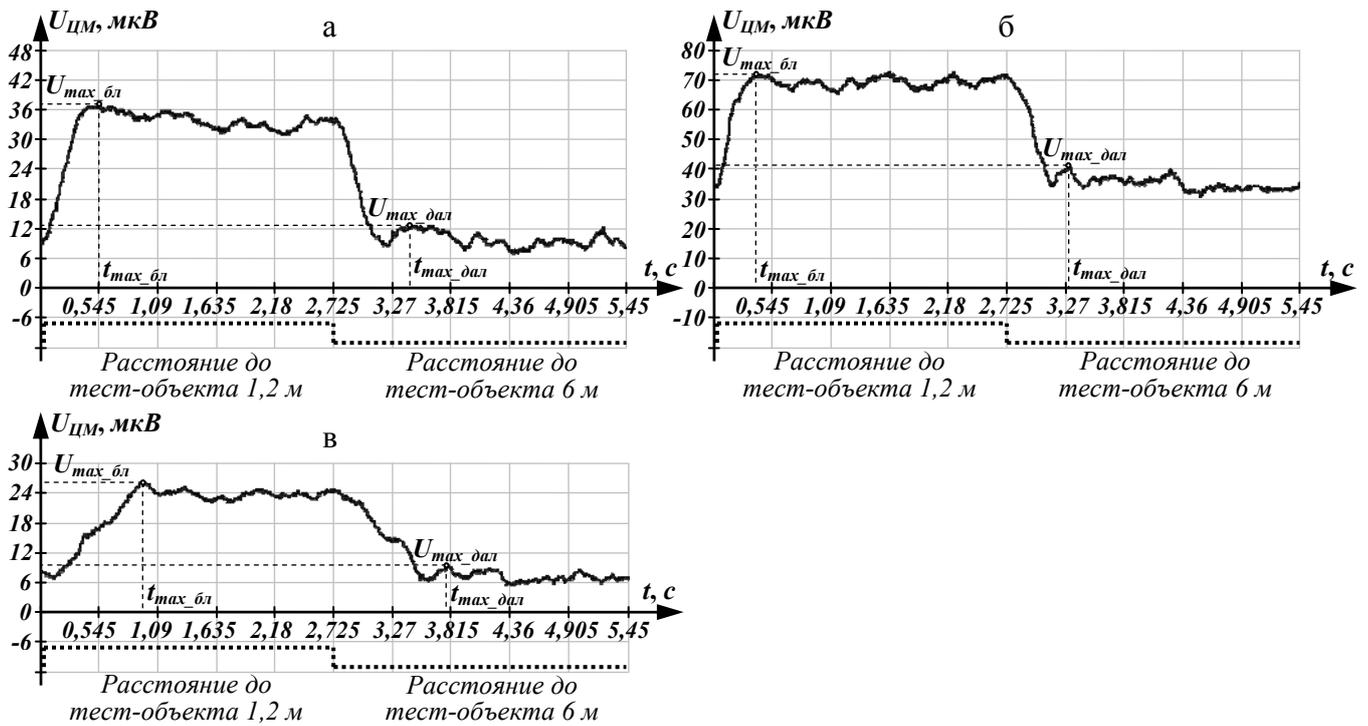


Рис. 12. Экспериментальные зависимости изменения биопотенциалов цилиарной мышцы при переводе взгляда с тест-объекта, расположенного на расстоянии 1,2 м, на 6 м для: а – эметропического глаза; б – гиперметропического глаза; в – миопического глаза

На основе экспериментальных данных подтверждена эффективность использования разработанных накожного и поверхностного электродов для неинвазивного съема потенциалов цилиарной мышцы. Показана возможность проведения долговременных (до 10 мин) и многократных (4-5 раз) измерений биопотенциалов цилиарной мышцы в естественных для обследуемого условиях с применением накожного электрода, который значительно повышает комфортность пребывания глазного яблока при диагностике.

Сопоставление амплитудных и временных параметров биопотенциалов цилиарной мышцы, полученных для трех вариантов исполнения предложенного способа, показало, что все они обеспечивают высокую точность диагностики цилиарной мышцы, а их регистрируемые зависимости имеют коэффициент корреляции не ниже 0,8.

Разработана прикладная программа сопоставления результатов экспериментальных исследований потенциалов цилиарной мышцы с расчетными данными аналитической модели цилиарного нерва, позволяющая посредством математического моделирования установить взаимосвязь электрофизиологических процессов в нервной и мышечной структурах цилиарного тела глаза при аккомодации. Программа обеспечивает их совместную визуализацию и параметрический анализ, на основании которого производит формирование предварительного заключения о рефракционной способности исследуемого глаза в соответствии с выделенными параметрами диагностических коридоров. При построении алгоритма программы использован метод кластерного анализа.

