

ТРАВМАТОЛОГИЯ И ОРТОПЕДИЯ

УДК 612.766

Обзор

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ БИОМЕХАНИКИ В ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ И КОРРЕКЦИИ ПАТОЛОГИИ ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ (ОБЗОР)

Н. А. Ромакина — ФГБУ «Саратовский НИИ травматологии и ортопедии» Минздрава России, старший научный сотрудник, кандидат медицинских наук; **А. С. Федонников** — ФГБУ «Саратовский НИИ травматологии и ортопедии» Минздрава России, заместитель директора по науке, кандидат медицинских наук; **С. И. Киреев** — ГБОУ ВПО «Саратовский ГМУ им. В. И. Разумовского» Минздрава России, профессор кафедры травматологии и ортопедии, доктор медицинских наук; **Н. Х. Бахтеева** — ГБОУ ВПО «Саратовский ГМУ им. В. И. Разумовского» Минздрава России, профессор кафедры травматологии и ортопедии, доктор медицинских наук; **И. А. Норкин** — ФГБУ «Саратовский НИИ травматологии и ортопедии» Минздрава России, директор, ГБОУ ВПО «Саратовский ГМУ им. В. И. Разумовского» Минздрава России, заведующий кафедрой травматологии и ортопедии, заслуженный врач РФ, профессор, доктор медицинских наук.

APPLICATION OF TECHNIQUES OF BIOMECHANICS IN THE STATUS EVALUATION AND PATHOLOGY CORRECTION OF LOCOMOTOR SYSTEM (REVIEW)

N. A. Romakina — Saratov Scientific Research Institute of Traumatology and Orthopedics, Senior Research Assistant, Candidate of Medical Science; **A. S. Fedonnikov** — Saratov Scientific Research Institute of Traumatology and Orthopedics, Candidate of Medical Science; **S. I. Kireev** — Saratov Scientific Research Institute of Traumatology and Orthopedics, Department of Traumatology and Orthopedics, Professor, Doctor of Medical Science; **N. Kh. Bakhteeva** — Saratov Scientific Research Institute of Traumatology and Orthopedics, Department of Traumatology and Orthopedics, Professor, Doctor of Medical Science; **I. A. Norkin** — Director of Saratov Scientific Research Institute of Traumatology and Orthopedics, Saratov State Medical University n.a. V. I. Razumovsky, Head of Department of Traumatology and Orthopedics, Professor, Doctor of Medical Science.

Дата поступления 27.08.2015 г.

Дата принятия в печать — 28.08.15 г.

Ромакина Н. А., Федонников А. С., Киреев С. И., Бахтеева Н. Х., Норкин И. А. Использование методов биомеханики в оценке состояния и коррекции патологии опорно-двигательной системы (обзор). Саратовский научно-медицинский журнал 2015; 11 (3): 310–316.

Рассматриваются вопросы развития и современного состояния биомеханики как научного и практического направления в медицине в контексте научно-технического прогресса, особое внимание уделено достижениям российских научных школ. Показана необходимость широкого использования инструментальной биомеханической диагностики двигательной патологии для объективного обоснования тактики восстановительного лечения и контроля его медицинской эффективности, в частности, для лиц с последствиями оперативных вмешательств — остеосинтеза, спондилосинтеза, тотального эндопротезирования суставов. Неинвазивный характер исследования, возможность его многократного повторения и относительно невысокая стоимость делают актуальным использование методов клинического анализа движений в реабилитации для профильных пациентов разных возрастных групп.

Ключевые слова: медицинская биомеханика, стабилметрия, восстановительное лечение.

Romakina NA, Fedonnikov AS, Kireev SI, Bakhteeva NKh, Norkin IA. Application of techniques of biomechanics in the status evaluation and pathology correction of locomotor system (review). Saratov Journal of Medical Scientific Research 2015; 11 (3): 310–316.

The article deals with the problem of development and the modern state of biomechanics as a scientific and practical direction in medicine under the context of technological advance herein a specific attention is paid to the achievements of the Russian schools. It is shown a necessity of wide usage of instrumental biomechanical diagnostics of locomotive disorders for intrinsic substantiation of rehabilitation treatment tactics and monitoring of its medical efficiency particularly for persons with remote effects of surgical interventions such as osteosynthesis, spondylosynthesis, total joint replacements. Non-invasive technique, possibility of its multiple application and rather low cost make actual using of locomotion clinical analysis techniques for rehabilitation treatment of concerned patients of different age groups.

Key words: medical biomechanics, stabilometric assessment, rehabilitation treatment.

В современной отечественной медицине достаточно молодым направлением является клинический

анализ двигательной сферы — патологии походки и основной стойки с использованием методов биомеханики. Не вызывает сомнений значимость оценки функционального состояния опорно-двигательной системы у пациентов травматолого-ортопедического и неврологического профиля, но между тем в на-

Ответственный автор — Ромакина Наталья Александровна
Тел.: 8-927-621-17-98
E-mail: ab2009sar@list.ru

стоящее время методы инструментального анализа походки и движения еще не получили повсеместного распространения и внедрения в широкую клиническую практику отечественных лечебных учреждений и реабилитационных центров. Чаще оценка функции врачом проводится только «на глаз» и имеет большую долю субъективизма [1, 2]. Согласно данным исследователей в сфере клинического анализа движений, выполняемого с помощью специализированной аппаратуры, получаемая информация может быть полезна на всех этапах лечебного процесса данной категории пациентов — от диагностики заболевания с выявлением ведущего патологического звена до оценки правильности проводимого лечения, исследования ближайших и отдаленных результатов лечения, выполнения экспертной оценки [2–6]. Таким образом, представляет интерес прикладной аспект анализа локомоций человека в травматологии и ортопедии.

