

4. [http://www.cree.com/products/xlamp\\_portable\\_app.asp](http://www.cree.com/products/xlamp_portable_app.asp) 6.
5. [http://www.fraensrl.com/images/Fraen\\_Microscope\\_tuberculosis.pdf](http://www.fraensrl.com/images/Fraen_Microscope_tuberculosis.pdf).
6. <http://www.walamp.com/lpd/index.tpl>.
7. *Кири́н И.Г.* Устройство ввода излучения от некогерентного источника света в световод осветительного канала медицинского эндоскопа / В сб.: Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры. Материалы всероссийской научно-методической конференции. Министерство образования и науки РФ, ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет». 2018. С. 2480-2483.
8. *Кири́н И.Г.* Фотоэлектронные трансформаторы. – М.: Университетская книга, 2013. 136 с.
9. *Кири́н И.Г.* Способ ввода некогерентного излучения в световод и устройство для его реализации / Патент РФ № 2654938. Опубликовано: 23.05.2018. Бюл. № 15.
10. *Ильина Н.А., Васильева Ю.О.* Светотехнический расчет волоконного осветителя для эндоскопии // ЕЛЕКТРОИнформ. 2006. № 3. С. 9-10.
11. *Васильева Ю.О.* Критерии оценки качества осветительных систем эндоскопов // СВІТЛО. 2006. № 6. С. 32-34.

*Игорь Григорьевич Кири́н,  
д-р техн. наук, профессор,  
кафедра физики и методики  
преподавания физики,  
ФГУП ВПО «Оренбургский  
государственный университет»,  
г. Оренбург,  
e-mail: igkirin@rabler.ru*

---

*С.М. Яцун, А.С. Яцун, А.Н. Рукавицын*

## **Анализ гемодинамических показателей человека при использовании робототехнического комплекса для активной кинезиотерапии**

### **Аннотация**

Рассмотрен вопрос изменения основных гемодинамических показателей человека в покое и при активных физических нагрузках в условиях применения реабилитационного робототехнического комплекса «ExoLiteMS», разработанного для проведения активной кинезиотерапии. Используются стандартные методы клинической оценки функционального состояния организма человека в покое и при выполнении физической нагрузки.

### **Введение**

В общей структуре заболеваемости и инвалидизации населения значительное место занимают больные, перенесшие черепно-мозговую травму, мозговой инсульт или иное заболевание, сопровождающееся двигательными нарушениями. Именно лица с двигательными нарушениями составляют значительную часть больных, не приспособленных к активной деятельности и самообслуживанию и нуждающихся в постороннем уходе. Поэтому восстановление двигатель-

ных функций является ключевым звеном реабилитации таких больных.

Программа реабилитационных мероприятий у больных с нарушениями функций опорно-двигательного аппарата (ОДА) включает в себя практически все средства и формы кинезиотерапии как основного компонента лечебно-восстановительного процесса. Регулярное систематическое многократное повторение упражнений возбуждает соответствующие двигательные клетки коры и удерживает их в состоянии функциональной активности. Физические упражнения выводят на новый уро-



Рис. 1. Общий вид экзоскелета «ExoLiteMS»

вень обменно-энергетические процессы в мышцах и способствуют усилению кровообращения, что существенно улучшает функции основных органов и систем человека и приводит к выраженным положительным сдвигам гемодинамики.

В связи с этим актуальной представляется задача разработки методики применения технических средств, помогающих больным осуществлять сложные виды движений, такие как подъем, приседание и ходьба. В комплексе оказываемой реабилитационной помощи особое место занимает кинезиотерапия, стимулирующая трофические процессы в поврежденных конечностях и способствующая компенсации нарушенных функций [1]. При этом основными задачами кинезиотерапии в клинике поврежденных ОДА являются: профилактика застойных процессов в легких, профилактика трофических изменений в пораженных конечностях, а также восстановление бытовых навыков и улучшение психоэмоционального состояния больного [2].

