

## К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИНЦИПОВ БИОМЕХАНИКИ ДВИЖЕНИЙ В РАЗРАБОТКЕ ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩИХ ИЗДЕЛИЙ И ТЕХНОЛОГИЙ МЕДИЦИНСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ

УДК 612.76

Иванова Г.Е.<sup>1</sup>, Ишутин Д.В.<sup>2</sup>, Герцик Ю.Г.<sup>3</sup>, Ишутина Р.Ш.<sup>2</sup>, Герцик Г.Я.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>РНИМУ им. Н.И. Пирогова, г. Москва, Россия

<sup>2</sup>ООО «Неврокор», г. Москва, Россия

<sup>3</sup>МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия

<sup>4</sup>ООО «Кибернетический Мир», г. Москва, Россия

## ON ASSESSMENT OF STATUS AND PROSPECTS OF MOVEMENTS BIOMECHANICS PRINCIPLES APPLICATION IN DEVELOPMENT OF IMPORT-SUBSTITUTING PRODUCTS AND TECHNOLOGIES FOR MEDICAL REHABILITATION

Ivanova GE<sup>1</sup>, Ishutin DV<sup>2</sup>, Gertsik YG<sup>3</sup>, Ishutina R.Sh.<sup>2</sup>, Gertsik GY<sup>4</sup>

<sup>1</sup>RNIMU n.a. NI Pirogov, Moscow, Russia

<sup>2</sup>LLC "Neurocor", Moscow, Russia

<sup>3</sup>MSTU n.a. NE Bauman, Moscow, Russia

<sup>4</sup>LLC "Cybernetic World", Moscow, Russia

**Введение.** Основные понятия биомеханики: биомеханика (от греч. bios – жизнь и mechane – машина, орудие; син.: животная механика, биотехника, физиологическая механика), отдел общей физиологии, изучающий развитие, строение и деятельность двигательного аппарата животных и человека (Большая медицинская энциклопедия, 1970). Из этого определения следует, что задачей биомеханики является исследование механического движения биологических объектов и сред. Биологический объект или, в широком смысле, живая система включает в себя целостные организмы, обитающие в земных условиях в воде, в воздухе, на земле. Биологическая среда – это жидкости, газы, двигающиеся в сосудах (кровь, лимфа, воздух в легких, пища в желудке, кишечнике и т.д.). Движения человека – одно из сложнейших явлений в мире. Они сложны не только потому, что в его двигательной деятельности очень непросты функции органов движения, но и потому, что в ней отражается его сознание как функция наиболее высокоорганизованной материи – мозга. Объект исследования биомеханики – действия человека как системы взаимосвязанных движений и положений его тела. В принципе же к биомеханике следует относить все проявления механического движения в живых организмах. В норме человек производит не просто движения, а всегда действия (Н. А. Бернштейн); они ведут к известной цели, имеют определенный смысл. Поэтому человек выпол-

няет их активно, целенаправленно, управляя ими, причем все движения тесно взаимосвязаны – объединены в системы. В активном сохранении положения, как и в активных движениях, участвуют мышцы. Следовательно, человек совершает двигательные действия посредством активных движений и сохраняя при необходимости взаимное расположение тех или иных звеньев тела [1, 2]. Область изучения биомеханики – механические и биологические причины возникновения движений и особенности их выполнения. Учитывая сложность движений человека, в биомеханике исследуют и механическую и биологическую их стороны, причем обязательно в тесной взаимосвязи. Поскольку человек выполняет всегда осмысленные действия, его интересует, как можно достичь цели, насколько хорошо и легко это получится в данных условиях. Таким образом, биомеханика человека изучает также, какой способ и какие условия выполнения действий лучше и как овладеть ими. Биомеханика разделяется на: 1) механику развития, 2) механическую анатомию и 3) физиологию движений.

Общая задача биомеханики состоит в оценке эффективности приложения сил для достижения поставленной цели. Любое изучение движений направлено на то, чтобы помочь лучше выполнять их. Таким образом, общая задача биомеханики сводится к оценке эффективности способов выполнения изучаемого движения. При таком подходе сопоставляют то, что есть в движе-

ниях, с тем, что требуется. Биомеханика исследует, «каким образом полученная механическая энергия движения и напряжения может приобрести рабочее применение», — писал акад. А.А. Ухтомский. Рабочий эффект измеряется тем, как используется затраченная энергия. Для этого определяют, какие силы совершают полезную работу, каковы они по происхождению, когда и где приложены.