Исторические аспекты. Врачи и ученые уже с древних времен осознавали необходимость понимания основ движения человека с позиций механики для улучшения качества лечения пострадавших с повреждениями опорно-двигательной системы. Так, еще Гиппократом (460–370 гг. до нашей эры), Аристотелем (384–322 гг. до нашей эры) и Галеном (131–201 гг. нашей эры) осмыслились строение и функционирование мышц, костно-суставной системы, особенности походки и движений человека [6, 7]. Основные закономерности движения, определение центра тяжести и баланса, используемые и в настоящее время в стандартных двигательных тестах, были описаны с позиций механики гениальным ученым, естествоиспытателем, художником эпохи Возрождения Леонардо да Винчи. Схемы строения и функционирования сухожильно-мышечного аппарата, изложенные Леонардо и представленные в его анатомических рисунках, и по сей день находят применение в некоторых программах для компьютерного моделирования движений человека [6–8].

Новые принципы построения научного знания, получившие развитие в эпоху Нового времени, оказали существенное влияние на развитие биомеханики. Первая книга по механике живых существ издана в Риме в 1679 г., ее автором был профессор математики Джованни Борелли, подробно изложивший основы статики человеческого тела, условия равновесия многозвеньевого системы. Им дано определение общего центра тяжести человеческого тела, приведен ряд экспериментальных данных [7]. Выдающийся математик и механик Даниэль Бернулли предложил модель мышцы, состоящей из отдельных мышечных волокон. Принцип Бернулли используется в биомеханике в настоящее время. Основоположник классической механики Исаак Ньютон также обращался к проблеме движения живых существ [6–8].

Становление биомеханики как науки тесно связано с научно-техническим прогрессом. Во время промышленной революции в Европе в XVIII–XIX вв. значительно возросла роль науки в развитии производства, революционные научные открытия воплощались в новые технологические процессы. С изобретением фотографии и кино стал возможным процесс запечатления неподвижных изображений и движущихся объектов. Впервые произвести регистрацию кинематики движений и ходьбы человека с использованием фото- и кинотехники удалось Э.-Ж. Марю (1885, 1895), проводившему исследования в сфере рационализации строевой подготов-

ки военных. Немецкие ученые-экспериментаторы В. Брауне и О. Фишер, также применяя фототехнику, заложили основы регистрации и анализа кинематики походки с помощью инструментальных методов [7, 9]. С развитием инженерной мысли и появлением новых технических решений был изобретен прибор, позволяющий регистрировать силы реакций опоры, — динамометрическая платформа, снабженная силоизмерительными датчиками. Американский ученый Г. Эльфман впервые провел исследование реакций опоры на динамометрической платформе и выработал методику исследования распределения давления под стопой в основной стойке (1934, 1938) [9]. Также стал развиваться такой метод, как стабилметрия (от лат. «stabilis» — твердо стоящий на ногах). Суть стабилметрического исследования заключается в регистрации колебаний тела (общего центра масс) исследуемого на плоскость платформы, имеющей тензодатчики, преобразовании сигнала и передачи данных в обрабатывающий блок [6, 8]. Первые стабиллоплатформы были «кустарного» производства, регистрацию сигнала производили с помощью самописца, вычерчивающего чернильным пером графики колебаний на бумаге. В дальнейшем совершенствовались конструкции платформ, а также методы математического анализа получаемых данных. Внедрение стабилметрических платформ в серийное промышленное производство способствовало более широкому распространению метода стабилметрии среди исследователей, которые стали активно производить инструментальные измерения постуральных колебаний, с последующей статистической обработкой полученных цифровых значений, выявлять статистически значимые явления в регуляции ортостатической позы. Группой американских ученых: В.Т. Инманом (1905–1980), Г. Эберхартом (1906–1993), Дж. Саундерсом (1903–1991) проведены фундаментальные исследования походки в норме и после протезирования нижних конечностей, изучена фазовая электрическая активность мышц при движениях. Их совместные научные труды стали классическими в истории биомеханики [6, 9]. За рубежом большую значимость в клинической практике ортопедов имеют исследования нормальной и патологической походки, выполненные М.П. Мюррей [10], Ж. Перри [11], работы Д. Сюзерленда [12], изучавшего динамику биомеханических показателей в различном возрасте.

