

7
На правах рукописи

Астапенко Елена Михайловна

БИОТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА МНОГОКАНАЛЬНЫХ
ЭЛЕКТРОИМПЕДАНСНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПАРАМЕТРОВ
ГЕМОДИНАМИКИ ГОЛОВНОГО МОЗГА

Специальность 05.11.17 – Приборы, системы и изделия медицинского
назначения

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2012

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана».

Научный руководитель: доктор медицинских наук, профессор
Николаев Александр Петрович

Официальные оппоненты: Парашин Владимир Борисович – доктор технических наук, старший научный сотрудник, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, кафедра медико-технических информационных технологий, профессор;

Сергеев Игорь Константинович – кандидат технических наук, Холдинг ОАО «НПК «Оптические системы и технологии», управление по развитию гражданского приборостроения, начальник управления.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский и испытательный институт медицинской техники» (ВНИИИМТ) Росздравнадзора.

Защита состоится «19» декабря 2012 г. в 12.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.141.14 при Московском государственном техническом университете имени Н.Э. Баумана в зале Ученого Совета по адресу: 105005, г. Москва, 2-ая Бауманская ул., д.5, стр.1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им. Н.Э.Баумана

Автореферат разослан «15» 11 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Самородов
Андрей Владимирович

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



2011390

Астапенко Е.М. Биотехническ

39!

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

Заболевания сердечно-сосудистой системы (ССС), в том числе сосудов головного мозга, являются одними из наиболее распространенных в мире, а среди общей смертности в России составляют 57 %.

Оценка параметров гемодинамики головного мозга является актуальной в силу большой распространенности церебральной сосудистой патологии, омоложения контингента больных, тяжелых последствий, часто приводящих к инвалидности, высокой летальности. Поэтому в медицинской практике особое внимание уделяется неинвазивным методам исследования ССС.

Среди нарушений мозгового кровообращения выделяют начальные признаки недостаточности мозгового кровообращения, острые нарушения мозгового кровообращения (ОНМК), медленно прогрессирующие нарушения кровоснабжения мозга и последствия ранее перенесенного инсульта. К ОНМК относятся преходящие нарушения мозгового кровообращения, острая гипертоническая энцефалопатия и инсульты.

Важной задачей в данной области является применение многоканальных систем, позволяющих одновременно проводить оценку функционального состояния головного мозга с помощью нескольких диагностических методов таких, как реоэнцефалография (РЭГ), электроэнцефалография (ЭЭГ) и спектрофотометрия. Применение многоканальных реоэнцефалографических систем расширит возможности исследования регионарного церебрального кровообращения, позволив исследовать перераспределение крови между бассейнами внутренней сонной, наружной сонной и позвоночной артерий, оценивать показатели их сосудистого тонуса, сравнивать гемодинамические сдвиги, происходящие в одно и то же время в нескольких областях мозга.

Актуальность работы определяется:

- ростом сосудистых заболеваний, связанных с нарушением мозгового кровообращения;
- необходимостью создания многоканальной методики анализа состояния сосудов головного мозга.

Данная работа является продолжением исследований, направленных на разработку, исследование и внедрение в клиническую практику аппарата-

программных средств для анализа РЭГ-сигналов. В настоящей работе представлено развитие направления исследования гемодинамики, отраженное в трудах зарубежной, советской и российской научных школ (Polzer, 1950; Schuhfried, 1950; Jenker, 1957; Яруллин Х.Х., 1967; Москаленко Ю.Е., 1970; Эниня Г.И., 1973; Науменко А.И., 1975; Скотников В.В., 1975; Щукин С.И., 1988; Морозов А.А., 1994; Зубенко В.Г., 1994; Беляев К.Р., 1996; Мерлеев А.А., 1999; Светашев М.Г., 1999; Иванов Л. Б., Макаров В. А., 2000; Морозов Д.Ю., 2003; Захаров С.М., 2004; Сергеев И.К., 2004; Стрелков В.Б., 2004; Лужнов П.В., 2005; Скоморохов А.А., 2006; Шамкина Л.А., 2009).

Цель и задачи диссертации

Целью диссертационной работы является повышение информативности диагностики состояния артериальной системы головного мозга за счет разработки аппаратно-программного комплекса многоканальной реоэнцефалографии.