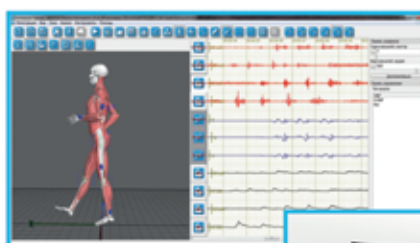
Частные задачи биомеханики состоят в изучении движений человека в двигательной деятельности и изучении приводимых им в движение физических объектов, а также в изучении результатов решения двигательной задачи и условий, в которых оно осуществляется. Без понимания истории возникновения и развития биомеханики, невозможно изучать современное состояние этой науки о движении и ее практические аспекты. Рассмотрим основные этапы развития биомеханики. Начало биомеханики, как науки, следует отнести к XVI в. (Leonardo da Vinci); первый трактат по биомеханике (Borelli, De motu animalium) вышел в Лейдене в 1679 г. Ранний период биомеханики, длившийся, приблизительно до середины XIX в., характеризуется, с одной стороны, механистическим априоризмом, с другой – собиранием весьма грубых и часто ошибочных наблюдений. В этом периоде устанавливаются элементарные механические положения, относящиеся к общей физиологии: применение закона рычага к элементарной костно-мышечной системе, понятие о центре тяжести тела и первые попытки его локализации, учение о сердце, как нагнетательной машине и т.п. Этот период завершается работами братьев Вебер (W. и E. Weber), работавших над распределением центров тяжести частей тела и выпустивших большую монографию о механике ходьбы (1836 г.), ныне уже совершенно устаревшую. Отсутствие аппаратуры и методов исследования задержало развитие биомеханики до второй половины XIX в., когда вопросы изучения движений явились одним из самых энергичных побудителей к развитию моментальной фотографии, позднее – кинематографии, с одной стороны (Anschütz, Magey), пневматической передачи к записывающим приборам – с другой. Возникновение новых методов объективной регистрации движений с точностью, далеко превосходящей точность непосредственного наблюдения, обеспечило возможность дальнейшего развития биомеханики. К этому времени относятся работы Марея и, особенно, важные исследования лейпцигской школы биомеханики – Брауне и Фишера (Braune, O. Fischer), положившие начало циклограмметрии, с применением ее к изучению ходьбы. К этому же периоду следует отнести получившую свое завершение в руках А. и Р. Фик и Штрассера (A. и R. Fick и H. Strasser) и др. теорию сочленений животного организма и учение о строении и механике костных звеньев (Kuhlmann, Лесгафт, Варавин и др.). Кино- и циклографическая регистрация движений в начале XX в. приобрела почти исключительно научно-прикладной характер и почти исчезла из обихода лабораторий общей физиологии, заняв видное место в изучении физического труда, спорта, быстрейших видов профессиональных движений (стенотипия, пианизм), а в военное время – в протезной технике. Лишь в последнее время снова возобновляется чисто исследовательский интерес к биомеханике и к



РАЗРАБОТКА > ПРОИЗВОДСТВО > ВНЕДРЕНИЕ

## ТРАСТ-М

Комплексный подход  
к Диагностике и Реабилитации  
двигательных функций



Биомеханика 3D  
ЭМГ

Тренажер ходьбы  
Разгрузка веса  
ФЭС  
БОС



Стабилометрия 3D  
Сканер 3D  
ЭМГ  
Тремор

Постуральный  
тренажер  
Тонус мышц  
Баланс  
БОС



[www.neurocor.ru](http://www.neurocor.ru)

объективному изучению физиологии движений. Третий период развития биомеханики, находящийся и сейчас еще в начальной стадии, может быть начат с упомянутых выше методологических работ О. Фишера и продолжается исследованиями Е. Фишера, В. Штейнгаузена, Р. Дюбуа-Реймона, Р. Граммеля, (W. Steinhäuser, R. Du Bois-Reymond, R. Grammel), Н. Бернштейна и др. Этот период характеризуется стремлением максимально уточнить измерения движения изучаемых объектов. В частности, значительные исследования в области биомеханики были проведены в МВТУ им. Н.Э. Баумана – Лазарев Петр Петрович [1878 – 1942]. Лазарев П.П. – один из пионеров современной биофизики. Он создал стройную физико-химическую теорию возбуждения (ионная теория возбуждения), вывел единый закон раздражения и разработал теорию адаптации применительно ко всем органам и к центральной нервной системе.

**Материалы и методы.** Использовались материалы, полученные в результате клинических исследований применения методов реабилитации больных с различными нарушениями опорно-двигательного аппарата при его патологиях или при нарушениях деятельности ЦНС, применяемые методики и медицинские изделия, описанные в работах Скворцова Д.В., Ивановой Г.Е., Скворцовой В.И., других авторов, сети Интернет [3-16].

**Результаты и обсуждение.** Биомеханика, как раздел биофизики, зародилась в связи с развитием физических и биологических наук. В настоящее время успехи этих наук сказываются и на развитии биомеханики. В свою очередь, физические и биологические науки могут обогащаться данными биомеханики о физике живого. Изучение биомеханических систем открывает новые пути для понимания анатомического строения и физиологических функций двигательного аппарата. В биомеханических исследованиях могут применяться методы смежных наук, определяющие области ее применения: 1) медицинская биомеханика: протезирование и протезостроение, травматология и ортопедия, лечебная физическая культура и кинезиотерапия, авиационная, космическая и морская медицина, криминалистика, 2) инженерная биомеханика: роботостроение и манипуляторы, механотерапия и экзоскелеты, инженерная психология, эргономика, 3) биомеханика спорта: теория и методология физической культуры, психология спорта, физиология спорта, врачебный контроль, биомеханика видов спорта (рациональность и эффективность спортивной техники, развитие и совершенствование двигательных качеств, возрастные и квалификационные стандарты спортивной техники, особенности строения и функции тела спортсмена и т.д.) [17-23].