## Материалы и методы

Основной целью рассматриваемой работы являлось проведение экспериментальных исследований по мониторингу основных гемодинамических показателей у лиц, выполняющих заданную физическую нагрузку в виде приседаний с помощью робототехнического комплекса «ExoLiteMS» и без него.

Поставленные задачи решаются с применением методов клинической оценки состояния сердечно-сосудистой системы (ССС) в покое и при физической нагрузке, методов математического моделирования и статистической обработки информации.

Используемое нами устройство для кинезиотерапии у лиц с повреждением ОДА, представляет собой роботизированный комплекс (экзоскелет) «ExoLiteMS» [3], [4].

Данное устройство состоит из силового каркаса экзоскелета, системы креплений, системы управления, сенсоров, блока питания и навигации. Экзоскелет «ExoLiteMS» оснащен десятью электроприводами, обеспечивающими реализацию различных видов движения человека, в том числе подъем из положения сидя. Важным аспектом функционирования данного устройства является плотная и надежная фиксация пациента в экзоскелете. Для этого в конструкции реализована система ремней, упоров и креплений. Спина пациента притягивается к жестким упорам ремнями и фиксируется; закрепление бедра, голени, и стопы осуществляется с помощью системы стяжек

в заданном положении [5]. На *рис. 1* представлен общий вид экзоскелета «ExoLiteMS».

Программа, реализуемая блоком управления, позволяет экзоскелету «ExoLite» совместно с пациентом выполнять следующие команды: из текущего положения переход в положение сидя, приседание, подъем, удержание равновесия, первый шаг, второй шаг, третий шаг, остановка. Система команд позволяет «ExoLite» произвести посадку в заранее заданные углы из текущего положения, производит перемещение экзоскелета из текущего положения в положение равновесия (бедро – 40°, колено – 25°, стопа – 15°) за время 8 с.

«Сесть/встать» – команда, которая позволяет произвести посадку пациента на стул в заранее заданные углы из положения стоя. Команда «Приседание» или «Полуприсед» предназначена для выполнения физических упражнений, позволяющих «нагружать» нижние конечности пациента при проведении мероприятий комплексной реабилитации.

Нарушение локомоционных движений нижних конечностей человека неразрывно связано с расстройством периферического кровообращения и обусловлено, как правило, или недостаточным притоком крови в артерии, или недостаточным оттоком и застоем крови при нарушении проходимости вен, что называется соответственно артериальной и венозной недостаточностью.

Под параметрами гемодинамики принято понимать: системное артериальное давление (АД), периферическое сопротивление сосудов, сердечный выброс, венозный возврат, центральное венозное давление, объем циркулирующей крови [6].

В процессе эволюции выработались тесные взаимосвязи мышечных сокращений и ССС. Поэтому система кровообращения играет центральную роль в приспособляемости организма к физическим нагрузкам и является одним из объективных показателей функционального состояния организма человека. В ходе исследования проводились следующие измерения: систолическое артериальное давление (САД), диастолическое артериальное давление (ДАД), частота сердечных сокращений (ЧСС), частота дыхательных движений (ЧДД).

В ходе проведения эксперимента основной задачей являлось исследование реакции ССС на предлагаемые физические упражнения. В исследовании приняли участие 18 соматически здоровых студентов-добровольцев в возрасте от 19 до 23 лет, рост которых колебался в диапазоне 1,65...1,83 м, вес – от 55