Следующий этап в развитии дисциплины связан с изобретением электронно-вычислительных машин и развитием компьютерных технологий, что способствовало появлению новых возможностей обработки получаемой информации. В конце 70-х годов прошлого века с развитием методик компьютерной стабилметрии сформировалось новое научное направление — постурология, занимающаяся сложными механизмами поддержания вертикальной позы и равновесия. Термин «постурология» имеет происхождение от французского слова «posture» — поза. В мире существует несколько школ постурологии (французская, американская, японская), возникло несколько обществ и ассоциаций ученых-постурологов. Координирующей организацией является Международное общество исследования положения тела и походки («International Society for Posture and Gait Research»), созданное в 1969 г. Постурология имеет тесную взаимосвязь с неврологией, ортопедией, оториноларингологией, офтальмологией и даже стоматологией. В сфере интересов постурологов на-

ходятся пациенты с жалобами на головокружения, трудности при стоянии, неустойчивость при ходьбе, частые падения, проблемы ориентирования во внешнем пространстве, имеющие различное происхождение. Португальским исследователем М. да Кунья введено такое понятие, как «синдром постурального дефицита», которое в настоящее время трактуется как «сочетание дисфункции тонической активности и недостатка контроля постуральных колебаний, приводящее к нарушению устойчивости» [4]. С использованием стабилметрических платформ производится диагностика постуральных нарушений, разработаны и методы лечения с помощью индивидуально подбираемых ортопедических стелек, призм, платформ постуральной реабилитации и проч. [4, 13].

Состояние проблемы в отечественной медицине. В целом области приложения и внедрения в клиническую практику больше развиты за рубежом, чем в отечественной медицине, хотя роль отечественных ученых-физиологов в становлении биомеханики весьма значительна. В нейрофизиологии, учении о высшей нервной деятельности, И.М. Сеченов, И.П. Павлов, А.А. Ухтомский, П.К. Анохин показали рефлекторную природу двигательной активности и установили роль механизма нервной регуляции при взаимодействии организма и окружающей среды [7, 9]. Огромный вклад в биомеханику внес Н.А. Берштейн (1896-1966), установивший важный принцип управления движениями, разработавший собственную методику исследования кинематики движений [14]. Большую значимость в изучении физиологии движения имеют работы В.С. Гурфинкеля, под руководством которого произведены исследования баланса человека в основной стойке и опубликован научный труд «Регуляция позы человека» [15]. Выдающийся отечественный ученый-биомеханик, нейрофизиолог А.С. Витензон выполнил уникальные исследования в сфере биомеханики нормальной походки и патологии локомоции при различных заболеваниях опорно-двигательного аппарата, нервной системы [3]. А.С. Витензон и группой ученых разработан метод искусственной коррекции, использующий электрическую стимуляцию мышц синхронно с естественной мышечной активностью в процессе движения и имеющий большие перспективы использования в реабилитации пациентов неврологического и травматолого-ортопедического профиля [3, 16, 17].

Обширные исследования, проведенные Д.В. Скворцовым, обобщили информацию о методах регистрации временных, кинематических и динамических параметров походки и основной стойки в норме и при патологии [18]. Была доказана необходимость проведения инструментальной биомеханической диагностики двигательной патологии, что позволяет объективно обосновать выбранную тактику восстановительного лечения и проводить контроль его эффективности. При этом данные были получены с использованием оборудования отечественного производства, выпускаемого научно-медицинской фирмой «МБН» (г. Москва). Уточнены функциональные нарушения, выявляемые методами биомеханики при таких заболеваниях и состояниях, как поясничная люмбоишалгия, резидуальный период инсульта, рассеянный склероз, расстройства эмоциональной сферы и проч. Установлен феномен изменения ведущей сенсорной модальности, касающийся ролей зрительной и проприоцептивной систем в постуральной устойчивости человека. Подтверждены за-

кономерности колебаний проекции центра давления при стабилметрическом исследовании, уточнено их клиническое значение. Большое внимание уделено методу функциональной электромиографии, являющейся важной составляющей комплексного биомеханического обследования. Также Д.В. Скворцовым развито направление использования биомеханических методов непосредственно в лечебном процессе: произведена модификация метода искусственной коррекции движений и метода биологической обратной связи (БОС), основанного на корректировке проекции общего центра масс тела в вертикальной стойке в процессе специальных тренировок. Разработаны оригинальный программно-аппаратный комплекс на основе БОС и комплекс для искусственной коррекции движений с возможностью целенаправленного восстановительного лечения пациентов с тяжелой сочетанной патологией (периферические и центральные парезы, патология равновесия различного генеза, рассеянный склероз и др.). Предложены промышленные образцы оборудования для исследования биомеханических параметров и проведения лечебных мероприятий, разработана общая модель внедрения биомеханических технологий [6, 18].

Подробно изучены биомеханические и электрофизиологические методики исследования опорно-двигательного аппарата А.А. Жиляевым (2003), освещена их значимость в практической медицине и в научных исследованиях [19]. Проведен большой объем исследований, на основании которого был выделен ряд значимых биомеханических параметров ходьбы, характеризующих функциональное состояние при патологии тазобедренного, коленного, голеностопного суставов, в частности при диспластическом, идиопатическом коксартрозе, при асептическом некрозе головки бедра. Изучена вариабельность форм динамограмм реакций опоры. В качестве высокоинформативного параметра для оценки функционального состояния нижних конечностей автор предлагает определять такой показатель, как вариабельность суммарной нагрузки (интеграл вертикальной составляющей реакции опоры). Данный показатель позволяет выявлять патологию на ранних стадиях, признаки нестабильности в суставах нижних конечностей, преимущественное поражение конечности при двустороннем процессе, возможность компенсаторных реакций. Предложена биомеханическая классификация форм нестабильности коленного сустава. Также разработаны программы для автоматизированной обработки параметров, получаемых при биомеханической оценке ходьбы и реакций опоры, при электрофизиологическом исследовании работы мышечного аппарата. Автором создан ряд электронных устройств, в том числе портативный миограф, позволяющий регистрировать сокращения мышц в процессе двигательного акта, предложен новый алгоритм обработки получаемого сигнала. Также сконструирован электростимулятор, имеющий ряд особенностей, позволяющий подбирать индивидуальную программу миостимуляции для пациента, с учетом тяжести поражения опорно-двигательной системы. Изготовлено устройство для треморометрии, позволяющее определять спектральный состав мышечного тремора. На основании полученного комплекса клинических, биомеханических, электрофизиологических данных сформулирована концепция повышения вариабельности биомеханических данных при патологической ходьбе. Согласно представленной концепции, регуляция координации дви-