Биомеханическая система характеризуется: 1. двигательной деятельностью, 2. энергообеспечением двигательной деятельности, 3. управлением двигательными действиями. При движениях в биомеханической системе происходят деформации:

позная – перемена позы как взаимного расположения звеньев под действием внутренних и внешних сил; Позная деформация и есть, собственно говоря, те движения, которые необходимы для решения двигательной задачи. На работу по перемещению звеньев тела энергия затрачивается эффективно.

мышечная – изменения длины и поперечника мышц при их сокращении и растяжении, напряжении и расслаблении (изменения сократительных и упругих элементов при возбуждении и нагрузках);

внутренняя – смещение мягких и жидких тканей при ускорениях, что вызывает появление внутренних сил инерции и трения.

Биомеханические системы получают механическую энергию благодаря приложению внешних сил, а также в результате превращения в мышцах внутренней химической энергии в механическую. Переменные мышечные силы действуют в переменных условиях внешнего воздействия и внутренних сопротивлений, возникающих в самой биомеханической системе [1-3]. Существенной проблемой является диагностика нарушений двигательной функции и определение динамики её развития. Для исследования функции движения и опоры применяются инструментальные двигательные тесты: ходьба и исследование баланса в вертикальной стойке. С середины 70-х годов XX века в области исследования походки формируется набор необходимых первичных параметров и соответствующих им методов исследования (Витензон А.С., 1983; Клиническая биомеханика, 1980; Янсон Х.А., 1975; Inman V.T., Ralston H.J., Told F., 1981; Murray M.P., 1967; Whittle M.W., 1991; Winter D.A., 1991) – это: регистрация временных, кинематических характеристик и реакций опоры. Для исследования баланса в вертикальной стойке применяется метод стабилόμεрии – метод регистрации положения и колебаний проекции общего центра масс на плоскость опоры с помощью стабилόμεметрической платформы. Для метода стабилόμεрии определены технический и методический стандарты (Bizzo G. et al., 1985; Kapteyn T.S. et al., 1983). В последние годы значительное внимание уделяется анализу проведения реабилитационного процесса посредством диагностики состояния функциональных систем человека с помощью технических средств реализации биологической обратной связи (БОС). Изучение изменения биоэлектрической активности мышц при выполнении пассивного, активно-пассивного и активного движения позволит определить проблемы в организации двигательной активности и определить первоочередные задачи для терапевтического воздействия, выбрать более эффективный режим тренировки [3-6].

Биомеханические методы используются непосредственно в процессе лечения. Имеются два основных направления. Метод искусственной коррекции движений (Витензон А.С. с соавт., 1999), где биомеханические параметры походки применяются для проведения электрической стимуляции мышц синхронно с максимумом их естественной активности. И метод тренировки функции равновесия с БОС от стабилόμεметрических параметров (Афанасьева Е.В., 2004; Жаворонкова Л.А. с соавт., 2003; Gagey P.M., Weber B., 1995). Использование данных методов ограничивалось аппаратными и методическими возможностями (Скворцов Д.В., 2008). На современном этапе развития биомеханики применяются лаборатории анализа движений, которые представляют собой единый комплекс различных устройств для биомеханического анализа, что позволяет количественно описать любое движение, благодаря анализу кинематических, кинетических, видео и электромиографических данных, поступающих от различных устройств [3-8, 11-15].

Механотерапия достаточно часто включает комплексные индивидуальные занятия пациента с применением методик кинезотерапии и лечебной физкультуры. Современные технологии медицины (эндопротезирование суставов, артроскопия) и разработанные инновационные высокотехнологические медицинские изделия для механотерапии позволяют начинать реа-

билитационные мероприятия практически в начале послеоперационного периода. Во время курса пассивной механотерапии при реализации двигательной активности за счет энергии аппарата суставы пациента как бы «привыкают» к движениям и, когда пациент уже делает движения сам, то они уже не так затруднительны для него [17-19]. В реабилитационной и восстановительной медицине находят применение роботизированные комплексы механотерапии. Среди множества известных видов механотерапевтических аппаратов наибольшими возможностями и значительным преимуществом по сравнению с «обычной, неаппаратной» практикой восстановления обладают роботизированные устройства. Регламентированные по времени, дозировке, биомеханике движения занятия с роботом позволяют строго контролировать нагрузки и добиваться клинко-функциональной эффективности с минимальным риском микроповреждений. Современные роботизированные устройства с инсталлированным диагностическим блоком обеспечивают объективную оценку кинематических и динамических характеристик движения, что в сочетании с измерением объема выполненной работы создают условия для осуществления контролируемого процесса реабилитации. К настоящему времени в реабилитации получили широкое распространение робототехнические средства, обеспечивающие тренировку или замещение локомоторных и манипуляционных функций [9, 10, 20].

