

ОБЗОРЫ. ЛЕКЦИИ. ДОКЛАДЫ

ОБЪЕКТИВНЫЙ КЛИНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОХОДКИ. ОБЗОР

УДК 616.8-009; 616.7

Иванова Г.Е., Скворцов Д.В.

ГБОУ ВПО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И.Пирогова»,
Москва, Россия

AN OBJECTIV CLINICAL GAIT ANALYSIS A SURVAY. OVERVIEW

Ivanova GE., Skvortsov DV.

Russian National Research Medical University n.a. N.I. Pirogov, Moscow, Russia

Введение

Инструментальное исследование функции ходьбы, как клиническое направление оформилось к 80-м годам прошлого века. Тогда же появились первые фундаментальные руководства. Это, одни из первых монографий (Inman V.T., Ralston H.J., Told F., 1981; Sutherland D.H. et al., 1980; Basmajian J.V., Deluca C.J., 1986). Данная отрасль медицины получила широкое распространение и название – клинический анализ походки (Clinical Gait Analysis – CGA). Последующие исследования определили более точно методики, нормативы (Winter D.A., 1990; 1991; Gage J.R., 1991; Whittle M.W., 1991; Perry J., 1992; Vaughan C.L., Davis B.L., O'Connor J., 1992).

Последующие работы позволили утвердить стандарты (Wu G., Cavanagh P.R., 1995; Wu G. et al., 2002; 2005). Кроме стандартов, подготовленных международными научными сообществами, в ряде стран имеются национальные (IPEM).

В конце прошлого, начале текущего века появились отечественные руководства по анализу походки (Витензон А.С., 1998; Скворцов Д.В. 1996; 2007).

Ходьба стала использоваться для диагностики двигательной патологии не случайно. Это филогенетически древний, хорошо автоматизированный, циклический двигательный акт. В нём, что не маловажно, участвует весь опорно-двигательный аппарат. Поэтому ходьба в качестве двигательного теста может быть использована не только при патологии нижних конечностей, но и вышележащих отделов опорно-двигательной системы.

Среди основных специальностей – потребителей функциональной информации, можно назвать следующие: реабилитация и, особенно ЛФК, неврология, ортопедия-травматология, протезирование, вертеброневрология, ревматология, спортивная медицина, оториноларингология, офтальмология, остеопатия, мануальная медицина и некоторые другие специальности.

По цели применения клинического анализа походки, они могут подразделяться на следующие основные:

- Функциональная диагностика двигательной патологии, формирование функционального компонента диагноза;
- Планирование процесса реабилитации: решение вопроса о характере и последовательности лечебных воздействий, включая и оперативное лечение, где проводится моделирование результата оперативного лечения;
- Прогнозирование результата лечения;
- Динамическое наблюдение: проведение периодического (возможно ежедневного) контроля проводимого лечения: лечения физическими факторами, ЛФК, медикаментозной терапии и т.д., для своевременной корректировки – управление процессом реабилитации на основе принципа обратной связи с получаемым результатом;
- Оценка отдаленного результата и долговременное прогнозирование.

В настоящее время в развитых странах клинический анализ походки (КАП) используется во многих лечебных учреждениях для практической лечебной работы, особенно при планировании оперативных вмешательств и в работе страховых компаний. Значительную роль КАП имеет при лечении церебрального паралича (Watts H.G. 1994; Narayanan U.G. 2007). Применение анализа движений позволило существенно изменить не только результаты лечения, но и сам подход, и понимание проблемы в силу наличия возможности изучения как самой нарушенной функции, так и результата лечебного воздействия на нее. По заключению одного из ведущих зарубежных специалистов в области церебрального паралича доктора J.R.Gage (1993) (США): «Анализ походки радикально изменил лечение церебрального паралича». Это относится и к отдельным распространённым синдромам, таким как гемиплегия (Olney S.J., Griffin M.P., McBride I.D., 1994). Рандомизированные исследования (Wren T.A. et al., 2009) показывают, что использование КАП существенно изменяет, как собственно лечение, так и процесс принятия решения. При

этом КАП не только может значительно изменить применяемое лечение, когда принятый до этого исследования план лечения противоречит данным КАП, но и способен укрепить и дополнить план лечения, когда полученные данные ему не противоречат. В последние годы, значительное количество когортных и других исследований, показало взаимоотношение между выполненным КАП и исходами лечения. Эти исследования доказывают, что результаты лечения и, собственно, функция ходьбы существенно лучше, в тех случаях, когда план лечения основан на данных КАП (Wren T.A. et al., 2011).