жений при патологии суставов нижних конечностей страдает при изменении характера афферентной информации, получаемой от проприорецепторов суставов. По мере утраты рецепторных зон суставных поверхностей при поражении суставов возрастает роль центральной нервной системы в регуляции локомоций. Несомненно, данные положения представляют научно-практический интерес и требуют дальнейшего изучения и развития.

Д. А. Киселев и соавт. (2011) предложили авторскую методику диагностики и консервативного лечения пациентов с нарушением опороспособности нижних конечностей, в частности при эквинусной установке стоп, разной длине конечностей с использованием стабилметрического комплекса ST-150 со специализированным программным оснащением [20]. Исследователями выявлено, что в ряде случаев при традиционном лечении подбор ортопедической обуви и выполнение коррекции укорочения конечности, произведенные без анализа объективных данных о характере постурологических нарушений, оказываются неэффективными, а в ряде случаев оказывают негативное воздействие в процессе реабилитации. Согласно разработкам авторов, подбор специальных ортопедических компенсаторов производится строго индивидуально в процессе этапных стабилметрических обследований. Критерием правильного подбора компенсаторов является нормализация значений стабилметрических параметров, например приближение положения общего центра давления пациента в сагиттальной и фронтальной плоскости к расчетной физиологической норме, уменьшение площади статокинезиограммы, что свидетельствует о большей постуральной устойчивости, уменьшении энергозатрат на поддержание позы. В последующем с помощью специальных программ проводятся тренировки, основанные на методе биологической обратной связи. Разработанные методики были с успехом применены у пациентов с неврологической и ортопедической патологией: с последствиями детского церебрального паралича, врожденными и приобретенными деформациями нижних конечностей, сколиозом, нарушением осанки, последствиями травм, дегенеративными заболеваниями суставов.

А. П. Ефимов развил методику исследования биомеханических показателей походки у больных с заболеваниями и последствиями травм нижних конечностей путем внедрения метода акселерографии (исследование ускорений). Изучались спектральные характеристики вибрационных сигналов, сопровождающих локомоторные акты и получаемых с помощью специальных датчиков — пьезоакселерометров. Датчики укрепляют на участке тела с поверхностным залеганием кости, подключают к регистратору. Во время ходьбы производится регистрация электрических сигналов, графически отображаемых в виде престограммы, состоящей из отдельных пиков, соотносящихся с передним и задним толчками ног. Для более точного изучения толчковой функции нижней конечности производилась регистрация резкости — физической величины, представляющей собой скорость изменения ускорения (m/c^3). С точки зрения А. П. Ефимова (2012), необходима адаптация информации, получаемой при биомеханическом исследовании, выделение информативных параметров, имеющих значимость для практикующих врачей, инструкторов ЛФК, спортивных тренеров и проч. По мнению А. П. Ефимова, наиболее информативными параметрами являются: угловая скорость для суста-

вов (град/с), ускорение угловое и линейное — для мышц (m/c^2), резкость — для костей (m/c^3). Произведения исследования биомеханических показателей походки при плоскостопии, деформирующих артрозах, последствиях переломов нижних конечностей, изучена амортизационная роль сводов стоп, позвоночника, мышц ног, влияние патологии нижних конечностей и позвоночника на биомеханику головы и головного мозга [21].

Сотрудниками института травматологии и ортопедии Научного центра реконструктивной и восстановительной хирургии СО РАМН (г. Иркутск) обобщен более чем 35-летний опыт работы лаборатории биомеханики. Разработаны оригинальные методики биомеханических исследований с помощью специальных стенов, моделирующих естественный рельеф, лестничные переходы и наклонные поверхности, предложены специальные устройства для подографии, которые нивелируют или создают укорочение конечности, что позволило улучшить качество диагностики восприятия пациента к нагрузке и оценить его компенсаторные возможности. М. Б. Негреева и соавт. (2006) проанализировали данные биомеханических исследований больных с заболеваниями, травмами опорно-двигательной системы и их последствиями: последствия несросшихся и неправильно сросшихся переломов нижних конечностей и таза, патологии связочного аппарата коленного сустава, дегенеративно-дистрофических заболеваний тазобедренных суставов и пояснично-крестцового отдела позвоночника [21]. Выявлен ряд закономерностей восстановления опороспособности конечности после тотального эндопротезирования тазобедренных суставов, в том числе после односторонней двусторонней тотальной артропластики. Определено, что скорость и степень восстановления во многом зависят от дооперационного биомеханического статуса, обоснован выбор средств дополнительной опоры. Однако исследователи отмечают, что вопросы диагностики взаимной заинтересованности патологии тазобедренных суставов и позвоночника, а также восстановление двигательной активности пациентов после эндопротезирования крупных суставов остаются не достаточно разработанными.

