



ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРОКОЖНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ И БИОТЕХНИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЕМ ПАЦИЕНТА ПРИ МЕХАНОТЕРАПЕВТИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

УДК 616-085:681.5

Разумов А.Н., заведующий кафедры восстановительной медицины Первого Московского государственного медицинского университета им. И.М. Сеченова, д.м.н., проф., академик РАМН;

Головин В.Ф., доцент кафедры автоматики, информатики и систем управления Московского государственного индустриального университета (ГОУ МГИУ), к.т.н.;

Архипов М.В., Московский государственный индустриальный университет (ГОУ МГИУ), ассистент;

Журавлев В.В., Московский государственный индустриальный университет (ГОУ МГИУ), ассистент.

Аннотация.

С целью объективизации эффекта механотерапии в восстановительной медицине рассматривается использование электрокожного сопротивления для диагностики и биотехнического управления состоянием пациента. Приводится описание и методика работы с измерительным компьютерным комплексом «Альфаритмика». Показано, что в наибольшей степени механотерапевтическое воздействие проявляется в электрокожном сопротивлении в сравнении с другими параметрами: частотой сердечных сокращений, артериальным давлением, температурой тела. Предложены критерии оценки механотерапии на основании анализа сигнала электрокожного сопротивления в режиме реального времени. Представлены результаты измерения и анализа электрокожного сопротивления, позволяющие осуществлять управление механотерапией, используя манипуляционную робототехнику.

Введение.

Кожно-гальваническая реакция состоит в проявлении биоэлектрической активности кожи как показателя непроизвольной вегетативной активности. Используется для оценки изменения функциональных состояний, эмоциональных реакций, индивидуальных различий. Для регистрации кожно-гальванической реакции может осуществляться замер разности кожных потенциалов (метод Тарханова) или электрокожного сопротивления (метод Фере).

Материалы и методы исследования.

Большинство существующих приборов регистрируют кожно-гальваническую реакцию по измерению электрокожного сопротивления (ЭКС). Сопротивление ряда участков тела, в том числе ладони тела человека, зависит от деятельности потовых желез, которыми управляет нервная система. Любое эмоциональное возбуждение или нервно-психическое расслабление заставляет потовые железы

Таблица 1. Классификация различных психофизиологических состояний в зависимости от динамики ЭКС

Графическая конфигурация	Характеристика состояния
	Состояние высокой «боевой» готовности
	Некоторое преобладание возбуждения, способность к релаксации ослаблена
	Чрезмерное возбуждение, «предстартовая лихорадка»
	Начальная стадия охранительного торможения. Заторможенность локомоций.
	Глубокая заторможенная апатия, нет динамики процесса «релаксация-активация»
	Крайняя степень возбуждения, на грани адаптации возможны неадекватные реакции
	Переутомление на грани срыва адаптации, вялость
	Срыв адаптации, состояние болезни
	Запредельное переутомление ЦНС, депрессия, состояние болезни