Опубликованные работы показывают и экономическую эффективность КАП (Wren T.A. et al., 2009). По данным (Schwartz M.H. et al., 2004) уменьшение количества хирургических вмешательств у больных с церебральным параличом было достигнуто без дополнительных расходов посредством выполнения анализа походки пациента, что дало возможность хирургам одновременно выполнять многокомпонентное оперативное вмешательство (single-event multi-level surgery – SEMLS).

Однако КАП не может быть реально проведён физическим обследованием пациента с помощью органов чувств или рутинными инструментальными методами. Для этого необходима специальная аппаратура.

В современной медицине стандартом КАП является синхронная регистрация следующих двигательных параметров:

- Временные,
- Кинематические,
- Динамические,
- Функциональная ЭМГ.

Временные параметры позволяют регистрировать структуру цикла шага, что уже само по себе позволяет проводить диагностику отдельных распространённых состояний. Кроме этого, вся информация по другим методикам, в конечном счёте, после обработки представляется в формате цикла шага. Некоторые комплексы регистрации временных характеристик цикла шага позволяют получить данные по пространственным (длина, ширина, шага, угол разворота стопы, скорость ходьбы). В других случаях, эта информация может быть извлечена при регистрации кинематических характеристик.

Кинематические характеристики – класс весьма многообразных параметров, которые включают, как движения в суставах, так и сегментов тела, а так же их траектории. В стандартном отчёте обычно представляются гониограммы движений в тазобедренном, коленном и голеностопном суставах, а так же движений таза. Вся информация выводится в трёх взаимно перпендикулярных плоскостях: сгибание-разгибание, отведение-приведение и ротация.

Динамические, т.е. силовые, характеристики регистрируются динамометрической платформой, которая установлена вровень с полом. При проходе по ней обследуемого получаем графики трёх составляющих реакции опоры: вертикальная, продольная, поперечная и траекторию равнодействующей реакции опоры.

Функциональная ЭМГ, как правило, многоканальная, регистрируется во время ходьбы и позволяет оценить правильность автоматизма работы мышц.

Кроме объективных инструментальных методов исследования в клинике широко применяются различного рода шкалы, которые позволяют несколько объективизировать субъективные впечатления врача. Шкалы,

на сегодня, разработано достаточно много. Обзор их была посвящена отдельная статья (Скворцов Д.В. с соавт., 2013).

В данной работе мы попробуем представить доступные методы анализа походки в соответствии со сложившимся стандартом исследования.

Методы клинического анализа походки

Самым простым методом определения базовых временных и пространственных характеристик цикла шага является исследование с применением секундомера и мерной дистанции. Во время прохода отмечается количество шагов каждой ногой и общее время прохода. Далее производится простой арифметический подсчёт, который позволяет получить среднее время цикла шага, среднюю скорость ходьбы и длину шага.

Преимущества данного метода очевидны – простота и возможность выполнения практически в любых условиях. Ограничения – невозможность регистрации длительности цикла шага для каждой ноги и других периодов цикла шага. Кроме этого, точность данного метода весьма низка, что связано и с ручным методом получения информации и рядом методических ограничений.

Корректные параметры и во всей их полноте, возможно, получить только посредством инструментальных методов. Здесь набор довольно велик, хотя большая часть оборудования является импортным.

Наиболее популярными в зарубежных лабораториях остаются специальные сенсорные дорожки-коврики GaitRite и др. (рис. 1).



Рис. 1. На фото слева комплекс «GAITRite», справа «Walkway™ System» компании «Tekscan».

Данные устройства позволяют получать все основные временные и пространственные характеристики ходьбы автоматически при регистрации одного прохода обследуемого по такому сенсорному коврику. Получаемые параметры представлены в существующем стандарте в сравнении с нормой.

Имеются другие устройства с контактными сенсорами-стельками, которые так же позволяют автоматически рассчитывать временные параметры цикла шага (рис. 2).



Рис. 2. Пример комплекса с сенсорными стельками (слева) и пододинамометрической платформой (справа).