Задачи работы:

- 1) Создание методики многоканальной неинвазивной диагностики состояния артериальной системы головного мозга.
- 2) Разработка и создание системы реоэнцефалографических отведений, конструкций электродов и систем их фиксации с учетом анатомического строения головного мозга.
- 3) Исследование и разработка методов классификации сигналов церебральной гемодинамики.
- 4) Создание и апробация технологии анализа информативных параметров реоэнцефалографических сигналов, оптимизированной применительно к задачам диагностики нарушений церебральной гемодинамики.

Научная новизна

При решении поставленных задач получены следующие новые научные результаты:

- 1) На основании проведенных исследований реоэнцефалографических сигналов и установленных количественных

критериев, позволяющих алгоритмически интерпретировать РЭГ-циклы, предложена классификация РЭГ-циклов по шести видам формы.

2) В результате проведенных экспериментальных и теоретических исследований установлены количественные критерии соответствия шести видов формы РЭГ-циклов трем состояниям сосудистого тонуса.

3) На основе медико-технических исследований предложена и реализована система 10 реоэнцефалографических отведений, учитывающая топологию основных артерий головного мозга, индивидуальные различия размеров и формы головы обследуемого.

4) Показано, что использование в клинической практике разработанной методики анализа многоканальных реоэнцефалографических сигналов с помощью преобладающих видов формы и типов сосудистого тонуса РЭГ-циклов позволяет достоверно выявлять нарушения мозгового кровообращения.

Практическая значимость

Практическая значимость диссертационной работы заключается в разработке методов диагностики состояния кровеносной системы головного мозга. Результаты работы внедрены в практику ГКБ №1 им. Н.И. Пирогова.

– Разработана новая классификация реоэнцефалографических циклов на основе контурного анализа, позволяющая выявить изменения гемодинамики головного мозга.

– Предложена система отведений, включающая конструкцию электродов и элементы их крепления, для проведения многоканальных реоэнцефалографических исследований.

– Разработано программное обеспечение для обработки многоканальных реоэнцефалографических сигналов, позволяющее проводить их анализ по предложенной классификации и расчет информативных реографических параметров церебральной гемодинамики.

Положения, выносимые на защиту

- Классификация РЭГ-циклов по шести видам формы, позволяющая интерпретировать РЭГ-циклы в норме и при патологии.

- Система 10 реоэнцефалографических отведений для проведения многоканальных исследований параметров церебральной гемодинамики, учитывающая топоологию основных артерий головного мозга.

- Технология анализа информативных параметров реоэнцефалографических сигналов, позволяющая установить локализацию нарушений мозгового кровообращения.

Апробация работы и публикации

Апробация работы проведена на научном семинаре факультета “Биомедицинская техника” (БМТ) МГТУ им. Н.Э.Баумана и в ГКБ №1 им. Н.И. Пирогова на базе проведенных исследований в неврологических отделениях № 12 и № 13 и отделении функциональной диагностики № 47. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на VIII МНТК «Медико-технические технологии на страже здоровья» (о. Родос (Греция), 2006), IX МНТК «Медико-технические технологии на страже здоровья» (о. Сицилия (Италия), 2007), XIII МНТК «Медико-технические технологии на страже здоровья» (о. Майорка (Испания), 2011), III Российско-Баварской конференции по биомедицинской технике (г. Зеленоград, 2007), IV Российско-Баварской конференции по биомедицинской технике (г. Зеленоград, 2008), V Российско-Баварской конференции по биомедицинской технике (г. Мюнхен, 2009), VI Российско-Баварской конференции по биомедицинской технике (г. Мюнхен, 2010), VII Российско-Баварской конференции по биомедицинской технике (г. Мюнхен, 2011), Всероссийской с международным участием научной конференции «МЕТРОМЕД-2011» (г. Санкт-Петербург, 2011).

По теме диссертации опубликовано 8 научных работ, 3 из которых – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Структура и объем диссертации

Содержание диссертации соответствует специальности 05.11.17.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, общих выводов и приложений. Основное содержание работы изложено на 130 страницах, содержит 60 рисунков, 19 таблиц, 72 источника, из них 5 зарубежных.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность работы, описаны основные преимущества предлагаемой методики регистрации РЭГ-сигналов и классификации РЭГ-циклов. Приводятся возможности разработанного программного обеспечения, позволяющего проводить анализ РЭГ-сигналов согласно предложенной классификации.

Сформулированы научная новизна и практическая значимость работы, цель и задачи диссертационного исследования.