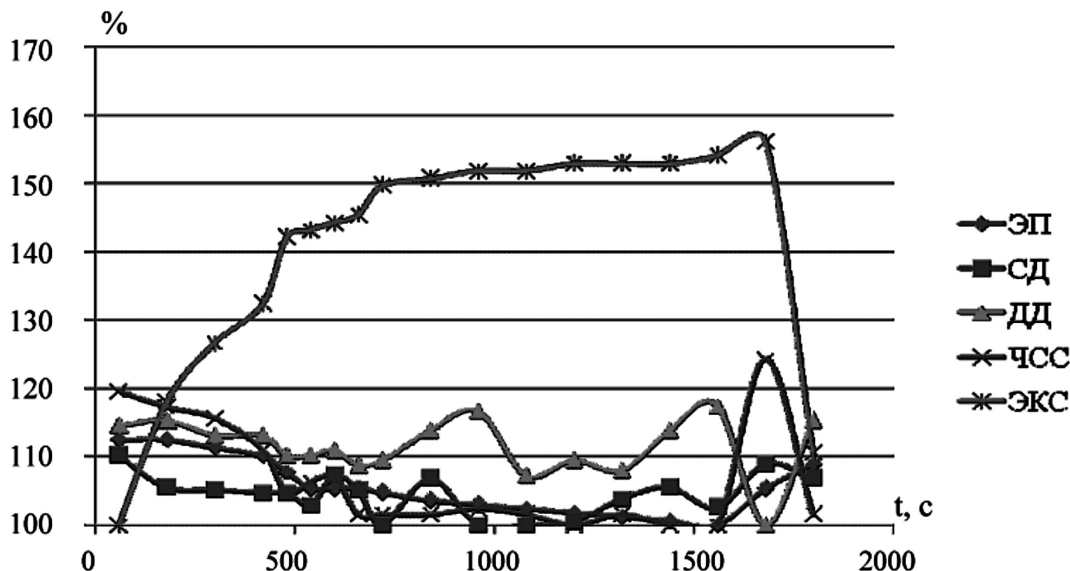


Рис. 1. Изменения ЭКС и других психофизиологических показателей при механотерапии

работать в разных режимах, что, в конечном счете, приводит к изменению сопротивления кожи человека.

Оценка психофизиологического состояния здоровых людей по данным измерения ЭКС рассматривается в работе [1]. Для получения количественной оценки психофизиологического состояния в процессе тестирования фиксировались три ключевых значения сопротивления, и по ним рассчитывался индекс психофизиологического состояния по формуле:

$ПФС = R3/R1 + R2/R1$, усл.ед. где значения сопротивлений:

- R1 – в конце первой минуты, по завершении переходных процессов;
- R2 – в конце шестой минуты, по завершении фазы релаксации;
- R3 – в конце девятой минуты, по завершении фазы активации.

Основной задачей исследования была оценка психофизиологического состояния и его динамика во время отдыха. В течение 20 дней обследовались 38 добровольцев, которые были разделены на три группы. Первая группа отдыхала в домашних условиях, вторая – в условиях малой двигательной активности и третья – в условиях большой двигательной активности. Результаты эксперимента показывают, что у добровольцев, отдыхавших в условиях большой двигательной активности, индекс психофизиологического состояния увеличился на 30%, во второй группе на 5% и в первой группе на 3%. Эти результаты позволяют наглядно оценить взаимосвязь динамики ЭКС во время отдыха с эффективностью коррекции психофизиологического состояния.

В той же работе проведены исследования, устанавливающие взаимосвязь способности человека к изменению уровня активности психофизиологического состояния с готовностью к высокорезультативной деятельности. При этом динамика значений ЭКС, отмеченная у испытуемых при произвольном переходе от релаксации к мобилизации, классифицирована соответственно на 9 вариантов (табл. 1), характеризующих различные психофизиологические состояния: первая стрелка – релаксация, вторая – мобилизация.

В работе [2] исследуется эффект усиления релаксации или тонизации при использовании сигнала ЭКС в качестве канала биологической обратной связи. Регулярные тренировки с использованием биологической обратной связи способствуют выработке условного рефлекса на поддержание спокойно-внимательного состояния, без излишнего напряжения и тревоги. Человек получает инструмент активного влияния на эмоциональную составляющую своих психосоматических расстройств и достижения максимального уровня работоспособности.

Разработано множество диагностических аппаратно-программных комплексов для измерения электрокожного сопротивления в реальном времени и определения психофизиологического состояния человека. Примером такой системы является «Альфаритмика», осуществляющая параметрический контроль в режиме реального времени за процессами тонизации-восстановления. Для контакта с телом человека применяются специальные электроды. Их укрепляют на тех участках кожи, где содержится максимальное количество потовых желез, например на ладони.

Технические характеристики системы «Альфаритмика»
Плотность тока: не более 10 мкА/см²;
Диапазон частот зондирующего сигнала: 5–1000 Гц;
Дискретность АЦП: от 0,5 сек. на частоте 5 Гц до 0,005 сек. на частоте 1 кГц;
Электроды диаметром 10–20 мм, толщиной 2–5 мм, материал цинк;
Напряжение питания: 9 В,
Диапазон измерения сопротивления: 100 Ом – 4 МОм;
Постоянная погрешность измерения: 5%;
Вывод результатов на компьютер, порты: USB, RS232.