Более сложные и дорогие системы, которые содержат сенсорные стельки, регистрирующие давление под стопой с различным дискретом, так же позволяют получить кроме основных данных для систем характеристик (распределение давления под стопой стоя и во время ходьбы) временные характеристики цикла шага. Некоторые из них, в качестве регистрирующей части имеют коврик из сенсоров давления, который позволяет, хотя и на небольшом отрезке, регистрировать и пространственные характеристики ходьбы. Данные системы, первично ориентированы на другие задачи и расчёт временных характеристик цикла шага в них является побочным и требует ручной обработки, что не даёт возможности их отнести к классу систем для быстрого обследования. Кроме этого их стоимость так же велика. В целом, использовать оборудование этого класса для регистрации временных характеристик цикла шага – это неоправданно сложное и дорогое решение.

Надо отметить, что контактные методики для задачи регистрации временных характеристик цикла шага имеют целый ряд ограничений. Одно из существенных – наличие порога срабатывания. Данное ограничение менее значимо для пододинамометрических методов, поскольку в них имеется возможность установить низкий порог.

Однако решение нашлось в другом принципе регистрации. В последние годы появились новые средства изучения временных характеристик цикла шага, которые обладают существенными преимуществами перед предшествующими, поскольку не являются контактными. Это различного рода инерционные датчики (рис. 3), которые фиксируются непосредственно на стопы обследуемого («Gait Up», «Xsens» и др.). «Gait Up» (Швейцария) имеет готовые методики для автоматической регистрации и расчёта временных характеристик цикла шага. Комплекс «Xsens» (Нидерланды) так же позволяет сделать это, но для него эта задача не специализирована и требует больше времени на ручную обработку данных.

В настоящее время, устройства данного типа активно разрабатываются и предлагаются для клинического использования ввиду их удобства и существенно ниже стоимости.

Методы исследования кинематических характеристик

Кинематические характеристики, как правило, исследуются сразу во всех крупных суставах обеих нижних конечностей. Особенность регистрации кинематики движений в суставах нижних конечностей в том, что формат представления данных – тот же. Это цикл шага.



Рис. 3. Швейцарская система регистрации временных характеристик шага GaitUp

Основные движения для тазобедренного, коленного и голеностопного суставов при ходьбе производятся в сагитальной плоскости, т.е. это движения сгибания-разгибания. Кроме этого, в тазобедренном суставе имеются движения ротации и отведения приведения. В здоровом коленном суставе движения в этих плоскостях отсутствуют, но могут иметь место при повреждении связочного аппарата. Голеностопный сустав является, по сути, одноосевым. Но комплекс голеностопного, подтаранного и Шопарова сустава производит движения супинации-пронации и ротации. Поэтому для более точного исследования движений между голенью и стопой применяются методы пространственной регистрации движений.

В простых случаях регистрируются только движения сгибания-разгибания, но, чаще всего, требуется более подробная картина движений. В этом случае применяются методы пространственной регистрации.

Золотым стандартом регистрации кинематики движений в суставах является метод видеоанализа (рис. 4). Но это имеет отношение только к определённой тех-

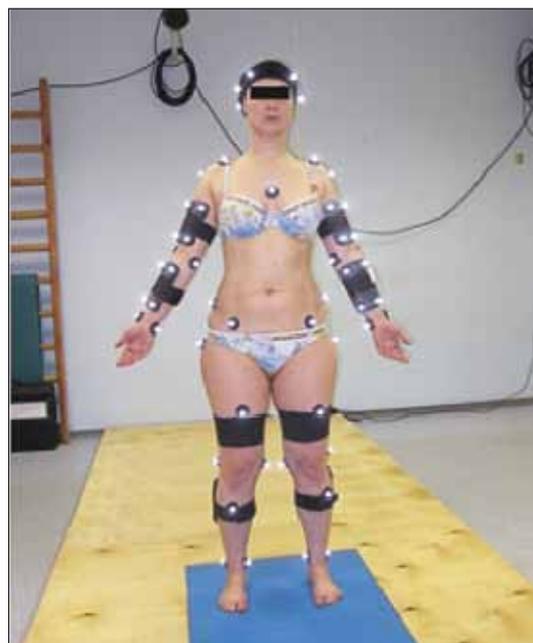


Рис. 4. Внешний вид обследуемого для проведения исследования кинематики движений, вверху видны две видеокамеры системы «Qualysis».