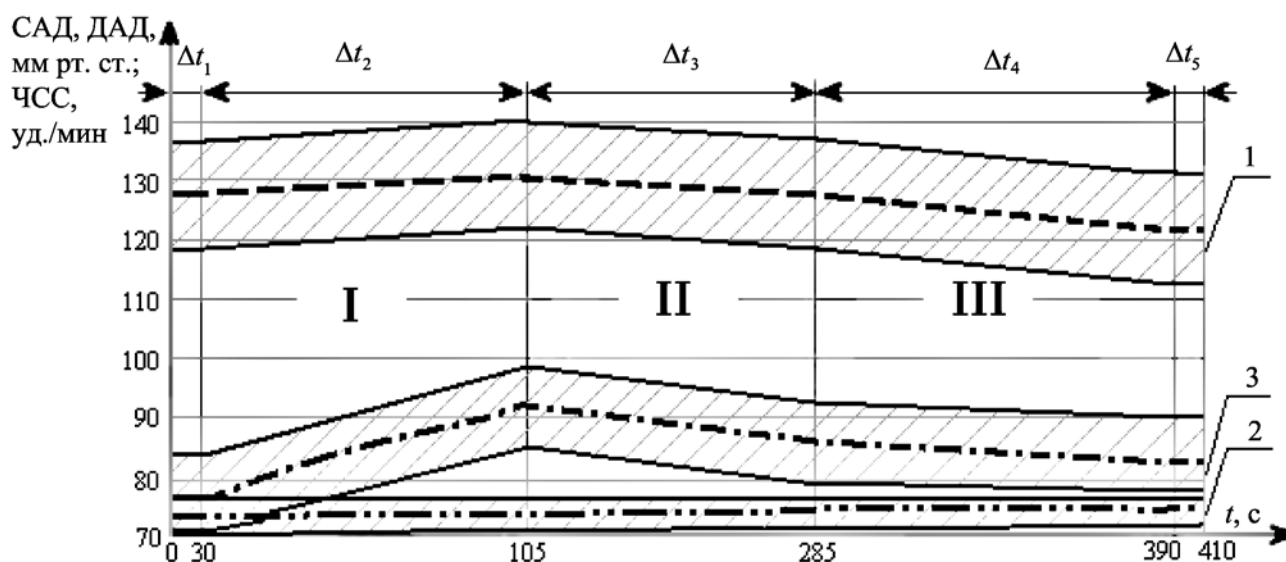


Рис. 2. Графики параметров состояния человека на разных стадиях проведения испытания с выполнением упражнения (заштрихованная область является дисперсией): 1 – САД; 2 – ДАД; 3 – ЧСС;  $\Delta t_1$  – время измерения параметров в состоянии покоя;

$\Delta t_2$  – время проведения упражнения приседание/вставание без экзоскелета;  $\Delta t_3$  – время отдыха;

$\Delta t_4$  – время проведения упражнения приседание/вставание в экзоскелете;

$\Delta t_5$  – время проведения измерений параметров после упражнения приседание/вставание в экзоскелете

до 81 кг. Каждый участник подписывал форму информированного согласия на обследование согласно Хельсинской декларации Всемирной медицинской ассоциации, регламентирующей проведение научных исследований.

Порядок выполнения измерений и упражнений осуществляется по следующей схеме: измерение всех указанных параметров в состоянии покоя; измерения после трех приседаний/вставаний без экзоскелета; измерения после трех приседаний/вставаний в экзоскелете. Статистическая обработка данных осуществлялась с помощью пакета прикладных программ Statistica 7.0.

## Результаты

По средним значениям показаний были построены графики изменений в каждый момент испытания: 1 – в состоянии покоя; 2 – после трех приседаний без экзоскелета; 3 – после трех приседаний в экзоскелете (рис. 2).

На рис. 2 отчетливо видно, что имеет место физиологический обоснованный, в ответ на предлагаемую нагрузку, рост САД и ЧСС у всех испытуемых без применения экзоскелета (зона I) и их снижение в период отдыха (зона II). В то же время обращает на себя внимание тот факт, что САД и ЧСС уменьшаются на фоне выполняемой нагрузки в экзоскелете (зона III).