Измерение ЭКС, наряду с измерением частоты сердечных сокращений и артериального давления, используется для оценки достоверности ответов испытуемых в детекции лжи [3].

Механотерапия, в частности массажные манипуляции, активируют различные рецепторы и афферентные пути проведения информации и вызывают различные периферические реакции [4]. Эти реакции проявляются в ряде измеримых психофизиологических параметров, в частности в артериальном давлении, частоте сердечных сокращений, электропроводимости, ЭКС и мышечном тоне.

В работе [5] было показано, что ЭКС и мышечный тонус имеют большую зависимость от массажного воздействия, чем указанные остальные психофизиологические параметры. При механотерапии у пациентов параллельно регистрировали артериальное давление систолическое (СД) и диастолическое (ДД), частоту сердечных сокращений (ЧСС), электропроводимость (ЭП) и ЭКС. Для сопоставления все измеряемые показатели были приведены в единую систему измерений. Минимальную величину, полученную при измерении, принимали за 100% и соответственно пересчитывали остальные значения психофизиологических показателей. Наибольшие изменения до 41% наблюдаются у ЭКС (рис. 2). В таблице 2 приведены численные показатели колебаний психофизиологических показателей.

Таблица 2. Амплитуда колебаний некоторых показателей функционального состояния организма

Показатели	Колебания	
	абс. ед.	%
СД, мм рт.ст.	20	15
ДД, мм рт.ст.	22	15
ЧСС, уд/мин	21	30
ЭП, мкА	88	33
ЭКС, кОм	551	41

Согласно концепции системогенезиса кожно-гальванической реакции, секреторная деятельность потовых желез тесно связана с активностью нервной системы человека [6]. Быстрый темп массажных приемов активизируют психомоторные функции, повышая кровоток, вызывая стимуляцию работы потовых желез на ладонях, что приводит к снижению сопротивления. Медленный темп массажных приемов приводит к уменьшению кровотока, снижению потоотделения и росту сопротивления. Первое состояние ЦНС принято называть концентрацией, а второе – релаксацией. Характерная кривая, отражающая динамику ЭКС, представлена на рис. 2.

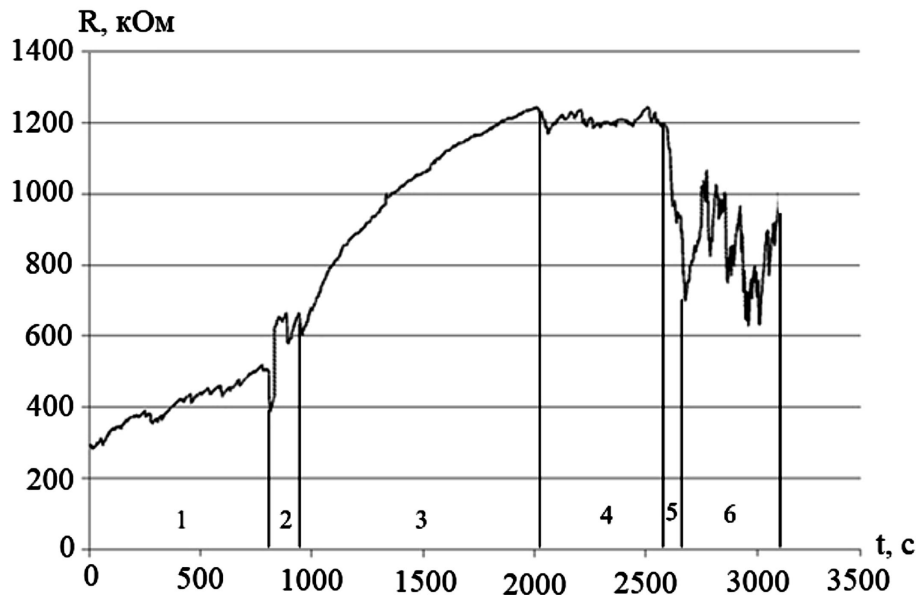


Рис. 2. Кривая ЭКС в сеансе массажа

Кривую ЭКС в данном сеансе можно разделить на следующие участки:

- 1 – пациент сидит в кресле и старается расслабиться;
- 2 – пациент лежит на кушетке без массажа;
- 3 – действие релаксационного массажа до установившегося максимального значения ЭКС;
- 4 – выдержка максимального значения ЭКС;
- 5 – действие возбуждающего массажа;
- 6 – участок стабилизации после окончания массажного воздействия.