Ю. А. Безрогодков и соавт. (2011) показали значимость биомеханических методов исследования в объективной оценке результатов тотального эндопротезирования коленных суставов по стандартной методике и с использованием систем компьютерной навигации, повышающих точность имплантации компонентов эндопротеза. Выявлено достоверно лучшее восстановление общего центра давления и центров давления конечностей, улучшение показателей походки, нормализации длительности опорного периода и коэффициента ритмичности после оперативных вмешательств с использованием компьютерной навигации [23].

На базе Российского научного центра «Восстановительная травматология и ортопедия» им. академика Г. А. Илизарова (г. Курган) активно проводятся биомеханические исследования по ряду направлений. Оценка локомоций производится с помощью программно-аппаратного комплекса «Диаслед-Скан». Разработан специальный динамометрический стенд для исследования силы мышц конечностей, активно используемый в научно-практической работе [25–27]. Н. В. Сазоновой и соавт. (2007) изучены показатели подографии и динамометрии у пациентов с начальными проявлениями остеоартроза крупных

суставов нижних конечностей. Выявлено, что при коксартрозе преобладают изменения временных характеристик ходьбы, а при гонартрозе — снижение опорных (толчковых показателей). При динамометрических тестах зарегистрировано достоверное снижение силы мышц разгибателей, прежде всего мышц-разгибателей голени [24, 26].

О.Д. Давыдов и соавт. (2011) сообщают о проведенном многокритериальном биомеханическом исследовании функциональных исходов у пациентов с застарелыми тяжелыми переломами костей таза, пролеченных консервативными методами и оперативным путем [28]. Изучены временные и пространственные характеристики ходьбы, опорные реакции стоп. Произведены гониография, осциллография угловых отклонений таза и плечевого пояса в сагитальной и фронтальной плоскостях. Анализ объективных данных позволил выявить лучшие результаты лечения у пациентов, прооперированных с использованием аппаратов для чрескостного остеосинтеза, в сроки 6–12 месяцев после операции. Отмечено приближение к норме коэффициента асимметрии статической нагрузки, восстановление коэффициента ритмичности ходьбы, скорости передвижения, нарастание величины заднего толчка. При консервативном лечении выявлены объективные признаки улучшения функционального состояния опорно-двигательного аппарата.

Заключение. Несмотря на растущий научный интерес и практическую потребность в использовании методов клинической биомеханики, по мнению ряда исследователей [18–20, 22], в настоящее время в отечественной медицине существует дефицит средств объективного контроля и управления двигательной сферой у пациентов травматолого-ортопедического, неврологического профиля, что обусловлено рядом факторов. К их числу относятся оснащение учреждений здравоохранения оборудованием для клинического анализа движений; нехватка квалифицированных кадров, владеющих методиками компьютерной стабилόμεрии; недостаточное обеспечение специализированной учебно-методической литературой; низкая информированность практикующих врачей о возможностях метода. Что касается подготовки специалистов на до- и последипломном этапах, можно констатировать, что вопросам изучения биомеханики уделено несколько академических часов в учебных программах.

В последние десятилетия, с внедрением компьютерных технологий, в мировой клинической практике произошел колоссальный прогресс в изучении патологии походки и основной стойки, однако в нормативных параметрах, полученных различными учеными, имеется большой разброс данных. Существующие технические требования к стабилόμεметрическим платформам и обработке стабилόμεметрического сигнала наиболее подробно разработаны применительно к платформам зарубежного производства (как, например, «Нормы-85» Французской ассоциации постурологии) [29, 30]. Зарубежные серийно выпускаемые стабилόμεметрические анализаторы малодоступны для российских организаций науки и здравоохранения в связи с высокой стоимостью, в 3–10 раз превышающей стоимость приборов отечественного производства. Среди отечественных компаний наиболее известны три разработчика и производителя оборудования для стабилόμεрии: «Стабилан-01», серийно выпускаемый в ЗАО «ОКБ РИТМ» (г. Таганрог), постурограф «Стабилотест СТ-01», разработанный и производи-

мый ВНИИМП ВИТА (г. Москва), стабилόμεметрический комплекс «МБН-Биомеханика», выпускаемый ООО «НМФ МБН» (г. Москва). Массовому внедрению в практику здравоохранения указанного оборудования препятствуют как недостаточно развитая система обучения специалистов по работе с ним, так и несогласованность в стандартах выполнения и интерпретации результатов исследования.

Таким образом, область применения рассматриваемого в статье клинического анализа движений очень широка. Метод может быть использован в научно-клинической деятельности и экспертной оценке функциональных нарушений у пациентов с поражением опорно-двигательной и нервной систем, вестибулярными нарушениями; для определения тактики лечения и контроля эффективности консервативных и оперативных лечебных мероприятий, протезирования конечностей. С использованием тренировок, основанных на биологической обратной связи, метод может быть применен в комплексе реабилитационных мероприятий у пациентов с нарушениями поддержания ортостатической позы, для тренировок статокинетической устойчивости у спортсменов, военных, артистов цирка и балета [31–33]. Принимая во внимание тот факт, что в последние годы в России отмечается значительный вклад патологии опорно-двигательной системы в показатели инвалидности, значимой проблемой является реабилитация инвалидов, в частности лиц с заболеваниями и последствиями травм костно-мышечной системы, особенно после оперативных вмешательств — остеосинтеза, спондилосинтеза, тотального эндопротезирования суставов [34–36, 38]. Эмпирический подбор средств реабилитации у контингента с высоким выходом на инвалидность не всегда эффективен, приводит к увеличению расходов на лечение и увеличивает процент выхода на инвалидность [39, 40].