На основании полученных данных рассчитаны средние значения исследуемых показателей и построены графики (рис. 3), отражающие динамику в каждый момент испытания: 1 – в состоянии покоя; 2 – после десяти приседаний без экзоскелета; 3 – после десяти приседаний в экзоскелете. Увеличение физической нагрузки (в виде увеличения количества приседаний до 10), выполняемой в экзоскелете, не сопровождается увеличением ЧСС и подъемом АД (зона III), в отличие от выполнения аналогичной нагрузки без применения экзоскелета (зона I). Зона II – период отдыха.

После выполнения упражнений по приседанию и вставанию восстановление гемодинамических показателей у испытуемых происходило штатно.

Данные исследования подтвердили предположение, что использование робототехнического комплекса для выполнения физической нагрузки в ходе проведения реабилитационных мероприятий у лиц с повреждением ОДА не увеличивает нагрузку на ССС. Этот факт говорит о возможности примене-

ния экзоскелета при кинезиотерапии, особенно у лиц, страдающих сердечно-сосудистой патологией, так как движения для них необходимы, но основная патология лимитирует рост физической нагрузки.

## Заключение

Таким образом, в ходе исследования получены гемодинамические показатели, наглядно отражающие динамику изменения основных характеристик деятельности ССС человека при режимах движения «с нагрузкой» и «без нагрузки».

Установлено, что САД существенно возрастает с ростом физической нагрузки без использования экзоскелета, а при выполнении тех же нагрузок в экзоскелете наблюдается снижение САД и ЧСС.

Разработана методика проведения экспериментальных исследований по выявлению влияния вертикализации пациента в экзоскелете на основные параметры гемодинамики. Рассматриваемое робототехническое устройство может быть использовано в комплексной терапии для решения задач реабилитации пациентов с нарушением функции ОДА, так как особенности конструкции экзоскелета «ExoLiteMS» позволяют выполнять различные упражнения, типа «приседание», «подъем из положения сидя», которые симулируют мышечную активность, без увеличения нагрузки на сердечно-сосудистую систему.

Продемонстрирована возможность применения робототехнического комплекса для проведения кинезиотерапии с использованием дозированной физической нагрузки и упражнений типа «приседание» без увеличения влияния на ССС у больных с повреждениями ОДА. Предлагаемая методика может быть использована врачом-физиотерапевтом при разработке индивидуальных программ активной и пассивной кинезиотерапии в комплексе реабилитационных мероприятий.

### Список литературы:

1. Бочаров М.И. Частная биомеханика с физиологией движения / Монография. – Ухта: УГТУ, 2010. 235 с.
2. Кичайкина Н.Б., Козлов И.М., Самсонова А.В. Биомеханика физических упражнений. – СПб.: СПбГУФК им. П.Ф. Лесгафта, 2008. 164 с.