Субъективное ощущение пациента во время сеанса: глубокая релаксация вплоть до сонливости, после возбуждающего массажа – бодрое состояние. На каждом участке наблюдалось действие случайных возмущений, вызванных разговорами в помещении, сменой настроения, раздумьями пациента.

Экспоненциальное возрастание ЭКС при релаксирующей механостимуляции показывают множество экспериментов. Релаксирующая механостимуляция включает дренажные приемы массажа: выжимания, разминания и поглаживания, выполняемые медленно и непрерывно со скоростью порядка 50 мм/с. Продолжительность роста ЭКС до установившегося значения для различных пациентов различна и составляет 4 ÷ 15 минут. Уменьшению продолжительности способствует минорное музыкальное сопровождение.

Возбуждающие приемы, как правило, приводят к экспоненциальному снижению ЭКС. В качестве возбуждающих приемов могут быть использованы резко выполняемые массажные приемы, в том числе ударные. Скорость выполнения приемов имеет порядок 200 мм/с. Продолжительность снижения ЭКС до установившегося значения составляет примерно одну минуту. Уменьшению продолжительности способствует мажорное музыкальное сопровождение.

Таким образом, скорость движений при выполнении массажа является основной переменной, определяющей вид воздействия приема. Усилие воздействия в большей степени определяется индивидуальностью пациента, массой его мышц. Для дренажа лимфы в массивных мягких тканях необходимо прикладывать большие усилия.

Считая, что фаза глубокой релаксации способствует эффективному отдыху пациента, наибольшее значение ЭКС, достигнутое при релаксации, следует удерживать на время порядка 2–5 минут. Обозначенные особенности участков кривой ЭКС были положены в основу биотехнического управления, которое подразумевает участие в управлении как биологических, так и технических объектов [7]. Наиболее развитой реализацией механотерапии является манипуляционная робототехника.

Возможны два решения биотехнического управления роботом: цикловое управление и управление с обратными связями.

Процессом массажа для пациентов, у которых во время ряда сеансов наблюдалась стабильная форма кривой ЭКС, следует управлять, используя программное цикловое управление. Возможны несколько вариантов реализации циклового управления: синхронное (переключение режимов релаксации и тонизации по таймеру), асинхронное по достижении заданных значений ЭКС при релаксации и тонизации, асинхронное по достижении наибольших глубин релаксации и тонизации, а также комбинации синхронного и асинхронного управлений.

Значения времени релаксации и тонизации, а также глубины этих процессов устанавливаются индивидуально для каждого пациента на основании кривых ЭКС, полученных в ряде сеансов. Возможные значения этих данных приведены в таблице 3.

Таблица 3. Основные показатели сигнала ЭКС при механотерапии

Показатель	Амплитуда колебаний	Среднее	Среднеквадратическое отклонение
T_p, c	300	1310	115,76
T_a, c	20	158	8,01
K_p, kOm	80	555	27,93
K_a, kOm	34	478,4	13,06

Цикловое управление не предполагает наличия коррекции с помощью обратной связи. Поэтому ЭКС, также как ЧСС и АД, во время процедуры измеряется, но лишь с целью информирования наблюдающего врача о выполнении запланированного хода процедуры и может использоваться для прекращения процедуры в случае превышения установленных диапазонов безопасности.

Другим решением задачи биотехнического управления является автоматическое управление с использованием ЭКС в качестве сигнала обратной связи. На рис. 3 представлена соответствующая блок-схема системы БТУ.