В РФ на рынке высокотехнологичного оборудования для реабилитации в основном лидируют зарубежные фирмы. Роботизированные системы: 1. восстановления функции ходьбы (Lokomat, RT600), 2. активно-пассивные тренажеры восстановления движений нижних и верхних конечностей (THERA-Vital, MOTomed), 3. тренажеры для восстановления подвижности суставов (Kinetic, Artromot), 4. комплексы для восстановления равновесия и баланса – стабильно и баланс платформы (Balance-Trainer, Biodex), 5. мультисуставные тренажерные системы (Cop-Trex, Primus). В ряде случаев такие системы являются дорогостоящими и требующими сложного технического обслуживания. С учетом санкций остро стоят вопросы разработки, производства и внедрения в клиническую практику отечественных изделий. Частично проблемы импортозамещения отражены в [24]. Затрудняет производство и внедрение в практику также высокий уровень риска инвестиций в инновационные высокотехнологичные медицинские изделия, нестабильность российского рынка высокотехнологичных медицинских изделий, в основном определяемая нестабильностью финансирования здравоохранения для их закупки, длительностью сроков включения инновационных технологий, соответственно и медицинских изделий, в стандарты оснащения лечебно-профилактических учреждений, малые объемы потребления, что, соответственно, увеличивает сроки окупаемости (более 5 лет) высокотехнологичных изделий. Практика показала, что разработка изделия длится не менее 1-2 лет (без учета клинических испытаний), регистрация медицинского изделия 1 год, выход на запланированные объемы производства и продажи не менее 2 лет. Чрезмерно высокая ставка кредитов на развитие бизнеса – около 20% и сложности с его оформлением. Существенной проблемой является и длительный, и затратный процесс регистрации новых изделий, внесение изменений в технические условия при необходимости модернизации уже существующих систем. Недостаточное развитие в

России производства элементной базы, контрактного мелкосерийного производства заставляет производителя заказывать комплектующие и изготовление некоторых узлов за границей, что ведет к увеличению расходов предприятия медицинской промышленности и себестоимости его продукции. Большую помощь в создании новых приборов оказывает система софинансирования ниопр Минпромторга РФ и Фонд содействия развитию малых форм предприятий и др., но затруднительно прогнозирование объемов реализации разработанной продукции ввиду отсутствия в открытом доступе согласованных программ государственных закупок. Несмотря на изложенные проблемы, в России производятся высокотехнологичные медицинские изделия такими компаниями, как «Неврокор», НПФ «СТМ», ОЛМЕ и др. [14-18], в том числе для целей реабилитации и восстановительной медицины, позволяющие замещать или дополнять зарубежные изделия отечественными, увеличивая в целом эффективность реабилитационных программ. Важными и актуальными являются также вопросы формирования и развития кластерных структур [25]. В частности, на современных реабилитационных комплексах возможно проводить инструментальную оценку биомеханической составляющей двигательной патологии для объективизации эффективности проводимого лечения [3-6]. При проведении клинических исследований и разработке реабилитационных комплексов необходимо учитывать взаимосвязь статического и двигательного стереотипов [1,2]. Клинические исследования [3-8] показали, что любой двигательный акт имеет одновременно два составляющих процесса: условно статический (постуральный) и кинематический. Нарушения в опорно-двигательной системе приводят к изменению как статического так и двигательного стереотипа (нарушению оптимальности контроля вертикальной позы, нарушению походки). Комплексный подход к регистрации и анализу этих данных, позволяет индивидуализировать и объективизировать диагностику и лечение пациентов. При этом важно ответить на вопросы о механизмах ЦНС пациента организации множества отдельных мышц и суставов в координированные функциональные движения, о механизмах выбора из внешней среды вида информации. Инструментальные методы исследований должны помочь врачу исследовать вопрос о том, как информация из окружающей среды и организма пациента используется для выбора тактики и вида движения, качественно и количественно оценить патологию опорно-двигательного аппарата. Значимость в регуляции движений ЦНС подтверждается объективными клиническими исследованиями [3, 4, 14].

Важнейшим механизмом исследования являются методы с введением обратной биологической связи (БОС) двигательной активности и биоэлектрической деятельности мозга, что особенно существенно для использования таких медицинских изделий в образовательной среде при проведении занятий по адаптивной физической культуре со студентами, освобожденными от тяжелых физических нагрузок в связи с нарушениями двигательной активности, которые могут обеспечивать более высокие результаты реабилитации при применении психофизиологических, реабилитационных и физиотерапевтических технологий и адекватных медицинских изделий [6, 10, 13, 15, 19, 26-28].

Значимость исследований и реализации принципов биомеханики движений подчеркивается и развиваемой в настоящее время программе Нейронет [29], основан-

ной решениях Президента и Правительства РФ [30-35]. Программа включает направление НейроМедтехника. В котором авторы видят перспективным проведение работ по разработке биомеханических технологий и комплексов нейрореабилитации для восстановления после инсульта и травм мозга, которые должны удовлетворять следующим медико-техническим требованиям: обеспечивать эффективность клинического применения, безопасность применения при эксплуатации и техническом обслуживании, в том числе: восстановление локомоторных функций после инсульта, травм мозга или дегенеративных процессах в ЦНС, и тренировку двигательных функций и стереотипов с использованием БОС с нейроинтерфейсом в среде виртуальной реальности с локомоторными механотренажерами. Технологии и комплексы могут использоваться нейромодуляцией на основе программируемых нейроэлектростимуляторов для восстановления двигательных функций и стереотипов, обеспечивать применение методик пассивной и активной механотерапии верхних и нижних конечностей, обладать возможностью подключения к линейке модернизированных механотерапевтических нагрузочных модулей, в том числе – тредмилов с регулируемыми нагрузочными параметрами.