В первой главе проводится анализ существующих методов исследования нарушений мозгового кровообращения. Описываются биотехнические принципы разработки многоканальных систем диагностики функционального состояния головного мозга. Отмечено, что техническое звено разрабатываемой биотехнической системы (БТС) представлено реографом, электроэнцефалографом и персональным компьютером.

В главе приведены основные преимущества реоэнцефалографических методов для исследования гемодинамики головного мозга, к которым относятся:

- отсутствие противопоказаний;
- возможность проведения многоканальных исследований;
- возможность длительного мониторинга требуемых параметров;
- низкие экономические затраты на проведение исследований.

В главе описаны параметры РЭГ-сигналов, принципы их регистрации и методики проведения РЭГ-исследований, существующие и имеющие место на сегодняшний день в клинической практике.

Предложено использование многоканальной реоэнцефалографии для длительного мониторинга параметров гемодинамики головного мозга с целью проведения одновременной регистрации сигналов кровенаполнения и оценки гемодинамических сдвигов в его четырех долях: лобной, височной, теменной и затылочной.

Вторая глава посвящена разработке системы РЭГ-отведений для проведения многоканальных исследований гемодинамики головного мозга.

В главе рассмотрены вопросы разработки и оптимизации электродной системы для РЭГ-исследований при тетраполярной методике регистрации

для анализа кровообращения головного мозга в его четырех долях. Применение при тетраполярной методике в каждом отведении двух токовых и двух измерительных электродов обеспечивает стабильность переходного сопротивления, необходимую точность отсчета величины базового импеданса и приемлемую помехозащищенность.

Таблица 1.

Основные характеристики реографических систем

Реограф	4-РГ-1	«Рео-Спектр-3»	32-хканальная реографическая система
Число каналов регистрации реограммы	до 4	до 6	до 30
Частота дискретизации каналов, Гц	–	128, 256, 512	до 500
Реограмма:			
метод измерения	Биполярный	биполярный, тетраполярный	тетраполярный
измерительный ток (эфф. значение)	2 мА, 120 кГц	2 мА, 30-100 кГц	3 мА, 100 кГц
базовый импеданс Z	–	10 – 500 Ом	1 – 250 Ом
диапазон изменений ΔZ	–	$\pm 10\%$	± 2 Ом
приведенный ко входу шум, не более	–	5 мОм эфф.	3 мОм эфф.
полоса пропускания	0,2...500 Гц	0...35 Гц	0,17...45 Гц

Отмечено, что основными отведениями для регистрации РЭГ-сигналов являются фронто-мастоидальные F-M и окципито-мастоидальные O-M отведения, позволяющие оценить кровоснабжение внутренних сонных и позвоночных артерий соответственно. Для исследования параметров кровообращения основных артерий головного мозга в клинической практике применяют четырех- и шестиканальные системы. Для проведения многоканальной РЭГ в качестве реографических систем в работе использовались шестиканальный реограф «Рео-Спектр-3» компании «Нейрософт» и разработанная на кафедре Медико-технических информационных технологий МГТУ им. Н.Э. Баумана 32-хканальная

географическая система. Их основные характеристики представлены в таблице 1.

Показано, что для исследования пульсового кровенаполнения, тонуса и эластичности сосудов симметричных участков головного мозга проводится регистрация до 20 РЭГ-отведений (Х.Х. Яруллин, 1983). Установлено, что для оценки параметров гемодинамики крупных артерий головного мозга допустимо использовать меньшее количество РЭГ-отведений. На основании данных об анатомическом строении кровеносной системы головного мозга, схемы наложения ЭЭГ-электродов и необходимости получения параметров гемодинамики с равнозначных по объему областей предложена система из десяти РЭГ-отведений (рис. 1).

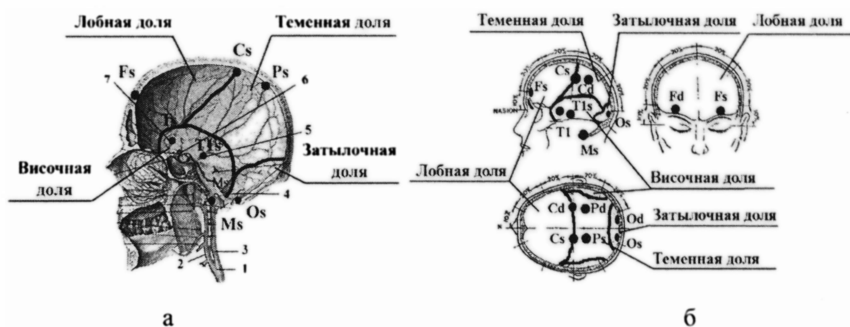


Рис. 1. Схема наложения электродов (измерительных):