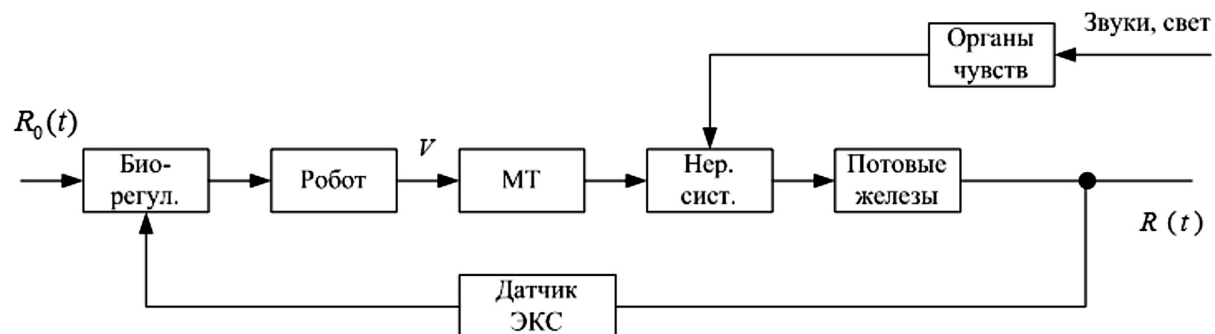


Рис. 3. Блок-схема системы БТУ с обратной связью по ЭКС

Для данного пациента за несколько посещений определяется цикл ЭКС, необходимый для приведения пациента к нормальному работоспособному состоянию. Эта кривая ЭКС представляется как заданное воздействие $R_0(t)$, которое должна отработать система БТУ. Если реальное значение ЭКС отличается от заданного, то биорегулятор, в зависимости от характера отклонения, предлагает релаксационную или тонизирующую программу движений в качестве совета врачу или для исполнения роботу. Программы составляются для данного пациента заранее как аналоги процедур, исполнявшихся врачом вручную.

Биорегулятор системы БТУ может быть релейным, переключая робот на исполнение релаксационной или тонизирующей программы. Если более качественным считать непрерывное управление, то, по причине отсутствия точного описания такого сложного объекта управления, как человек, следует проектировать биорегулятор как нечеткий регулятор. На рис. 4 представлена робототехническая система для механотерапии с БТУ по сигналу ЭКС на основе робота РМ-01.

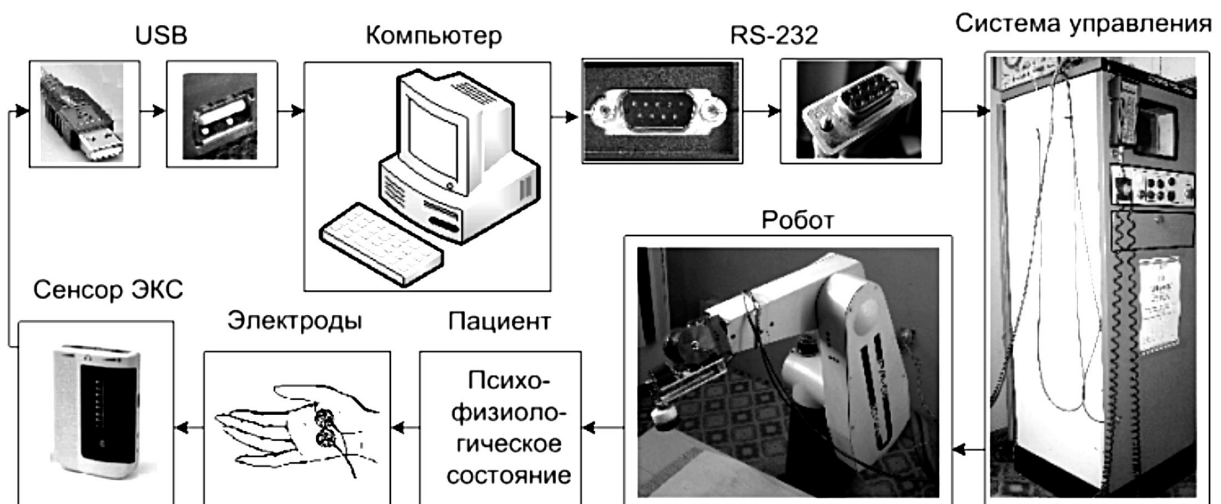


Рис. 4. Робототехническая система для механотерапии с БТУ по сигналу ЭКС

Согласование измерительной системы ЭКС с системой управления робота Сфера-36 осуществляется с помощью портов связи, интерфейсных разъемов (RS-232, USB) компьютера и соответствующего программного обеспечения.