Проведены экспериментальные исследования разработанной прикладной программы (рис. 13), которые показали достоверность выявления нарушений в работе аккомодационного аппарата в 93 % случаев проведенных обследований.

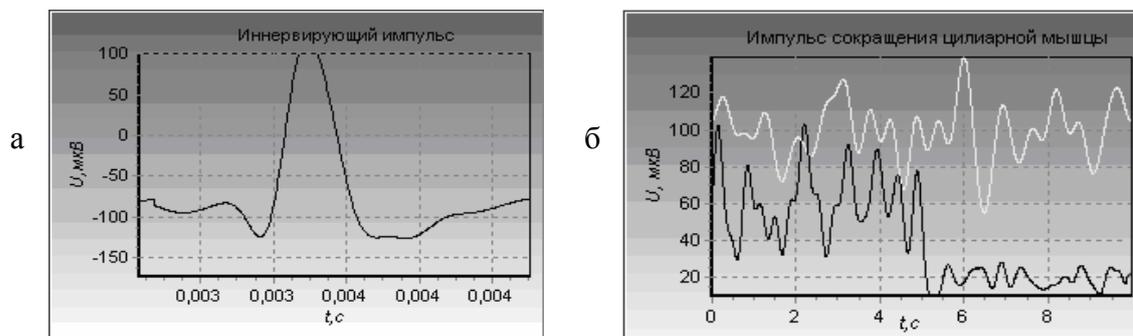


Рис. 13. Результаты работы программы моделирования электрических сигналов нервно-мышечной структуры цилиарного мускула при аккомодации глаза:
а – график иннервирующего импульса; б – электрический ответ цилиарной мышцы

Доказана адекватность разработанной электрической модели и полученного аналитического описания биопотенциалов цилиарной мышцы путем численной оценки отклонений экспериментальных зависимостей от теоретической модели сигнала, которая составила $\pm 1,5 \cdot 10^{-2} (\text{мкВ} \cdot \text{с})^{-1}$ при доверительной вероятности $p=0,95$. Графическое сопоставление теоретической и экспериментальной характеристик показано на рис. 14.

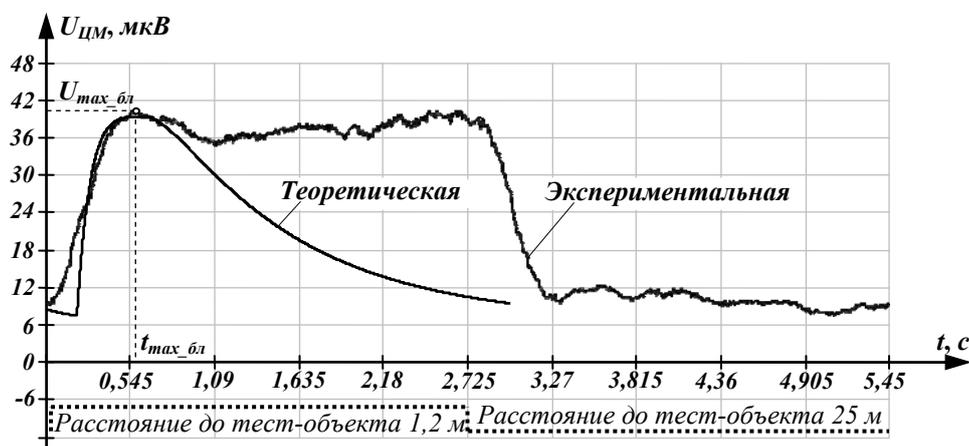


Рис. 14. Сопоставление теоретической и экспериментальной зависимостей изменения биопотенциалов цилиарной мышцы при аккомодации глаза

В заключении приведены основные научные выводы и практические результаты диссертационной работы.