а – в соответствии с анатомическим строением, б – по долям головного мозга
 1 – общая сонная артерия, 2 – наружная сонная артерия, 3, 6 – внутренняя сонная артерия, 4 – задняя менингеальная артерия, 5 – теменная ветвь средней менингеальной артерии, 7 – лобная ветвь средней менингеальной артерии

В главе приводятся разработанные модификации электродных шлемов (рис. 2): на основе жесткой конструкции (рис. 2а), нескольких эластичных лент, скрепленных между собой (рис. 2б), и из гибких резиновых жгутов (рис. 2в). Задачами разработки электродного шлема для регистрации РЭГ являются обеспечение возможности проведения многоканальной РЭГ с 10 отведений и фиксации электродов с учетом анатомических особенностей. Конструкционные параметры шлема зависят от диаметра головы, количества регистрируемых РЭГ-отведений и требуемой точности позиционирования электродов.

Для РЭГ-исследований в клинической практике используются электроды первого рода. В ходе разработки конструкции электрода для проведения многоканальной РЭГ были выделены и учтены следующие факторы и параметры: анатомическое строение головы, качество контакта, точность позиционирования электрода. В главе представлены 3 конструкции электродов с различными геометрическими формами контактных площадок и дополнительными элементами крепления к шлему. По удобству использования с электродными шлемами на основе эластичных лент и гибких резиновых жгутов были выбраны соответственно электрод круглой формы из нержавеющей стали диаметром 8 мм и электрод квадратной формы со скругленными углами и размером контактной площадки 8 x 8 мм.

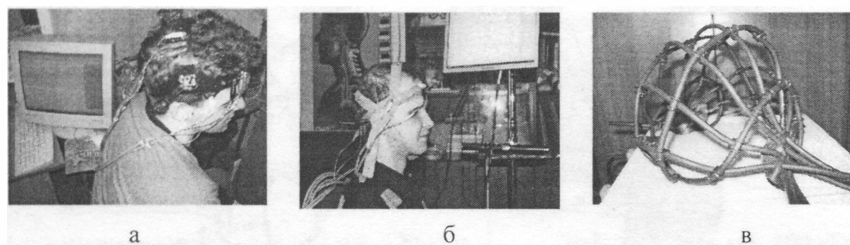


Рис.2. Разработанные модификации шлемов для РЭГ-исследований:

а – на основе жесткой конструкции, б – на основе нескольких эластичных лент, скрепленных между собой, в – на основе гибких резиновых жгутов

В главе приводится обоснование параметров электродной системы, используемой в работе. Моделирование и расчет параметров электродной системы проводилось с помощью трехслойной сферической глубинной модели области зондирования. Рассматривались три среды: скальп, костная ткань и ткань головного мозга.

С учетом результатов моделирования, малого кровообращения в костной ткани и высокого удельного сопротивления кости, для оценки вклада в результирующий сигнал реоэнцефалограммы каждого из слоев рассматривалась двухслойная модель: первый слой – скальп, второй слой – ткань головного мозга. На основании проведенных расчетов с помощью разработанного на кафедре Медико-технических информационных технологий МГТУ им. Н.Э. Баумана программного обеспечения «ZModel» для расчета распределения импеданса на поверхности биообъекта было показано, что при использовании предлагаемых отведений РЭГ основной

вклад в сигнал реоэнцефалограммы вносит импеданс ткани головного мозга. Результаты моделирования позволяют использовать как метод РЭГ, так и определенные параметры электродных систем для оценки параметров гемодинамики сосудов головного мозга.

Третья глава посвящена формированию классификации РЭГ-циклов, ее обоснованию с точки зрения биомеханики мозгового кровообращения, разработке алгоритмов анализа РЭГ-сигналов и расчету информативных реографических параметров церебральной гемодинамики.

В главе отмечено, что в настоящее время типы реографических сигналов в зависимости от состояния сосудистого русла принято классифицировать на нормотонический, гипотонический и гипертонический. Показано, что для конечностей классификация реовазографических (РВГ) циклов согласуется с состоянием сосудистого тонуса (Лужнов П.В., 2005).