В число задач БТУ входят следующие:

- оцифровка и ввод сигнала ЭКС в компьютер;
- расчет основных показателей ЭКС;
- сравнение полученных показателей с нормативными и расчет рекомендуемой скорости выполнения приема;
- ввод рассчитанной скорости в систему управления робота.

Предложенные методы БТУ с применением робота были опробованы на здоровых людях во время массажа, имеющего профилактическую направленность. Однако профилактический эффект может быть получен другими способами, например волевыми усилиями самого пациента или усилиями врача-массажиста. Для оценки эффективности этих способов была проведена серия экспериментов, которые показали, что волевые усилия имеют значительно меньший эффект, чем при ручном и роботизированном массаже (рис. 5).

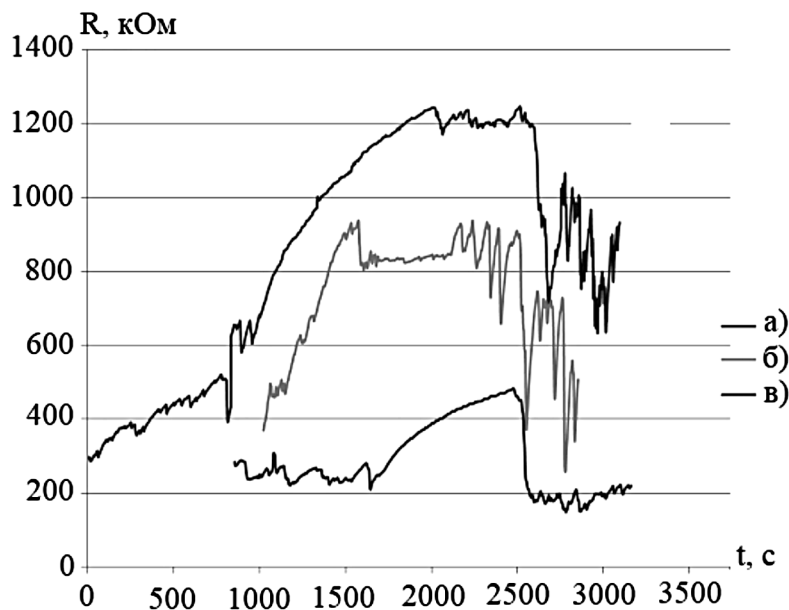


Рис. 5. Сравнение графиков ЭКС, полученных тремя способами: 1) массаж роботом; 2) волевые усилия пациента; 3) мануальный массаж

Глубина процессов, наблюдаемых на кривых ЭКС, полученных при роботизированном массаже, совпадает или превосходит значения, полученные при ручном массаже.

На рисунке видны помехи, накладывающиеся на полезный сигнал ЭКС. Эти помехи имеют различную природу. Основным мешающим фактором, который трудно контролировать, является изменчивость эмоционального внутреннего состояния пациента. К факторам, поддающимся контролю, относятся шум, движения, освещение, микроклимат помещения. При проведении исследований также встречались результаты, когда динамика ЭКС отсутствовала или имела противоположный эффект при любых видах воздействия. Такие случаи относились к патологическим.

Результаты исследования.

Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы:

- в литературе известны исследования динамики ЭКС в психологии, физической культуре, «детекции лжи»; ис-

пользование ЭКС для диагностики состояния пациента в механотерапии предлагается впервые;

- для объективизации массажа необходимо применять диагностические средства, в том числе измеряющие ЭКС;

- установлено, что, в сравнении с другими показателями (артериальное давление, частота сердечных сокращений, электропроводимость в биологически активных точках), в наибольшей степени от массажного воздействия изменяется ЭКС, отражая процессы релаксации и тонизации;

- релаксирующие приемы массажа вызывают стабильное увеличение ЭКС, тонизирующие приемы приводят к снижению ЭКС;