Исходя из задач, сформулированных в Программе, в процессе клинических исследований це-лесообразно реализовать сценарии БОС в среде виртуальной реальности с игровым компо-нентом при синхронизация игровых сценариев БОС с функциями локомоторных тренажеров, использовать для визуализации БОС как монитора 2Д, так и шлем виртуальной реальности совмещаемый с треккером движений, управлять игровым персонажем виртуальной реальности посредством биоуправления с нейроинтерфесом, обеспечивать дистанционное включение и регулировку исполнительных механизмов тренажерных модулей путем биоуправления через нейроинтерфейс, включать неинвазивный нейроинтерфейс нового поколения по активности когерентных связей, ритмов, амплитуд ЭЭГ с возможностью подключения сторонних библиотек с математическими алгоритмами обработки нативной ЭЭГ, возможностью использования в нейроинтерфейсе как «сухих» электродов регистрации электрической активности мозга так и стандартной системы ЭЭГ «10-20» с гелевым токопроводящим слоем. Технология и комплекс должны обеспечивать возможность мониторинга состояния пациента по параметрам ЭЭГ и двигательной активности (объему движений) пациента в течение всего времени проведения процедуры, активности мышц и треморов в течении всего времени проведения процедур, создание банка данных для хранения и анализа результатов лечебных процедур, персонализацию пациентов и выполняемых ими процедур, включать систему для дистанционного

мониторинга пациентов через локальную сеть или через глобальную сеть Интернет.

В программе [29] подчеркивается возможность стимулирования роста внутреннего спроса на продукцию Нейронет до 50 млрд. рублей к 2020 году и доли отечественных продукции не менее 75%. Формируется спрос со стороны государства и компаний с государственным участием, который является катализатором развития смежных с Нейронет сегментов рынка, в частности разрабатывается и запускается государственная программа диагностики, профилактики лечения и реабилитации людей с заболеваниями нервной системы. В [29] отмечается, что спрос на продукцию сегмента «НейроМедтехника» будет формироваться как в государственных, так и в частных медицинских учреждениях, при реализации мер по оснащению учреждений новейшим эффективным оборудованием. Наибольший объем поддержки предоставлен в рамках ФЦП "Развитие фармацевтической и медицинской промышленности Российской Федерации на период до 2020 года и дальнейшую перспективу" (1,2 млрд. руб.), Российским научным фондом (1 млрд. руб.) и в рамках "Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы" (0,9 млрд. руб. в рамках текущей и предшествующей программ) с приоритетным развитием работ, содержащих инновационные патентоспособные решения [35].

#### Выводы:

1. Уровень современного здравоохранения в настоящее время позволяет решать многие вопросы реабилитации пациентов с ограниченной двигательной активностью при применении принципов биомеханики движений.
2. Особенно актуальным является применение инструментальных методов биомеханики движений в лечебно-диагностическом процессе реабилитации больных с патологией опорно-двигательного аппарата и нарушениями деятельности ЦНС.
3. Наряду с внедрением в практику здравоохранения высокотехнологичных импортных медицинских изделий для реабилитации, производство которых в настоящее время в России отсутствует, необходимо оказывать содействие отечественным структурам, в том числе, кластерным, в продвижении на рынок российских высокотехнологичных импортозамещающих медицинских изделий.
4. Необходимо используя положения о синергии кластерных структур шире использовать их возможности для участия в конкурсах Минпромторга, Фонда развития малых предприятий и программы Нейронет.
5. Интеллектуальная собственность, содержащаяся в реализуемых проектах, должна быть защищена в юридическом и правовом поле.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Бернштейн Н.А. Биомеханика и физиология движений. М: МПСИ, 2008. -688с
2. Уткин В.Л. Биомеханика физических упражнений. – М.: Просвещение, 1989. – 210 с.
3. Скворцов Д.В., Иванова Г.Е., Поляев Б.А., Стаховская Л.В. Диагностика и тестирование двигательной патологии инструментальными средствами// Вестник восстановительной медицины, №5, 2013. – С.74-78
4. Загородний Н.В., Поляев Б.А., Скворцов Д.В., Карпович Н.И., Дамаж А.В. Пространственная стабилометрия посредством трехкомпонентных телеметрических акселерометров (пилотное исследование)//Лечебная физкультура и спортивная медицина, №3 (111)2013. – С.4-10
5. Скворцова В.И., Иванова Г.Е., Скворцов Д.В., Климов Л.В. Оценка постуральной функции в клинической практике//Лечебная физкультура и спортивная медицина, №6 (114) 2013. – С.8-15
6. Иванова Г.Е., Скворцов Д.В., Цогоева И.К., Чурилов С.Н. Методика объективной регистрации движений в шейном отделе позвоночника//Вестник восстановительной медицины.-2014, №2(60). – С.11-15
7. Витензон А.С., Петрушанская К.А., Спивак Б.Г., Матвеева И.А., Гриценко Г.П., Сутченков И.А. Особенности биомеханической структуры ходьбы у здоровых детей разного возраста// Российский журнал биомеханики. 2013. Т. 17. № 1 (59). С. 78-93.;