Применяемая Х.Х. Ярулиным (1983) классификация реоэнцефалографических сигналов включала 5 типов РЭГ-циклов: нормотонический, гипотонический, гипертонический, атонический и атеросклеротический. На основании этих и собственных данных показано, что для РЭГ-сигналов часто характерны отрицательные значения дикротического индекса, что требует разработки соответствующей классификации.

В результате анализа положений вершин систолической и диастолической волн, инцизуры, количества и характера вершин РЭГ здоровых добровольцев сформулирована гипотеза о том, что в общем случае РЭГ-цикл имеет 3 волны. Показано, что для описания РЭГ-цикла требуется 11 количественных параметров (рис. 3).

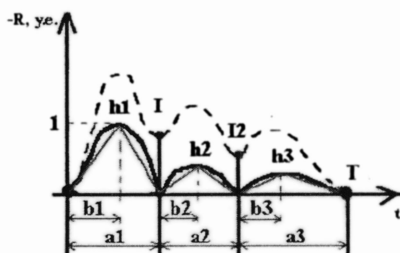


Рис. 3. Количественные показатели, позволяющие классифицировать РЭГ-цикл

В главе показано, что допустимо применение классификации реоэнцефалографических сигналов по 6 видам формы РЭГ-циклов (рис. 4). За основу предлагаемой классификации приняты выделение двух или трех волн на реоцикле, положительное или отрицательное положение точек инцизуры и положение диастолической волны. Установлено, что наиболее часто встречающимися видами формы являются вид формы «3» с процентным соотношением проявлений в записях РЭГ 48% и вид формы «5» с процентным соотношением 35%. «Цифровой» порядок расположения видов формы РЭГ-циклов определяется частотой встречающихся переходов между ними: наиболее часто встречающиеся виды формы РЭГ-циклов соответствуют цифровым обозначениям с разницей в единицу. Под переходом понимается изменение вида формы двух последовательных РЭГ-циклов. Лужновым П.В. (2005), Шамкиной Л.А. (2009) показано, что количество переходов между различными типами сигналов РВГ является важным информативным показателем оценки сосудистого тонуса периферических артерий. На основании этих данных для оценки изменения состояния гемодинамики головного мозга предложено проведение анализа количества встречающихся переходов видов формы РЭГ-циклов.

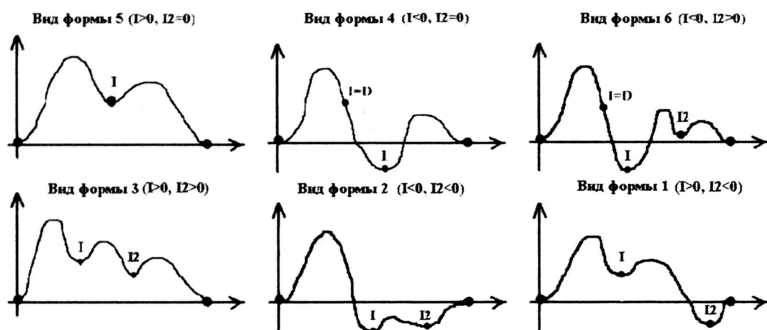


Рис. 4. Классификация видов формы РЭГ-циклов

В главе проведено обоснование 6 видов формы РЭГ-циклов с точки зрения биомеханики мозгового кровообращения. На основании данных ультразвуковой диагностики для различных состояний сосудистого тонуса проведено моделирование форм РЭГ-сигналов головного мозга. Установлено, что предложенные 6 видов формы РЭГ-циклов допустимо описывать тремя состояниями сосудистого тонуса: нормотоническим, гипотоническим и гипертоническим.

В главе определена принадлежность шести видов формы РЭГ-циклов, в том числе с отрицательными значениями параметра ДКИ, трем состояниям сосудистого тонуса (рис. 5). Предложены и апробированы количественные критерии условий соответствия одной классификации другой: дикротический индекс (ДКИ), абсцисса инцизуры TA_I и вершина диастолической волны TA_D . На рис. 5 показаны восемь областей проявления шести видов формы РЭГ-циклов: границы областей определяются числовыми значениями параметров ДКИ, TA_I и TA_D .



Рис. 5. Графическое определение видов формы РЭГ-циклов:

TA_I – абсцисса инцизуры, TA_D – абсцисса вершины диастолической волны,
ДКИ – дикротический индекс

Разработано программное обеспечение для оценки параметров кровообращения головного мозга, позволяющее в режиме «off-line» одномоментно проводить анализ до 10 реоэнцефалограмм. Анализ РЭГ-сигналов включает 3 этапа: предварительную обработку, классификацию и расчет параметров РЭГ-сигналов.