- полученные экспериментальные результаты показывают возможность использования сигнала ЭКС для управления массажем как в ручном режиме, так и в автоматическом с использованием робототехники.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жбанков О.В., Толстой Е.В. Технология контроля психофизического состояния студентов и управления им // Теория и практика физической культуры, №8, 1997.
2. Голуб Я.В., Жиров В.М. Применение светозвуковой стимуляции и биологически обратной связи в реабилитации. – СПб.: 2007. – 97 с.
3. Оглоблин С.И., Молчанов А.Ю. Инструментальная «детекция лжи»: академический курс. – Ярославль: Юанс, 2004. – 464 с.
4. Поварещенкова Ю.А. Спинальные механизмы в системе физических воздействий на функциональное состояние нервно-мышечного аппарата спортсменов: на примере классического массажа: Дис. доктора биологических наук, спец. 03.00.13. – Краснодар: 2006.
5. Неборский А.Т., Самаруков А.Е., Головин В.Ф., Архипов М.В. Система биотехнического управления роботом для коррекции функционального состояния на основе информации о электрокожном сопротивлении // «Молодые ученые: промышленность, науке, технологиям и профессиональному образованию: проблемы и новые решения». Сборник научных докладов Часть II. – М.: МГИУ, 2010. – С. 21-25
6. Анохин П.К. Очерки по физиологии функциональных систем – М., 1975. – 448 с.
7. Разумов А.Н., Головин В.Ф. Расширение функций эргономики в медицинской робототехнике. – Материалы 7-й научно-технической конференции «Мехатроника, автоматизация, управление». – СПб, 2010. – С. 321–323.

РЕЗЮМЕ

С целью объективизации эффекта механотерапии в восстановительной медицине рассматривается использование электрокожного сопротивления для диагностики и биотехнического управления состоянием пациента. Приводится описание и методика работы с измерительным компьютерным комплексом «Альфаритмика». Показано, что в наибольшей степени механотерапевтическое воздействие проявляется в электрокожном сопротивлении в сравнении с другими параметрами: частотой сердечных сокращений, артериальным давлением, температурой тела. Предложены критерии оценки механотерапии на основании анализа сигнала электрокожного сопротивления в режиме реального времени. Представлены результаты измерения и анализа электрокожного сопротивления, позволяющие осуществлять управление механотерапией, используя манипуляционную робототехнику.

Ключевые слова: диагностика, электрокожное сопротивление, биотехническое управление, релаксация, тонизация, робототехника.

ABSTRACT

The usage of electroskin resistance signal for diagnosis and biotechnical control is considered for the purpose of mechanotherapy effect objectification in restorative medicine. The description and working methods of computer estimating system "Alpharythmics" is given. It is resulted that mechanotherapeutic effect in the greatest degree is presented in skin resistance parameter comparing to others, i.e. pulse rate, arterial pressure, body temperature, etc. The criteria of



mechanotherapy effect based on real-time skin resistance analysis are offered. The results of skin resistance estimation and analysis are given making it possible to control the mechanotherapy process using manipulative robotics.

Key words: diagnostics, electroskin resistance, biotechnical control, relaxation, toning, robotics

КОНТАКТЫ

Головин Вадим Федорович. Рабочий адрес: 115280, г. Москва, ул. Автозаводская, д.16, Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Московский государственный индустриальный университет (ГОУ МГИУ). Телефон рабочий (495) 620-39-34, факс (495) 674-63-92; e-mail: medicalrobot@mail.ru;

Архипов Максим Викторович. Рабочий адрес: 115280, г. Москва, ул. Автозаводская, д.16 Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Московский государственный индустриальный университет (ГОУ МГИУ). Телефон рабочий (495) 620-39-34, факс (495) 674-63-92; e-mail: medicalrobot@mail.ru;

Журавлев Виталий Валерьевич. Рабочий адрес: 115280, г. Москва, ул. Автозаводская, д.16 Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Московский государственный индустриальный университет (ГОУ МГИУ). Телефон рабочий (495) 620-39-34, факс (495) 674-63-92; e-mail: medicalrobot@mail.ru;

РОБОТИЗИРОВАННОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ФУНКЦИИ ХОДЬБЫ У БОЛЬНЫХ С ЦЕРЕБРАЛЬНЫМ ИНСУЛЬТОМ

УДК 616.8-009.18

Кузнецов А.Н., первый заместитель Генерального директора НМХЦ им. Н.И. Пирогова, заведующий кафедрой неврологии с курсом нейрохирургии ИУВ НМХЦ им. Н.И. Пирогова, главный невролог, д.м.н., профессор;

Даминов В.Д., главный реабилитолог, доцент кафедры неврологии с курсом нейрохирургии, к.м.н.;

Канкулова Е.А., аспирант кафедры неврологии с курсом нейрохирургии;

Уварова О.А., врач-невролог отделения восстановительного лечения.