1. Предложена адекватная электрическая модель цилиарной мышцы глаза. Получено аналитическое описание сигнала биопотенциалов на поверхности цилиарного тела на основе представления динамики компонентных мембранных токов его гладкомышечного волокна. Установлено, что максимальное значение потенциала цилиарной мышцы на поверхности глазного яблока составляет 40 мкВ, а время его достижения 0,5 с. При этом частотный спектр сигнала лежит в диапазоне от 0 до 40 Гц.
2. Предложен неинвазивный электрографический способ регистрации амплитудно-временных параметров биопотенциалов цилиарной мышцы для диагностики состояния аккомодационного аппарата глаза, обеспечивающий получение достоверной как клинической, так и научно-исследовательской информации. Предложена система электродных отведений потенциалов через веки. Произведена оценка составляющей методической погрешности от смещения электрода на поверхности века на 1 мм, ее значение не превышает 0,8 %.
3. Разработаны конструкции электродных преобразователей для неинвазивной регистрации биопотенциалов цилиарной мышцы через веки при аккомодации, обеспечивающие необ-

ходимую точность измерения и максимально комфортные условия для глаза обследуемого в процессе регистрации. Предложена методика расчета площади электродов, на основе которой обоснованы геометрические размеры отводящих контактов разработанных преобразователей и произведен выбор материала для их изготовления. Погрешность флуктуации теплового шума составляет $1,0 \cdot 10^{-6} \%$ по отношению к минимальному уровню входного сигнала.

4. Предложена структура аппаратно-программного комплекса диагностики аккомодационного аппарата глаза, обеспечивающего измерение амплитудно-временных параметров биопотенциалов цилиарной мышцы. Выполнено экспериментальное подтверждение эффективности его применения на основе 200 экспериментальных исследований, проведенных на эметропических глазах обследуемых, которые показали положительный диагностический эффект в 186 случаях (93 %).
5. Предложены механическое устройство синхронизации и его программный прототип, обеспечивающие согласование моментов предъявления тест-объектов и электрофизиологической реакции цилиарной мышцы, а также выполнение диагностики в естественных для обследуемого условиях с возможностью применения метода синхронного накопления сигнала, что повышает отношение сигнал-шум в ~ 7 раз. Получено экспериментальное подтверждение эффективности применения варианта программного синхронизатора.
6. Доказана адекватность электрической модели цилиарной мышцы на основе сопоставления экспериментальных исследований сигналов биопотенциалов цилиарной мышцы с полученной для них теоретической моделью, разброс их значений составляет $\pm 1,5 \cdot 10^{-2} (\text{мкВ} \cdot \text{с})^{-1}$ с доверительной вероятностью границ $p=0,95$.
7. Результаты работы внедрены в офтальмологическую практику исследования нарушений зрительных функций при аккомодации, связанных с патологиями рефракции глаз, что значительно повысило достоверность определения функционального состояния аккомодационного аппарата в целом и его элементов, а также позволило классифицировать выявляемые заболевания, имеющие нервный или мышечный характер.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Тамбовский А.Н., Бархударян Р.Г., Ленков М.В. Еще об одной составляющей целевой точности // Эргономические основы двигательной активности: Материалы Международной научн. конф. Рязань: Изд-во РГРТА, 1999. С. 71-73.
2. Ленков М.В., Тамбовский А.Н. Биопотенциалометрические электроды аккомодометрического устройства // Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы. Биомедсистемы - 2000: Тезисы докладов Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Рязань: Изд-во РГРТА, 2000. С. 11.
3. Ленков М.В., Тамбовский А.Н. Усилительный каскад аккомодометрического устройства // Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы. Биомедсистемы - 2000: Тезисы докладов Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Рязань: Изд-во РГРТА, 2000. С. 10-11.
4. Тамбовский А.Н., Бархударян Р.Г., Ленков М.В. Варианты тестирования работоспособности цилиарной мышцы // Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы. Биомедсистемы - 2001: Тезисы докладов Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Рязань: Изд-во РГРТА, 2001. С. 12-13.
5. Ленков М.В., Тамбовский А.Н. Некоторые особенности технологии изготовления активного электрода аккомодометрического устройства // Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы. Биомедсистемы - 2001: Тезисы докладов Всерос-

- сийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Рязань: Изд-во РГРТА, 2001. С. 13-15.
6. Ленков М.В. К вопросу модернизации аккомодометрического устройства // Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы. Биомедсистемы - 2001: Тезисы докладов Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Рязань: Изд-во РГРТА, 2001. С. 15-16.
 7. Тамбовский А.Н., Бархударян Р.Г., Ленков М.В. Особенности комплекса офтальмоэргонического исследования и тестирования студента // Вуз. Здоровье. Интеллект: биоинформационные оздоровительные технологии: Материалы I Международной научно-практической конференции. Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2001. С. 139-143.
 8. Тамбовский А.Н., Ленков М.В. Активные электроды для аккомодометрии // Информационно-измерительная и биомедицинская техника: Сб. науч. труд. / Рязанская государственная радиотехническая академия, каф. информационно-измерительной и биомедицинской техники. Рязань: Изд-во РГРТА, 2001. С. 47-50.
 9. Ленков М.В. Многомерное измерение биопотенциалов цилиарной мышцы при аккомодации // Методы и средства измерения в системах контроля и управления: Труды Международной научно-технической конференции / Под ред. М.А. Щербакова. Пенза: Изд-во Информационно-издательский центр Пенз. гос. ун-та, 2002. С. 168-169.
 10. Тамбовский А.Н., Ленков М.В. Устройство для регистрации работы цилиарной мышцы // Современная образовательная среда: Тезисы докладов по материалам Всероссийской конференции. М.: Изд-во Всероссийский выставочный центр, 2002. С. 172-173.
 11. Ленков М.В. Оценка составляющих регистрируемого биопотенциала цилиарной мышцы на основе электрической модели глаза // Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы. Биомедсистемы - 2002: Тезисы докладов Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Рязань: Изд-во РГРТА, 2002. С. 26-28.
 12. Ленков М.В. Эквивалентная электрическая схема органа зрения // Современные средства управления бытовой техникой: Материалы V Международной научно-технической конференции / Под ред. проф. Ю.Н. Маслова. М.: Изд-во МГУ сервиса, 2003. С. 30-31.
 13. Ленков М.В. Прикладные возможности аккомодометрического устройства и перспективы его усовершенствования // Информационные технологии в XXI веке. V Межвузовская научно-практическая конференция: Материалы конференции / Под ред. проф. Т.Н. Ананьевой. М.: Изд-во ИИТ МГУС, 2003. С. 188-192.
 14. Ленков М.В., Рязанов А.В. Разработка модели глаза, как активной электрической системы // Информационные технологии в XXI веке. V Межвузовская научно-практическая конференция: Материалы конференции / Под ред. проф. Т.Н. Ананьевой. М.: Изд-во ИИТ МГУС, 2003. С. 192-196.
 15. Ленков М.В. Метод зрительных вызванных потенциалов для оценки электрических параметров аккомодации // Информационно-измерительная и биомедицинская техника: Сб. науч. труд. / Рязанская государственная радиотехническая академия, каф. информационно-измерительной и биомедицинской техники. Рязань: Изд-во РГРТА, 2003. С. 87-94.
 16. Ленков М.В., Рязанов А.В. Электрические модели элементов глаза // Информационно-измерительная и биомедицинская техника: Сб. науч. труд. / Рязанская государственная радиотехническая академия, каф. информационно-измерительной и биомедицинской техники. Рязань: Изд-во РГРТА, 2003. С. 94-102.
 17. Ленков М.В. Перспективный метод электрической диагностики аккомодационного аппарата глаза // Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы. Биомедсистемы - 2003: Тезисы докладов Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Рязань: Изд-во РГРТА, 2003. С. 3-5.

18. Ленков М.В. Применение аккомодометрического устройства для оценки утомляемости глаз студента в учебном процессе // Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы. Биомедсистемы - 2003: Тезисы докладов Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Рязань: Изд-во РГРТА, 2003. С. 19-21.
19. Ленков М.В., Рязанов А.В. Оценка влияния физических и биологических факторов на процесс регистрации биопотенциалов цилиарной мышцы // Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы. Биомедсистемы - 2003: Тезисы докладов Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Рязань: Изд-во РГРТА, 2003. С. 43-45.
20. Рязанов А.В., Ленков М.В. Сегментарный подход к построению электрической модели глаза // Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы. Биомедсистемы - 2003: Тезисы докладов Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Рязань: Изд-во РГРТА, 2003. С. 45-47.
21. Савинкин М.В., Ленков М.В. Компьютерная программа для раннего выявления первичной глаукомы // Материалы научно-практической конференции молодых исследователей, посвященной 60-лет. Ряз. гос. мед. ун-та им. академика И.П. Павлова. Рязань: Изд-во РязГМУ, 2004. С. 28-30.
22. Ленков М.В. Адаптивное управление магнитоэлектрическими средствами воздействия при лечении аккомодации // Информационно-измерительная и биомедицинская техника: Сб. науч. труд. / Рязанская государственная радиотехническая академия, каф. информационно-измерительной и биомедицинской техники. Рязань: Изд-во РГРТА, 2004. С. 80-91.
23. Ленков М.В., Рязанов А.В. Вариант компьютерного тестирования работоспособности органов зрительно-глазодвигательной системы при аккомодации // Информационно-измерительная и биомедицинская техника: Сб. науч. труд. / Рязанская государственная радиотехническая академия, Каф. Информационно-измерительной и биомедицинской техники. Рязань: Изд-во РГРТА, 2004. С. 92-96.
24. Рязанов А.В., Ленков М.В. Автоматизированная методика определения функциональных состояний зрительно-глазодвигательной системы при аккомодации // Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы. Биомедсистемы - 2004: Тезисы докладов Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Рязань: Изд-во РГРТА, 2004. С. 70-72.
25. Ленков М.В., Рязанов А.В. Построение системы адаптивного управления терапевтическими средствами воздействия при лечении патологий аккомодационного аппарата // Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы. Биомедсистемы - 2004: тезисы докладов Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Рязань: Изд-во РГРТА, 2004. С. 72-74.
26. Ленков М.В., Рязанов А.В. Программа для многомерной регистрации и обработки биоэлектрических сигналов цилиарной мышцы глаза при аккомодации в условиях зрительной нагрузки: прикладная программа; Федер. агент. по образованию, Ряз. госуд. радиотехн. академия. М., 2005. Гос. регистрация ОФАП БД ID3779 25.04.2005; В Инф. фонде РФ Рег. № 50200500516; В ФАП Инв. № 4614.
27. Ленков М.В., Рязанов А.В. Программный интерфейс аппаратного комплекса диагностики цилиарной мышцы при аккомодации // Новые информационные технологии в научных исследованиях и в образовании: Тезисы докладов X Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Рязань: Изд-во РГРТА, 2005. С. 125-126.
28. Ленков М.В. Экспериментальные исследования электрических параметров цилиарной