8. Петрушанская К.А., Витензон А.С., Спивак Б.Г., Гриценко Г.П., Сутченков И.А. Биомеханические и электромиографические исследования ходьбы у лиц с установочным поведением // Российский журнал биомеханики. 2013. Т. 17. № 3 (61). С. 90-111
9. Даминов В.Д. Роботизированные технологии восстановления функции ходьбы в нейрореабилитации. В.Д. Даминов, Е.В. Зимица, Н.В. Рыбалко, А.Н. Кузнецов. М., РАЕН, 2010, 128 с.
10. Ковражкина Е.А., Румянцова Н.А., Старицын А.Н., Суворов А.Ю., Иванова Г.Е., Скворцова В.И. Роботизированные механотренажеры в восстановлении функции ходьбы у больных с инсультом. // М.: РАСМИРБИ, №1 (24) 2008, с. 11-16.
11. Effects of virtual reality training on gait biomechanics of individuals post-stroke / Anat. Mirelman, Benjamin L. Patrilli, Paolo Bonato, Juclih E. Deutsch, Gait&Posture, Volume31, April 2010, P. 433-437
12. Rayegani S.M. Shojae H., et al. The effect of electrical passive cycling on spasticity in war veterans with spinal cord injury. Front Neurol. -2011, №2. – P.39
13. Piva S.R., Erhard R.E., Childs J.D., Browder D.A. Inter-tester reliability of passive intervertebral and active movements of the cervical spine. – Man Ther 2006, 11(2), 321-326
14. Официальный сайт компании Неврокор. Режим доступа: [http://www.neurocor.ru/patalogiya\\_sustavov.htm](http://www.neurocor.ru/patalogiya_sustavov.htm). – клинично-инструментальный анализ движений у больных с патологией суставов. Дата обращения 11.11.2016 г.
15. Официальный сайт компании Неврокор. Режим доступа: <http://www.neurocor.ru/insult.htm>. – клинично-инструментальный анализ движений у больных, перенесших инсульт. Дата обращения 11.11.2016 г.
16. Официальный сайт компании ОЛМЕ. Режим доступа: <http://www.vagincentre.com> – современные системы реабилитации для ЛПУ. Дата обращения 11.11.2016 г.
17. Довгань В.И. Механотерапия. В.И. Довгань, И.Б. Темкин. М., Медицина, 1981, 128 с.
18. Герцик Ю.Г., Иванова Г.Е., Суворов А.Ю. Методики и аппаратура для активно-пассивной механотерапии в здоровьесберегающих технологиях. Гуманитарный вестник, 2013, вып. 4. URL: <http://hmbul.bmstu.ru/catalog/prmed/hidden/57.html>
19. Герцик Ю.Г. О необходимости внедрения медико-технических инновационных технологий в образовательной среде. Гуманитарный вестник, 2013, вып. 11. <http://hmbul.bmstu.ru/catalog/prmed/hidden/129.html>
20. Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 29 декабря 2012 г. N 1705н "О порядке организации медицинской реабилитации с приложениями об оснащении отделений медицинской реабилитации пациентов с нарушением функции периферической нервной системы и опорно-двигательного аппарата".
21. Иванова Г.Е. Медицинская реабилитация в России. Перспективы развития // Вестник восстановительной медицины. – 2013, №5. – С. 2-14
22. Государственная программа "Развитие здравоохранения" (утверждена Постановлением Правительства РФ от 15 апреля 2014 года №294. );
23. Физиологические и психофизиологические особенности сенсорной адаптации у едиборцев разных квалификаций. Павлова В.И., Терзи М.С., Сарайкин Д.А. Фундаментальные исследования. 2014. № 6-7. С. 1412-1417
24. Герцик Ю.Г., Омельченко И.Н. Факторы, сдерживающие развитие медицинской промышленности/ Российский экономический Интернет-журнал. – 2014. – № 3. Режим доступа: <http://www.e-rej.ru/publications/155>
25. Герцик Ю.Г., Иванова Г.Е., Герасименко М.Ю., Герцик Г.Я. Социально-экономическая значимость внедрения медико-технических кластеров производства и эксплуатации оборудования для медицинской реабилитации и физиотерапии/ Вестник восстановительной медицины. – 2015, №3. – С. 2-6
26. Герцик Г.Я. Исследование биофизических основ и технических решений устройств для электромиостимуляции и диагностики: учебное пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 12 с.
27. Герцик Ю.Г., Герцик Г.Я. К вопросу взаимосвязи биоэлектрической и двигательной активности живых организмов // Труды Международного конгресса: Актуальные проблемы фундаментальных наук. – М., МГУ им. М.В. Ломоносова, 1997. – С.235-238.
28. Лощилев В.И., Герцик Г.Я. О работе над межвузовской целевой программой «Научные основы охраны здоровья студентов». В.И. Лощилев, Г.Я. Герцик. Вестник высшей школы, 1985, № 8. – С. 85–87
29. Официальный сайт компании Отраслевого союза «Нейронет» – национальная технологическая инициатива. Режим доступа: <http://rusneuro.net>. Дата обращения 11.11.2016 г.
30. Решение президиума Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России (протокол от 9 июня 2015 г. № 3).
31. Решение президиума Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России (протокол от 16 октября 2015 г. № 4);
32. Постановление Правительства Российской Федерации от 24 октября 2015 г. № 1141;
33. Протокол заседания Межведомственной рабочей группы по разработке и реализации Национальной технологической инициативы при президиуме Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России № 3 от 26 ноября 2015 г.
34. Постановление Правительства Российской Федерации от 18 апреля 2016, №317
35. Герцик Ю.Г. Охрана интеллектуальной собственности инновационных предприятий/Наука и образование: электронное научно-техническое издание. Эл.№ФС77-30569, №2, февраль 2012, электронный ресурс <http://technomag.edu.ru/doc/315824.html>. Дата обращения: 11.02.2016 г.