нической реализации данного метода, а не вообще к видеотехнике. Это тем более важно, что в силу разных причин отечественному врачу, не имеющему даже приблизительного представления, что представляет метод видеонализа в его клинической реализации, может быть предложено, что-то совершенно не отвечающее необходимым требованиям.

Современные видеосистемы для проведения исследования кинематики движений в клинических условиях представляют собой весьма зрелые конструкции, которые прошли стадию формирования несколько десятилетий назад. Применение их для рутинного клинического анализа в существующих условиях не является рациональным. Стоимость оборудования и собственно обследования, пропускная способность такой лаборатории и требуемое для неё помещение выходят за рамки возможностей традиционных лечебных учреждений.

Последние годы ведутся активные разработки на основе алгоритмов распознавания образов, в том числе и для оценки движений в суставах нижних конечностей при ходьбе. Данные системы имеют хорошие перспективы, но в настоящее время, ещё не готовы для клинического применения.

Другой тип приборов – электрогониометры. Применение данных приборов для регистрации движений в суставах уже практически не применяется.

Существуют промышленные системы для регистрации движений в суставах тела человека на основе магнитных трекеров, но применимых в клинике комплексов на этом принципе пока не создано.

Германской компанией разработан «Zebris» (рис. 5), который позволяет регистрировать движения в суставах нижних конечностей при ходьбе. Но используемый в нём принцип – ультразвук позволяет проводить исследование ходьбы только на тредмиле.

Единственными комплексами, которые в настоящее время, позволяют их использовать в обычной клини-



Рис. 5. Исследование походки на комплексе «Zebris».

ческой практике для регистрации кинематики движений в суставах – являются системы с использованием инерционных сенсоров. Собственно инерционных сенсоров разработано и производится достаточно много. Но, имеющих конструкцию и программное обеспечение, которое позволяет их применять в клинике – весьма немного (рис. 6).

Xsens – многозадачный комплекс, который может



Рис. 6. Комплексы анализа движений с инерционными сенсорами. Слева – STT Systems, справа – Xsens.

так же регистрировать и движения в суставах при ходьбе или других движениях. Его многозадачность имеет и другую сторону – получение нужной информации требует определённого времени для обработки. Тем не менее, созданное программное обеспечение позволяет для стандартного исследования получить стандартизированные гониограммы движений в тазобедренных, коленных и голеностопных суставах, повороты таза в трёх плоскостях, временные характеристики цикла шага и ЭМГ выбранных для исследования мышц. К одному из существенных достоинств комплексов на базе инерционных сенсоров стоит добавить, то, что на данной аппаратуре можно проводить исследование в любом подходящем помещении, даже при его временном использовании. Данный вариант практически исключён при эксплуатации полноформатных систем видеонализа. Требуемые для их установки помещения должны иметь 80–100 м² и более. Перед исследованием требуется калибровка рабочей зоны и другие действия, которые существенно увеличивают время обследования и трудозатраты.

Методы исследования динамических параметров Динамические параметры принято исследовать с помощью специальных приборов – динамометрических платформ (рис. 7). При этом применяются платформы, установленные вровень с полом, которые регистрируют три составляющие реакции опоры: вер-



Рис. 7. Трёхкомпонентные динамометрические платформы. Слева – «Kistler», справа – «Bertec».

тикальную, продольную и поперечную при проходе по ним пациента. Таким образом, для полноценного анализа могут применяться платформы, регистрирующие все три компонента. Такие в мире производятся только тремя компаниями: «АМТИ» (США), «Bertec» (США) и «Kistler» (Швейцария). Платформы имеют собственное программное обеспечение, ориентированное, правда, на исследователя. Обработка их информации в клинических целях производится, как правило, в специализированных программных пакетах соответствующих систем регистрации кинематики движений или специальных программных пакетах обработки данных всего исследования.

В России приборы данного класса не производятся. В ряде случаев применяются платформы стабилметрические (регистрируют только вертикальную составляющую реакции опоры) различных производителей, включая отечественных.

Кроме динамометрических платформ некоторое представление о вертикальной составляющей позволяют получить комплексы для регистрации давления под стопой во время ходьбы даже с использованием динамометрических стелек. Однако, более корректно эта информация может быть получена посредством динамометрических матов. Надо отметить, что данного рода приборы в России так же не производятся.