- мышцы // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. М.: Радиотехника, 2005, №7. С. 31-36.
29. Ленков М.В. Особенности разработки аппаратно-программных средств реализации электрографического метода исследования аккомодации // Вестник рязанской гос. радиотехн. академии: Научно-техн. журнал. Рязань: Рязанская гос. радиотехн. академия, 2005. Вып.16. С.41-48. ISBN 5-7722-0263-4.
30. Ленков М.В., Рязанов А.В. Программа для многомерной регистрации и обработки биоэлектрических сигналов цилиарной мышцы глаза при аккомодации в условиях зрительной нагрузки // Компьютерные учебные программы и инновации. М: ФГНУ «Госкоорцентр», 2006, № 3.
31. Lenkov M.V., Ryazanov A.V. The program for multivariate registration and processing of bioelectric signals ciliary muscles of an eye at accommodation in conditions of visual loading // Computing teaching programs and innovation. M: FSSE «State coordination centre of information technologies», 2006, №3.
32. Ленков М.В., Рязанов А.В. Построение математической модели электрической активности цилиарной мышцы в процессе аккомодации // Информационные технологии в XXI веке. VII Межвуз. научно-практ. конф.: Материалы конференции / Под ред. проф. Т.Н. Ананьевой. М.: ГОУВПО «МГУС», 2005. С. 40-42.
33. Жулев В.И., Ленков М.В., Рязанов А.В. Электродное устройство для неинвазивной регистрации биопотенциалов цилиарной мышцы // Информационно-измерительная и биомедицинская техника: Юбилейный сб. науч. труд. / Рязанская государств. радиотехн. академия, каф. информационно-измерительной и биомедицинской техники. Рязань: Изд-во РГРТА, 2005. С. 65-69.
34. Ленков М.В. Метод объективной диагностики аккомодационного аппарата глаза // Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы. Биомедсистемы - 2005: Тезисы докладов XVIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Рязань: РГРТА, 2005. С. 7-10.
35. Заявка №2005103894/14(005141), Российская Федерация, МПК А 61 В 3/10 (2006.02). Устройство для многомерной регистрации биопотенциалов цилиарной мышцы при аккомодации / М.В. Ленков, А.М. Беркутов (РФ); заявитель Рязанская госуд. радиотехн. академия; Заявл. 14.02.2005; приоритет 14.02.2005.
36. Заявка №2005118316/14(020791), Российская Федерация, МПК А 61 В 3/10 (2006.01)і. Способ определения работоспособности аккомодационного аппарата глаза и электродное устройство для его осуществления / М.В. Ленков, А.М. Беркутов (РФ); заявитель Рязанская госуд. радиотехн. академия; Заявл. 14.06.2005; приоритет 14.06.2005.

Соискатель



М.В. Ленков

Л е н к о в Михаил Владимирович

Способ и технические средства исследования аккомодационного
аппарата глаза человека в условиях зрительной нагрузки

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 24.05.06 Формат бумаги 60*84 1/16.
Усл. печ. л. 1,25. Уч.-изд. л. 1,25. Тираж 100 экз. Заказ 2902

Рязанский государственный радиотехнический университет.
390005, Рязань, ул. Гагарина, 59/1.

Отпечатано в НПЦ «Информационные технологии»
г. Рязань, ул. Островского, 21/1. Тел.: (4912) 98-69-84