## REFERENCES:

1. Bernstein NA. [Biomechanics and Physiology of movements]. M: MPSI, 2008. – 688p.
2. Utkin VL. [Biomechanics of physical exercise]. – М.: Образование, 1989. – 210 p.
3. Skvortsov DV, Ivanova GE, Polyayev BA, Stakhovskaya LV. [Diagnostics and testing of motor pathology]. Journal of restorative medicine, №5, 2013. – P.74-78
4. Zagorodny NV, Polyayev BA, Skvortsov DV, Karpovich NI, Damazh AV. [Spatial stabilometry by three-telemetry accelerometers (a pilot study)]. Physiotherapy and sports medicine, №3 (111) 2013. – P.4-10
5. Skvortsova VI, Ivanova GE, Skvortsov DV, Klimov LV. [Evaluation of postural function in clinical practice]. Physiotherapy and sports medicine, №6 (114) 2013. – P. 8-15
6. Ivanova GE, Skvortsov DV, Tsogoeva IK, Churilov SN. [Methods of objective registration of the movements of the cervical spine]. Journal of restorative medicine. 2014, №2 (60). – P.11-15
7. Vitenzon AS, Petrushanskaya KA, Spivak BG, Matveeva IA, Gritsenko GP Sutchenkova IA. [Features of biomechanical structure of walking in healthy children of different ages]. Russian Journal of Biomechanics. 2013. T. 17, N. 1 (59). P. 78-93 ;
8. Petrushanskaya KA, Vitenzon AS, Spivak BG, Gritsenko GP Sutchenkova IA. [Biomechanical and electromyographic studies in patients walk with the installation behavior]. Russian Journal of Biomechanics. 2013. T. 17. number 3 (61). P. 90-111
9. Daminov VD. [Robotic technology in the recovery of gait neurorehabilitation]. VD Daminov, EV Zimin, NV Rybalko, AN Kuznetsov. M., Natural Sciences, 2010, 128 p.
10. Kovrazhkina EA, Rumyantsev NA, Staritsyn AN, Suvorov AYu, Ivanova GE, Skvortsova VI. [Robotic mehanotrenazhery in the recovery of gait in patients with stroke]. // М.: РАСМИРБИ, №1 (24) 2008, p. 11-16.
11. Effects of virtual reality training on gait biomechanics of individuals post-stroke / Anat. Mirelman, Benjamin L. Patrilli, Paolo Bonato, Juclih E. Deutsch, Gait & Posture, Volume31, April 2010, P. 433-437
12. Rayegani S.M. Shojae H., et al. The effect of electrical passive cycling on spasticity in war veterans with spinal cord injury. Front Neurol. -2011, №2. – P.39
13. Piva S.R., Erhard R.E., Childs J.D., Browder D.A. Inter-tester reliability of passive intervertebral and active movements of the cervical spine. – Man Ther 2006, 11 (2), 321-326
14. Official site Neurokor. Access mode: [http://www.neurocor.ru/patalogiya\\_sustavov.htm](http://www.neurocor.ru/patalogiya_sustavov.htm). – Clinical and instrumental analysis of movement in patients with disorders of the joints. Date of access: 11.11.2016
15. Official site Neurokor. Access mode: <http://www.neurocor.ru/insult.htm>. – Clinical and instrumental analysis of movements in patients undergoing treatment insult. Date of access: 11/11/2016
16. Official site OLME. Access mode: <http://www.vagincentre.com> – modern rehabilitation system for hospitals. Date of access: 11.11.2016
17. Dovgan VI. [Physiotherapy]. Dovgan VI, Temkin IB. M., Medicine, 1981, 128 p.
18. Gercik YuG, Ivanova GE, Suvorov AY. [Methods and apparatus for active-passive mechanotherapy in health-technology]. Humanitarian Gazette 2013, no. 4. Access mode: <http://hmbul.bmstu.ru/catalog/prmed/hidden/57.html>. Date of access: 11.11.2016