В программном обеспечении реализованы алгоритм контурного анализа, алгоритм классификации реоэнцефалограмм по шести видам формы РЭГ-циклов и трем состояниям сосудистого тонуса.

Для исследования кровообращения головного мозга предложены следующие показатели гемодинамики: показатель количества переходов между преобладающими видами формы или типами РЭГ-циклов $K_{\text{ПРЭГ}}$ и параметр «миграция РЭГ-циклов».

Показатель количества переходов между преобладающими видами формы или типами РЭГ-циклов $K_{\text{ПРЭГ}}$ отражает изменение соседних

преобладающих видов формы или типов РЭГ друг относительно друга и вычисляется как суммарное количество изменений преобладающих видов формы или типов РЭГ на интервале в 10 РЭГ-циклов:

$$K_{\text{ПРЭГ}} = \sum_{i=2}^N \begin{cases} K_{\text{ПРЭГ}} + 1, & \text{если } K_{\text{ПРЭГ}_i} \neq K_{\text{ПРЭГ}_{i-1}} \\ K_{\text{ПРЭГ}}, & \text{если } K_{\text{ПРЭГ}_i} = K_{\text{ПРЭГ}_{i-1}} \end{cases} \quad (1)$$

где $K_{\text{ПРЭГ}}$ – показатель количества переходов между преобладающими видами формы или типами РЭГ-циклов, определяемых за 10 РЭГ-циклов, за 10-минутный интервал;

i – номер текущего значения преобладающего вида формы или типа РЭГ-цикла;

N – общее количество преобладающих видов формы или типов РЭГ-циклов в 10-минутной записи;

$K_{\text{ПРЭГ}_i}$ – текущее значение преобладающего вида формы или типа РЭГ-цикла;

$K_{\text{ПРЭГ}_{i-1}}$ – предыдущее значение преобладающего вида формы или типа РЭГ-цикла.

Установлено уменьшение показателя $K_{\text{ПРЭГ}}$ при стабилизации сосудистого тонуса в исследуемой области головного мозга.

Параметр «миграция РЭГ-циклов» выражается графически, определяя последовательное проявление определенного вида формы или типа РЭГ-цикла в каждом из пяти отведений полушария и показывает взаимосвязь изменения гемодинамических параметров полушарий головного мозга.

Четвертая глава содержит исследования параметров кровенаполнения различных отделов головного мозга, которые осуществлялись на базе неврологических отделений №12 и №13 и отделения функциональной диагностики №47 ГKB №1 им. Н.И. Пирогова и кафедры Медико-технических информационных технологий МГТУ им. Н.Э.Баумана.

Для оценки информативности показателя количества переходов между преобладающими видами формы или типами РЭГ-циклов $K_{\text{ПРЭГ}}$ и параметра «миграция РЭГ-циклов» проведены исследования РЭГ-сигналов двух групп: 1) группы здоровых добровольцев без нарушения мозгового кровообращения в анамнезе в возрасте 20 до 45 лет численностью 10 человек; 2) группы пациентов с нарушениями мозгового кровообращения в возрасте от 45 до 82 лет в количестве 15 человек. Вторая группа исследований включала в себя

две подгруппы: 1) пациентов с ОНМК по ишемическому типу и 2) пациентов с дисциркуляторной энцефалопатией.

Регистрация РЭГ проводилась по общепринятой методике в 4 отделениях и по предлагаемой методике в 10 отделениях в положении сидя с закрытыми глазами в течение 10 минут в состоянии покоя. Наложение электродов осуществлялось по тетраполярной и биполярной методикам. В качестве реографических систем в главе использованы шестиканальный реограф «Рео-Спектр-3» компании «Нейрософт» и разработанная на кафедре Медико-технических информационных технологий МГТУ им. Н.Э. Баумана 32-хканальная реографическая система.