Указанные обстоятельства актуализируют использование методов клинического анализа движений в системе восстановительного лечения данной категории пациентов, особенно с учетом того, что биомеханическое исследование не требует значительных финансовых затрат, не является инвазивным и может выполняться неограниченное число раз пациентам различных возрастных категорий [41, 42].

References (Литература)

1. Negreeva MB, Shenderov VA, Komogortsev IE, et al. Biomechanical studies in diagnostics, treatment and rehabilitation of patients with lower extremities, pelvic girdle and backbone: results and perspective. *Byulleten' VSNTs SO RAMN* 2006; 4 (5): 201–206. Russian (Нереева М.Б., Шендеров В.А., Комогорцев И.Е. и др. Биомеханические исследования в диагностике, лечении и реабилитации больных с патологией нижних конечностей, тазового пояса и позвоночника: итоги и перспективы. *Бюллетень ВСНЦ СО РАМН* 2006; 4 (5): 201–206.)
2. Methods of the evaluation of rehabilitation effectiveness of prosthetic repair of lower extremities: GOST R 53871–2010. Moscow: Standartinform, 2012; 11p. Russian (Методы оценки реабилитационной эффективности протезирования нижних конечностей: ГОСТ Р 53871–2010. М.: Стандартинформ 2012; 11с.)
3. Vitenzon AS, Petrushanskaya KA, Skvortsov DV. Guideline for applying method of artificial walking correction and rhythmic motions by means of program muscles stimulation. М.: МБН, 2005; 312 p. Russian (Витензон А.С., Петрушанская К.А., Скворцов Д.В. Руководство по применению метода искусственной коррекции ходьбы и ритмических движений посредством программируемой электростимуляции мышц. М.: МБН, 2005; 312 с.)