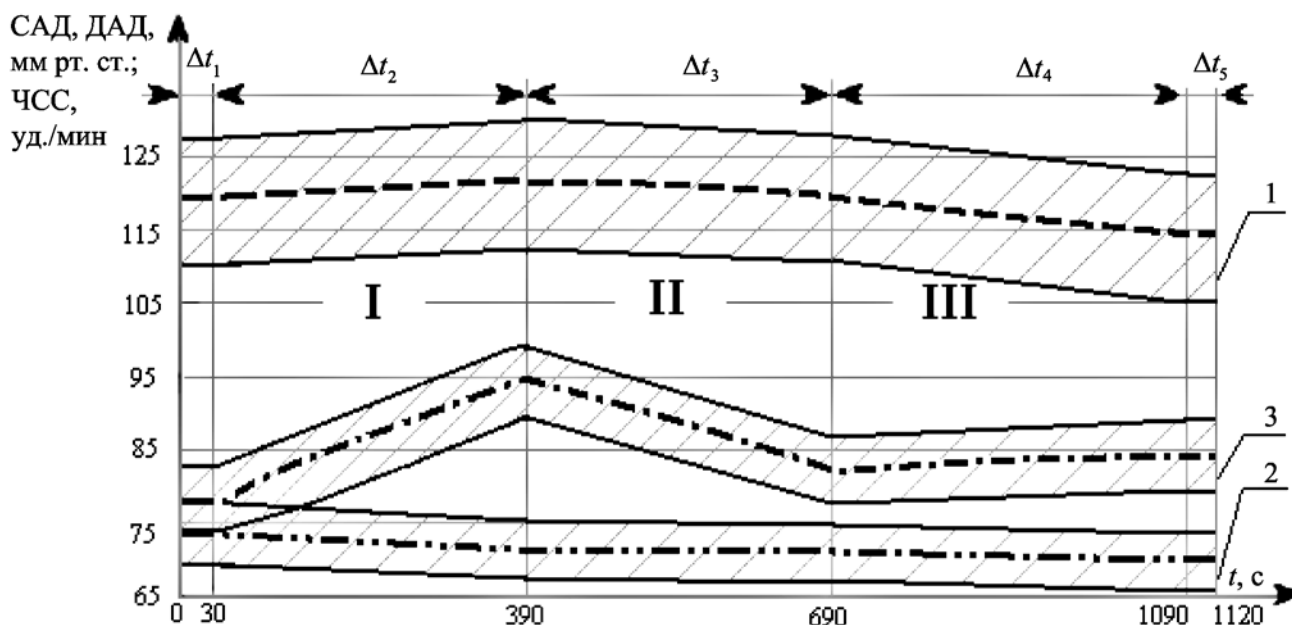


Рис. 3. Графики параметров состояния человека на разных этапах выполнения упражнения 10 раз (заштрихованная область является дисперсией): 1 – САД; 2 – ДАД; 3 – ЧСС;  $\Delta t_1$  – время измерения параметров в состоянии покоя;  $\Delta t_2$  – время проведения упражнения приседание/вставание без экзоскелета, по окончании которого производится замер параметров;  $\Delta t_3$  – время отдыха между упражнениями;  $\Delta t_4$  – время проведения упражнения приседание/вставание в экзоскелете;  $\Delta t_5$  – время проведения измерений параметров после операции приседание/вставание в экзоскелете

3. *Jatsun S.M., Jatsun A.S., Rukavitsyn A.N.* Designing a Mechanotherapy Device for Rehabilitation of Lower Extremities of Humans // *Biomedical Engineering*. 2016. Vol. 50 (2). PP. 128-133.
4. *Jatsun S.M., Jatsun A.S., Rukavitsyn A.N., Politov E.N.* System for Monitoring Motion of Lower Limbs Used for Assessment of Patient's Physical Rehabilitation // *Biomedical Engineering*. 2016. Vol. 50 (3). PP. 184-188.
5. *Корневский Н.А., Яцун С.Ф., Яцун А.С., Дмитриева В.В.* Экзоскелет с биотехнической обратной связью для вертикализации пациентов // *Медицинская техника*. 2017. № 4. С. 42-45.
6. *Li Na, Lei Yan, Hua Qian, Hongfang Wu, Jian Wu, Sen Men* Review on Lower Extremity Exoskeleton Robot // *Open Automation and Control Systems Journal*. 2015. Vol. 7. PP. 441-453.

Светлана Михайловна Яцун,  
д-р мед. наук, профессор,  
зав. кафедрой медико-биологических дисциплин,  
ФГБОУ ВО «Курский  
государственный университет»,  
Андрей Сергеевич Яцун,  
канд. техн. наук, зав. научно-исследовательской  
лабораторией «Мехатроника и робототехника»,  
Александр Николаевич Рукавицын,  
канд. техн. наук, доцент,  
кафедра механики, мехатроники  
и робототехники,  
ФГБОУ ВО «Юго-Западный  
государственный университет»,  
г. Курск,  
e-mail: alruk75@mail.ru

**М.К. Седанкин, А.Г. Гудков, В.Ю. Леушин, С.Г. Веснин, И.А. Сидоров,  
Д.Н. Чупина, С.В. Агасиева, В.А. Скуратов, С.В. Чижиков**

## **Микроволновая радиотермометрия органов малого таза**

### **Аннотация**

Рассмотрены вопросы создания радиотермографа для обследования органов малого таза. На основе математического моделирования разработана волноводная антенна для внутривагинальной диагностики, которая протестирована на различных фантомах и биологических тканях. Результаты исследований могут быть использованы в различных областях медицины и робототехники.