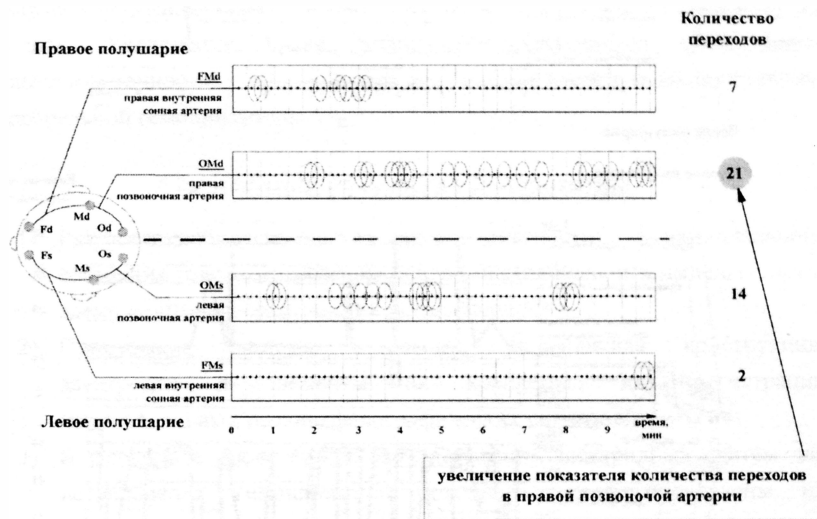
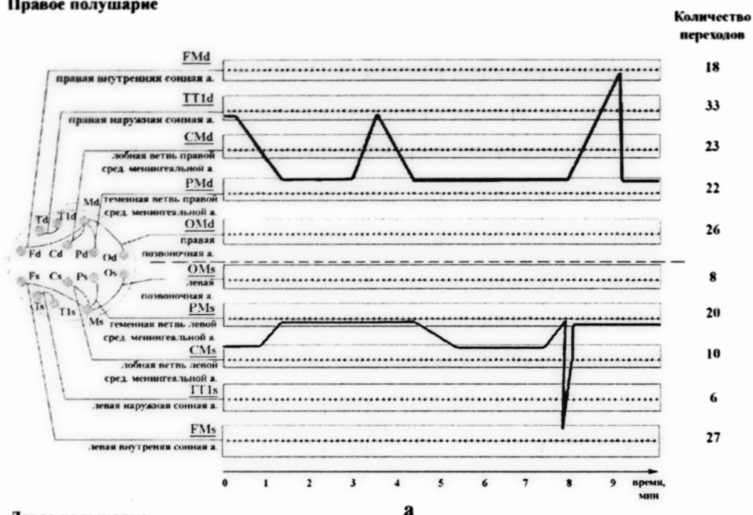


Рис. 6. Определение локализации нарушений мозгового кровообращения пациента Р., 69 г. с ОНМК по ишемическому типу в вертебробазилярном бассейне

На основании результатов исследований разработана методика анализа гемодинамики головного мозга, основанная на совместной оценке следующих показателей: преобладающих типов сосудистого тонуса, показателей количества переходов между преобладающими видами формы и типами РЭГ-циклов $K_{\text{ПРЭГ}}$, коэффициентов асимметрии $A_{\text{КПРЭГ}}$ и параметра «миграция РЭГ-циклов».

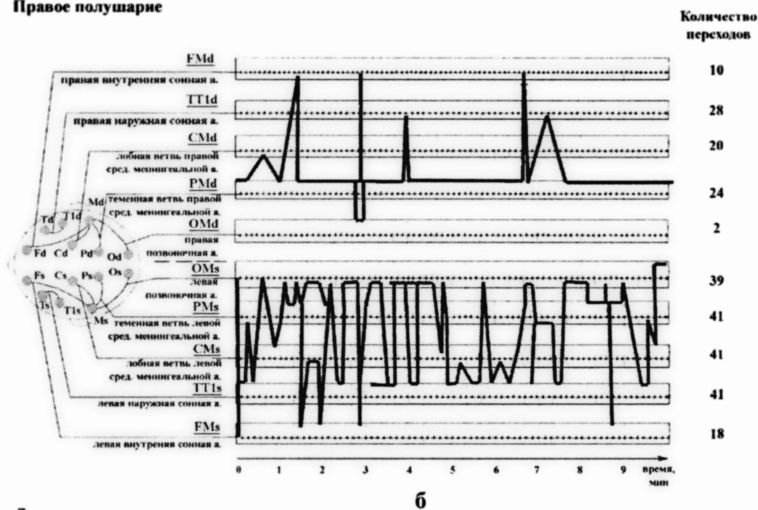
Разработанная методика анализа гемодинамики головного мозга позволяет установить локализацию нарушений мозгового кровообращения у

Правое полушарие



Левое полушарие

Правое полушарие



Левое полушарие

Рис. 7. Пример тренда миграции гипотонического типа здорового добровольца без нарушения мозгового кровообращения в анамнезе:

а – в покое, б – при функциональной пробе

различных групп исследований. На рис. 6 представлен пример определения локализации нарушения мозгового кровообращения: слева выделены значение показателя $K_{\text{ПРЭГ}}$ для типов РЭГ-циклов в отведении OMd,

отражающего кровоснабжение правой позвоночной артерии. Асимметрия показателей $K_{\text{ПРЭГ}}$ и преобладающий гипертонический или гипотонический тип сосудистого тонуса в отведении свидетельствуют о локализации нарушений мозгового кровообращения в данной области. Установлено, что результаты анализа РЭГ-сигналов подтверждаются результатами ультразвуковой доплерографии и компьютерной томографии.

Результаты исследований показали, что параметр «миграция РЭГ-циклов» описывает гемодинамические сдвиги в соответствующих долях и полушариях головного мозга при проведении функциональных проб и терапии (рис. 7). Слева на рис. 7 схематично изображена использовавшаяся система отведений, справа – значения показателя $K_{\text{ПРЭГ}}$ по каждому из каналов. Увеличение числа регистрируемых каналов обеспечивает повышение точности локализации при диагностике исследуемых показателей церебральной гемодинамики.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

- 1) Разработана биотехническая система диагностики функционального состояния головного мозга на основе многоканальных импедансных и электроэнцефалографических исследований.
- 2) Предложена система отведений, включающая конструкцию электродов и элементы их крепления, для регистрации многоканальных реоэнцефалографических сигналов.
- 3) В результате проведенного моделирования электродных систем для исследования гемодинамики головного мозга определены их параметры при проведении многоканальных реоэнцефалографических исследований.
- 4) Установлены количественные критерии, позволяющие классифицировать РЭГ-циклы. Показано, что известные РЭГ-циклы допустимо описать шестью видами формы.
- 5) Установлено соответствие между шестью видами формы РЭГ-циклов и тремя типами сосудистого тонуса. Определены количественные критерии принадлежности текущего РЭГ-цикла к состояниям сосудистого тонуса.
- 6) Разработаны программно-алгоритмические средства и специализированное программное обеспечение для анализа многоканальных реоэнцефалограмм по предложенной классификации.

- 7) Предложена методика многоканальной неинвазивной диагностики головного мозга, позволяющая установить локализацию нарушений мозгового кровообращения с использованием преобладающих видов формы РЭГ-циклов и типов сосудистого тонуса.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

- 1 Исследование параметров гемодинамики головного мозга с помощью многоканальной реоэнцефалографии / Е.М. Астапенко [и др.] // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2011. – №10. – С. 33-38.
2. Метод анализа многоканальных реоэнцефалографических сигналов / Е.М. Астапенко [и др.] // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2012. – №5. – С. 9-14.
3. Методика анализа многоканальных реоэнцефалографических сигналов / Е.М. Астапенко [и др.] // Медико-технические технологии на страже здоровья: Сб. трудов XIII МНТК. О. Майорка, 25 сентября – 02 октября 2011 г. – М., 2011. – С. 10-11.
4. Астапенко Е.М., Лужнов П.В. Анализ результатов многоканальных исследований показателей гемодинамики головного мозга // Измерительные и информационные технологии в охране здоровья. МЕТРОМЕД-2011: Сб. научных трудов международной научной конференции. – СПб., 2011. – С. 50-52.
5. Астапенко Е.М., Лужнов П.В. Особенности методики исследования гемодинамики головного мозга при многоканальной реоэнцефалографии // Медико-технические технологии на страже здоровья: Сб. трудов VIII МНТК. О. Родос, 24 сентября – 01 октября 2006 г. – М., 2006. – С. 19-20.
6. Астапенко Е.М., Лужнов П.В. Исследование корреляции параметров электрической активности и гемодинамики головного мозга // Медико-технические технологии на страже здоровья: Сб. трудов IX МНТК. О. Сицилия, 05 октября – 12 октября 2007 г. – М., 2007. – С. 28-30.
7. Astapenko E.M., Luzhnov P.V. Features of joint brain electric activity and hemodynamics research // Proceedings of the 4th Russian-Bavarian Conference on Biomedical Engineering. – Moscow, 2008. – P. 304-308.
8. Лужнов П.В., Шамкина Л.А., Астапенко Е.М. Особенности измерения артериального и венозного регионарного давления при оценке эффективности терапии // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2008. – №10. – С. 21-26.