4. Gazhe PM, Veber B. Posturology: Regulation and human body imbalance: per. s frantsuzskogo pod red. V.I. Usacheva. SPb: Izdatel'skiy dom SPbMAPO, 2008. 316 p, ill. Russian (Гаже П.М., Вебер Б. Постурология: Регуляция и нарушения равновесия тела человека: пер. с франц. под ред. В.И. Усачева. СПб: Издат. дом СПбМАПО 2008; 316 с., ил.)
5. Oleynikov EV. Characteristics of orthopedic and functional rehabilitation of children with developmental dysplasia of the hip under transosseous osteosynthesis applying: PhD diss.. Kurgan, 2014; 178 p. Russian (Олейников Е.В. Особенности ортопедической и функциональной реабилитации детей с диспластическим коксартрозом в условиях применения чрескостного остеосинтеза: дис. ... канд. мед. наук. Курган, 2014; 178 с.)
6. Skvortsov DV. Locomotion disorders diagnostics using instrumental methods: walking analysis, stabilometrics. Moscow: T.M. Andreeva, 2007; 640 p. Russian (Скворцов Д.В. Диагностика двигательной патологии инструментальными методами: анализ походки, стабилметрия. М.: Т.М. Андреева 2007; 640 с., ил.)
7. Попов Г.И. Biomechanics. Moscow: Izdatel'skiy tsentr «Akademiyu», 2013; 256 p. Russian (Попов Г.И. Биомеханика. М.: Изд. центр «Академия», 2013; 256 с.)
8. Kruchinin PA. Mechanical models in stabilometrics. Russian Journal of Biomechanics 2014; 18 (2): 184–193. Russian (Кручинин П.А. Механические модели в стабилметрии. Российский журнал биомеханики 2014; 18 (2): 184–193.)
9. Samsonova AV. Lecture 2: History of biomechanics. Russian (Самсонова А.В. Лекция 2: История биомеханики). http://allasamsonova.ru/?page_id=1145 (25 July 2015)
10. Murray MP, Drout AB, Korry PC. Working patterns of normal men. J Bone Joint Surg 1964; 46A (2): 335–360.
11. Perry J. Gait analysis. Normal and pathological function. SLACK Inc., 1992; 524 p.
12. Sutherland DH, Olshen R, Cooper L., et al. The development of mature gait. J Bone Joint Surg 1980; 62A (4): 336–353
13. Duarte Marcos, Freitas S. Revision of posturography based on force plate for balance evaluation. Rev Bras Fisioter 2010; 14 (3):183–92.
14. Bershteyn NA. Physiology of locomotion and activity. Moscow: Nauka, 1990; 495 p. Russian (Берштейн Н.А. Физиология движений и активность. М.: Наука, 1990; 495 с.)
15. Gurfinkel VS, Kots YaM, Shik ML. Postural regulation of human beings. Moscow: Nauka, 1965; 265p. Russian (Гурфинкель В.С., Коц Я.М., Шик М.Л. Регуляция позы человека. М.: Наука, 1965; 265 с.)
16. Vitenson AS, Petrushanskaya KA, Spivak BG, et al. Characteristics of biomechanical structure of walking at different ages healthy children. Russian Journal of Biomechanics 2013; 17 (1): 78–93. Russian (Витензон А.С., Петрушанская К.А., Спивак Б.Г. и др. Особенности биомеханической структуры ходьбы у здоровых детей разного возраста. Российский журнал биомеханики 2013; 17 (1): 78–93.)
17. Petrushanskaya KA, Vitenson AS, Gritsenko GP. Correlation of dynamic and electrophysiological parameters for patients of encephalic origin hemiparesis. Russian Journal of Biomechanics 2014; 18 (3): 311–325. Russian (Петрушанская К.А., Витензон А.С., Гриценко Г.П. Соотношение динамических и электрофизиологических параметров у больных с гемипарезом церебрального генеза. Российский журнал биомеханики 2014; 18 (3): 311–325.)
18. Skvortsov DV. Biomechanical methods in rehabilitation of walking and body balance disorders: DSc abstract. Moscow, 2008; 41 p. Russian (Скворцов Д.В. Биомеханические методы в реабилитации патологии походки и баланса тела: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. Москва, 2008; 41 с.)
19. Zhilyaev AA. Biomechanical and electrophysiological criteria of the evaluation of locomotor system of lower extremities: DSc abstract. Moscow, 2003; 31 p. Russian (Жиляев А.А. Биомеханические и электрофизиологические критерии оценки опорно-двигательного аппарата нижних конечностей: автореф. дис. ... д-ра тех. наук. Москва, 2003; 31 с.)
20. Kiselev DA, Grokhovskiy SS, Kubryak OV. Non-surgical treatment of lower extremities support function disorders in orthopedics and neurology with using of specialized stabilometrics device ST-150. Moscow: Maska, 2011; 68 p. Russian (Киселев Д.А., Гроховский С.С., Кубряк О.В. Консервативное лечение нарушений опорной функции нижних конечностей в ортопедии и неврологии с использованием специализированного стабилметрического комплекса ST-150. М.: Маска, 2011; 68 с.)
21. Efimov AP. Informative value of walking biomechanical parameters for evaluation of lower extremities disorders. Russian Journal of Biomechanics 2012; 16 (1): 80–88. Russian (Ефимов А.П. Информативность биомеханических параметров походки для оценки патологии нижних конечностей. Российский журнал биомеханики 2012; 16 (1): 80–88.)
22. Negreeva MB, Shenderov VA, Komogortsev IE, et al. Biomechanical studies in diagnostics, treatment and rehabilitation of patients with lower extremities, pelvic girdle and backbone: results and perspective. Byulleten' VSNTs SO RAMN 2006; 4 (5): 201–206. Russian (Нереева М.Б., Шендеров В.А., Комогорцев И.Е. и др. Биомеханические исследования в диагностике, лечении и реабилитации больных с патологией нижних конечностей, тазового пояса и позвоночника: итоги и перспективы. Бюллетень ВСНЦ СО РАМН 2006; 4 (5): 201–206.)
23. Bezgorodkov YuA, Kornilov NN, Petukhov AI, et al. Biomechanical indicators of standing and walking after total knee replacement with computer navigation. Traumatology and orthopedics of Russia 2011; 4 (62): 11–17. Russian (Безгородков Ю.А., Корнилов Н.Н., Петухов А.И. и др. Биомеханические показатели стояния и походки больных после тотального эндопротезирования коленного сустава с использованием компьютерной навигации. Травматология и ортопедия России 2011; 4 (62): 11–17.)
24. Dolganova TI, Sazonova NV, Men'shikova IA, et al. Diagnostic importance of podography for patients with osteoarthritis of the hip. Sovremennye naukoemkie tekhnologii 2009; (4): 7–13. Russian (Долганова Т.И., Сазонова Н.В., Меньшикова И.А. и др. Диагностическая значимость подографии у больных коксартрозом. Современные наукоемкие технологии 2009; (4): 7–13.)
25. Shevtsov VI, Dolganova TI, Karaseva TYu, Karasev EA. Support foot reactions indicators for patients with knee arthrosis after osteotomy and arthroscopy. Russian Journal of Biomechanics 2009; 13 (3): 83–88. Russian (Шевцов В.И., Долганова Т.И., Карасева Т.Ю., Карасев Е.А. Показатели опорной реакции стоп у больных с гонартрозом после корригирующей остеотомии в сочетании с артроскопией. Российский журнал биомеханики 2009; 13 (3): 83–88.)
26. Buravtsov PP, Shchurov VA, Dolganova TI. Status of locomotor system before and after surgical treatment of patients with dysplastic dislocation of knee cap. Geniy ortopedii 2014; (2): 13–16. Russian (Буравцов П.П., Щуров В.А., Долганова Т.И. Состояние опорно-двигательной системы до и после оперативного лечения больных с диспластическим вывихом надколенника. Гений ортопедии 2014; (2): 13–16.)
27. Shchurov VA, Novikov KI, Muradisinov SO. Influence of lower extremities which are different in height to the biomechanical parameters of body. Russian Journal of Biomechanics 2011; 15 (4): 102–107. Russian (Щуров В.А., Новиков К.И., Мурадисинов С.О. Влияние разницы высоты нижних конечностей на биомеханические параметры ходьбы. Российский журнал биомеханики 2011; 15 (4):102–107.)
28. Davydov OD, Shlykov IL, Kuznetsova NL. Biomechanical evaluation of outcomes of patients with pelvis injuries treatment. Russian Journal of Biomechanics 2011; 15 (2): 84–90. Russian (Давыдов О.Д., Шлыков И.Л., Кузнецова Н.Л. Биомеханическая оценка исходов лечения пациентов с травмой таза. Российский журнал биомеханики 2011; 15 (2): 84–90.)
29. Normes 85. France, Paris, 1985.
30. Schubert P, Kirchner M, Schmidtbleicher D, Christian T. Haas About the structure of posturography: Sampling duration, parametrization, focus of attention (part I) J Biomedical Science and Engineering 2012; (5): 496–507.
31. L'vov SE, Kuz'min AM, Kirpichev IV. Stabilometric evaluation of patient treatment outcomes for the patients with neck of femur fractures. Traumatology and orthopedics of Russia 2007; 1 (43): 16–20. Russian (Львов С.Е., Кузьмин А.М., Киричев И.В. Стабилографическая оценка исходов лечения больных после лечения переломов шейки бедренной кости. Травматология и ортопедия России 2007; 1 (43): 16–20.)