ФГУ «Национальный медико-хирургический центр им. Н.И. Пирогова Минздравсоцразвития России», Москва

Аннотация.

Проведена оценка эффективности и безопасности метода роботизированной механотерапии на аппаратном комплексе «Lokomat» у пациентов с гемипарезом в раннем восстановительном периоде полушарного ишемического инсульта. Изучено влияние локомоторной терапии на степень восстановления функции ходьбы у пациентов с гемипарезом в раннем периоде ишемического инсульта.

Введение.

Сосудистые заболевания головного мозга из-за высокой распространенности и тяжелых последствий для состояния здоровья населения представляют важнейшую медицинскую и социальную проблему. На протяжении нескольких десятилетий проблема сосудистых заболеваний остается важнейшей в неврологии. Актуальность ее обусловлена высокой долей сосудистых заболеваний мозга в структуре заболеваемости и смертности населения, значительными показателями временных трудовых потерь и первичной инвалидности. Инвалидность после перенесенного острого нарушения мозгового кровообращения занимает первое место среди всех причин инвалидности, при этом треть больных составляют лица трудоспособного возраста, к труду возвращается каждый пятый пациент. Наиболее частыми последствиями являются двигательные расстройства, значительно снижающие качество жизни больных. Частота и тяжесть двигательных нарушений при ишемическом инсульте, высокий уровень инвалидизации пациентов, требующих постоянного постороннего ухода, являются серьезной социальной проблемой и определяют поиск более эффективных методов восстановительного лечения [1, 2, 5, 6]. Целью реабилитации больных, перенесших церебральный инсульт, является не только патонейрофизиологическое улучшение, но и улучшение их функциональных возможностей, возрастание их социально-бытовой активности, улучшение качества жизни. В нашей работе был использован роботизированный комплекс «Lokomat» для восстановления функции ходьбы [3, 4, 7 – 11].

Цель нашего исследования – оценка эффективности и безопасности роботизированной терапии на комплексе

«Lokomat» у пациентов с гемипарезом в раннем восстановительном периоде полушарного ишемического инсульта.

Материалы и методы исследования.

Было обследовано 100 больных (57 мужчин и 43 женщин) в возрасте от 45 до 75 лет, перенесших острое нарушение мозгового кровообращения по ишемическому типу в бассейне средней мозговой артерии. Курс реабилитации продолжался 6 недель. В зависимости от содержания лечебного комплекса больные были разделены на однородные по возрасту, длительности заболевания, клиническим проявлениям: группа I (n=50), группа II (n=50). Всем пациентам группы I (основной) проводилось стандартизированное восстановительное лечение (медикаментозная терапия, лечебная гимнастика, массаж, механотерапия, миоэлектростимуляция) с включением занятий на роботизированном комплексе «Lokomat». Тренировочная процедура на роботизированном комплексе «Lokomat» у пациентов I группы проводилась по 40 минут 5 дней в неделю, в течение 6 недель (30 занятий). Пациенты группы II (группа контроля) получали также стандартизированное комплексное восстановительное лечение, содержащее медикаментозную терапию, лечебную гимнастику, массаж, механотерапию, миоэлектростимуляцию. Для восстановления ходьбы у пациентов контрольной группы применялся тредмил с разгрузкой массы тела без роботизированного устройства.

Оценка состояния пациентов проводилась до и после курса комплексной реабилитации и включала в себя:

- клинический неврологический осмотр с применением шестибальной шкалы оценки мышечной силы;
- оценка тяжести инсульта по Шкале инсульта Национального института здоровья (NIHSS);
- оценка индекса активности в повседневной жизни Бартела (Barthel ADL Index);
- оценка индекса ходьбы Хаузера;
- оценка параметров скорости ходьбы и степени участия пациента (по данным роботизированного комплекса «Lokomat»).

Для оценки системной гемодинамики проводилась импедансная кардиография на аппарате CardioScreen 1000 (Nicom, USA). Для количественной оценки пара-