19. Gercik YuG. [About the need to implement medical and technical innovation in the educational environment]. Humanitarian Gazette 2013, no. 11. Access mode: <http://hmbul.bmstu.ru/catalog/prmed/hidden/129.html>. Date of access: 11.11.2016
20. The Ministry of Health of the Russian Federation Order of December 29, 2012 N 1705n. [On the order of organization of medical rehabilitation applications to equip medical rehabilitation departments in patients with dysfunction of the peripheral nervous system and the musculoskeletal system].
21. Ivanova GE. [Medical rehabilitation in Russia. Prospects of development // Herald of regenerative medicine]. – 2013, №5. P. 2-14
22. State program "Health Development" (approved by the RF Government Decree of April 15, 2014, №294)
23. The physiological and physiological features of the sensorimotor adaptation edinobortcev have different qualifications. Pavlov VI, Terzi MS, Saraykin DA. Basic research. 2014. № 6-7. pp 1412-1417
24. Gercik YG, Omelchenko IN. [Factors constraining the development of the medical industry]. Russian Economic Internet-Journal. – 2014. – № 3. Access: <http://www.e-rej.ru/publications/155>
25. Gercik Yu, Ivanov GE, Gerasimenko MYu, Gercik GY. [Socio-economic importance of the implementation of health technology clusters, production and operation of medical equipment for rehabilitation and physiotherapy]. Journal of restorative medicine. – 2015, №3. – P. 2-6
26. Gercik GY. [The study of biophysical principles and technical solutions for electromyostimulation devices and diagnostics: a tutorial]. – M.: Publishing house of the MSTU. NE Bauman, 2002. – 12 p.
27. Gercik Yu, Gercik GY. [On the question of the relationship of bioelectric and motor activity of living organisms]. Proceedings of the International Congress: Actual problems of fundamental sciences. – M.; MSU. MV University, 1997. – P.235-238.
28. Loshchilov VI, Gercik GY. [On the work of the inter-university target program "Scientific students' health fundamentals"]. Loshchilov VI, Gercik GY. Journal of Higher School of 1985, number 8. – P. 85-87
29. Official site of the Industrial Union "Neyronet" – National Technology Initiative. Access: <http://rusneuro.net>. Date of treatment: 11.11.2016
30. The decision of the Presidential Council of the Russian Federation on economic modernization and innovative development of Russia (Dated June 9, 2015 № 3).
31. The decision of the Presidential Council of the Russian Federation on economic modernization and innovative development of Russia (Minutes dated October 16, 2015 № 4);
32. Russian Federation Government Resolution dated October 24, 2015 № 1141;
33. Protocol of the meeting of the Interagency Working Group for the development and implementation of the National Technology Initiative at the Presidium of the Presidential Council of the Russian Federation on economic modernization and innovative development of the Russian number 3 on November 26, 2015
34. Russian Federation Government Resolution dated April 18, 2016, №317
35. Gercik YuG. [Intellectual property protection of innovative companies in the medical industry / science and education]: e-science and technology publication. EI.№FS77-30569, №2, February 2012, an electronic resource <http://technomag.edu.ru/doc/315824.html>. Access Date: 11.02.2016

## РЕЗЮМЕ

В статье проведен анализ основных положений и понятий биомеханики как науки, проанализированы перспективы применения принципов биомеханики в клинической практике медицинской реабилитации, взаимосвязь эффективности методик лечебно-диагностического реабилитационного процесса и применения инструментальных технологий. Подчеркнуто, что данные методики и технологии могут быть использованы для реализации национальной технологической инициативы НейроНет по направлению НейроМедтехника, в частности, при формировании требований к разработке и производству медицинских комплексов для нейрореабилитации при восстановлении двигательной активности после инсульта и травм мозга. В качестве приоритетного направления предлагается формирование кластерных структур в сфере медицины и медицинской промышленности.

**Ключевые слова:** биомеханика, медицинская реабилитация, импортозамещение, высокотехнологичные медицинские изделия, инструментальные технологии, кластеры в сфере медицины и медицинской промышленности.

## ABSTRACT

The article analyzes the basic terms and concepts of biomechanics as a science, analyzed the prospects of application of the principles of biomechanics in the clinical practice of medical rehabilitation, the relationship of the effectiveness of treatment and diagnostic methods of the rehabilitation process and the application of instrumental techniques. It is emphasized that these techniques and technologies can be used to implement a national technology initiative NeuroNet towards NeuroMedtechnics, in particular, the formation of the requirements for the design and manufacture of medical complexes for neurorehabilitation during recovery of motor activity after stroke and brain injury. As priority areas for the development proposed the formation of cluster structures in the field of medicine and medical industry.

**Keywords:** biomechanics, medical rehabilitation, import substitution, high-tech medical devices, instrumentation technology clusters in the field of medicine and medical industry.

### Контакты:

**Ишутина Р.Ш.** E-mail: [dility@yandex.ru](mailto:dility@yandex.ru)