32. Matveev RP, Bragina SV. Orthopedic indicators dynamics at knee arthrosis after total replacement and rehabilitation. *Geniy ortopedii* 2014; (1): 9–12. Russian (Матвеев Р.П., Брагин А.С. В. Динамика ортопедических показателей при гонартрозе после тотального эндопротезирования и реабилитационного лечения. *Гений ортопедии* 2014; (1): 9–12.)
33. Methods of the evaluation of rehabilitation effectiveness of prosthetic repair of lower extremities: GOST R 53871–2010. Moscow: Standartinform, 2012; 11 p. Russian (Методы оценки реабилитационной эффективности протезирования нижних конечностей: ГОСТ Р 53871–2010. М.: Стандартинформ 2012; 11 с.)
34. Gusev AV, Savchenko VV, Akimova TN, et al. Interrelation between the rate of primary disablement of persons with locomotor system injuries consequences and medical care quality. *Mediko-sotsial'naya ekspertiza i reabilitatsiya* 2005; (3): 45–47. Russian (Гусев А.В., Савченко В.В., Акимова Т.Н. и др. Взаимосвязь уровня первичной инвалидности лиц с последствиями травм опорно-двигательного аппарата и качества оказания медицинской помощи. *Медико-социальная экспертиза и реабилитация* 2005; (3): 45–47.)
35. Ivanov AN, Fedonnikov AS, Norkin IA, et al. The correction of microcirculatory disorders in strategies of management of osteoarthritis and osteochondropathies. *Medical Journal of the Russian Federation* 2015; 21 (1): 18–23. Russian (Иванов А.Н., Федонников А.С., Норкин И.А. и др. Коррекция микроциркуляторных нарушений в стратегиях менеджмента остеоартрита и остеохондропатий. *Российский медицинский журнал*. 2015; 21 (1): 18–23.)
36. Kovalenko AN, Shubnyakov II, Tikhilov RM, et al. Do new and more expensive implants better result of hip replacement? *Traumatology and orthopedics of Russia* 2015; (1): 5–20. Russian (Коваленко А.Н., Шубняков И.И., Тихилов Р.М. и др. Обеспечивают ли новые и более дорогие импланты лучший результат эндопротезирования тазобедренного сустава? *Травматология и ортопедия России* 2015; (1): 5–20.)
37. Udartsev EYu. Syndrome and pathogenetic approach to medical rehabilitation of patients after total hip and knee replacement. *Traumatology and orthopedics of Russia* 2011; (2): 30–36. Russian (Ударцев Е.Ю. Синдромно-патогенетический подход к медицинской реабилитации больных после тотального эндопротезирования тазобедренного и коленного суставов. *Травматология и ортопедия России* 2011; (2): 30–36.)
38. National Clinical Guideline Centre. Osteoarthritis. Care and management in adults. London (UK): National Institute for Health and Care Excellence (NICE). 2014 Feb. 556 p. (Clinical guideline; no. 177).
39. Nasonova EL, ed. Clinical guidelines: Rheumatology. Pod red. Moscow: GEOTAR-media; 2005; 288 p. Russian (Клинические рекомендации: Ревматология. Под ред. Е.Л. Насонова. М.: ГЭОТАР-медиа, 2005; 288 с.)
40. Samorodskaya IV. Treatment of patients with osteoarthritis against new NICE recommendations. *Medical Journal of the Russian Federation: Rheumatology* 2014; 31. Russian (Самородская И.В. Ведение пациентов с остеоартритом в соответствии с новыми рекомендациями NICE. *Русский медицинский журнал Ревматология* 2014; 31.)
41. Chegurov OK, Kolesnikov SV, Kolesnikova ES, et al. Functional status evaluation for patients with different aetiopatogenetic variations of the hip arthrosis at III stage 2013; (4): 13–16. Russian (Чегуров О.К., Колесников С.В., Колесникова Э.С. и др. Оценка функционального статуса у больных с различными этиопатогенетическими вариантами коксартроза III стадии. *Гений ортопедии* 2013; (4): 13–16.)
42. Sazonova NV, Shchurov VA, Dolganova TI. Diagnostic criteria of podography and dynamometry for patients with osteoarthritis. *Byulleten' VSNTs SO RAMN* 2007; (6): 119–122. Russian (Сазонова Н.В., Щуров В.А., Долганова Т.И. Диагностические критерии подографии и динамометрии у пациентов с остеоартрозами. *Бюллетень ВСНЦ СО РАМН* 2007; (6): 119–122.)