### **Введение**

Различные медицинские приборы могут быть использованы в качестве диагностических средств медицинских комплексов. Для поиска патологических изменений в организме человека могут применяться медицинские радиотермографы. Важной медицинской проблемой являются онкологические заболевания органов малого таза. В 2012 году по всему миру было выявлено 527 600 случаев рака шейки матки (далее – РШМ), из них 265 700 имели летальный исход. В России в период 2004-2015 гг. наблюдался рост заболеваемости РШМ с 110,3 до 119,7 (из расчета на 100 000 граждан) [1], [2]. Для выявления РШМ применяются различные методы диагностики. Тем не менее в медицинском сообществе существует определенная неудовлетворенность существующими методами диагностики и лечения злокачественных новообразований данной локализации. Крайне актуально измерение температуры биологических объектов (далее – БО), так как это абсолютно безболезненно и информативно. По всему миру разрабатываются термометрические приборы в двух направлениях: измеряющие температуру через кожный покров и через естественные полости организма. Необходима роботизация технологии с целью повышения ее эффективности.

В 2009 году научной группой университета *Covilhã (University of Beira Interior, Португалия)* разработан внутривагинальный датчик [3], [4] для внутривагинального термомониторинга. Измерителем температуры является термистор MA100, который помещен в тампон для комфортного размещения в теле. Прибор позволяет исследовать фертильность женщин. Испытания прибора показали, что существует корреляция между внутривагинальной температурой и различными физиологическими процессами. В работе [5] представлен аналогичный беспроводной датчик, который включает в себя термистор, микроконтроллер, приемопередатчик (*IEEE 802.15.4*) и аккумулятор. Прибор визуализирует температуру с помощью при-

ложения, установленного на смартфон или планшет. С помощью подобных устройств [3]-[6] женщина может отслеживать изменения температуры в режиме реального времени и определять точное время овуляции и пр. Данные датчики измеряют лишь усредненную внутривагинальную температуру и созданы для планирования беременности, поэтому использовать их для «прицельной» диагностики малоэффективно. Так как органы малого таза женщины располагаются внутри тела, при воспалении яичников или другой патологии температура брюшной стенки и стенки влагалища не повышается. Для обследования шейки матки целесообразно использовать метод микроволновой радиотермометрии (далее – МР). Стандартные антенны, применяемые в МР молочных желез, не подойдут ввиду значительных размеров. Для обследования шейки матки необходима антенна, конструкция которой позволит ввести ее в биологическую полость.

Впервые в России применение МР для гинекологии описано в работе [7]. Обследование проводилось трансабдоминально, т. е. при установке антенны на брюшную полость на проекцию матки. Такое обследование дает лишь косвенную информацию о процессах, протекающих в малом тазу. В работе [8] использовался радиотермометр с внутривагинальной одноканальной антенной. По результатам исследований авторы отмечают, что применение внутривагинального датчика позволяло диагностировать острый сальпингофорит, обострения и подострое течение хронического сальпингофорита, а также воспалительные процессы в области придатков матки [9]. Внутривагинальная антенна для измерения температуры простаты представляет собой щелевую антенну и измеряет температуру через щель в цилиндре. Данная антенна измеряет РТ через боковую поверхность и также не может использоваться для прицельной диагностики шейки матки и внутренних тканей. Рассматриваемая работа посвящена разработке внутривагинальной антенны для обследования шейки матки на базе волноводной антенны.