Следует отметить, что информация, получаемая с динамометрической платформы – информация стратегическая. Ни один другой метод исследования её не дублирует и не позволяет получить. Вертикальная составляющая позволяет оценить динамическую оппороспособность конечности, диагностировать и прогнозировать течение ряда заболеваний. Продольная составляющая – показывает возможность активного торможения и ускорения. Поперечная составляющая – индикатор функции баланса, особенно в самом критичном периоде одиночной опоры.

Методы исследования функции мышц

Для регистрации включения мышц в процессе ходьбы применяется метод поверхностной ЭМГ. Данный метод используется не первое десятилетие, поэтому является достаточно зрелым с точки зрения применяемой методики. Особенность регистрации ЭМГ, а точнее, профиля биоэлектрической активности мышц в цикле шага в том, что нужно избежать существенных помех, которые являются следствием передвижения пациента и работы многих групп мышц. Поэтому приборы для такой регистрации, как правило, содержат предварительный усилитель сигнала непосредственно вблизи электродов, либо, в последние годы – автономный ЭМГ канал, который в силу миниатюрности производит усиление и последующую обработку сигнала непосредственно в месте его получения. Этот тип приборов передаёт данные посредством радиоканала (рис. 8).

В реальных условиях отечественной клинической практики доступны следующие типы приборов для регистрации ЭМГ: «ME6000» производства Финляндии, ЭМГ регистратор комплекса «Elite» итальянской компании «BTS». «ME6000» содержит в носимом блоке 16 каналов ЭМГ, которые соединяются посредством кабелей (по два канала на один разъём). Передача данных из носимого блока осуществляется посредством радиоканала. ЭМГ регистратор компании «BTS» имеет автономные каналы регистрации ЭМГ (до 16-ти каналов) с передачей данных по радиоканалу.

Комплексное клиническое исследование походки

Как можно увидеть из приведённого краткого обзора, существующие методы и комплексы для исследования походки позволяют регистрировать различные параметры и их комбинации. Однако полноценное клиническое исследование походки требует одновременного использования разных методик исследования. Ни один из серийных комплексов не содержит в своём составе все необходимые методы.



Рис. 8. Приборы регистрации функциональной ЭМГ. Слева – ME 6000, в центре – BTS, справа – Noraxon.

Таким образом, для полноценного клинического исследования функции ходьбы необходима комбинация нескольких методов исследования.

Особенностью данного исследования является то, что все используемые методики (как правило, разных производителей) требуются синхронизировать с точностью не менее 0,01 с. Это необходимо вследствие того, что собственно цикл шага относительно невелик по времени (около 1 с) и протекающие в нём процессы носят быстропротекающий характер. В мощных комплексах для клинического анализа движений, основанных на видеотехнике, таких, как «Qualysis», «Vicon», «Elite» – вопрос синхронизации и подключения различного стороннего оборудования решается наличием специального блока сопряжения, в который, и приходит информация от всех используемых приборов. Однако, перечисленные комплексы – это, на сегодня, высший уровень решения данной задачи. Решение качественное, дорогое и в наших реальных условиях, мало применимое для практической работы. К сожалению, остальные варианты оказываются в той или иной мере некомплектными. При этом основа любого такого комплекса – это система регистрации кинематических данных, поскольку именно она является самой сложной и дорогой. Проведённый недавно обзор используемых средств анализа походки по данным публикаций 2012–2013 годов (Muro-de-la-Herran A., Garcia-Zapirain B., Mendez-Zorrilla A., 2014) показал, что 40% авторов используют стационарные системы регистрации, но уже 37,5% получают данные посредством систем, основанных на инерционных сенсорах, и 22,5% пользуются другими типами портативных, носимых систем.

Наиболее бюджетным методом регистрации кинематических данных, в настоящее время, являются системы с применением инерционных сенсоров. Данные системы позволяют получать полноценную картину кинематики движений суставов и сегментов тела во времени и отчасти, в пространстве. Кроме этого, используемые в инерционных сенсорах датчики позволяют с высокой точностью и безконтактно регистрировать временные параметры цикла шага или другого движения. Таким образом, две из пяти методик реализуются посредством данных сенсоров. Синхронная регистрация ЭМГ требует подключения дополнительного ЭМГ-регистратора. Это возможно сделать

без использования специального дополнительного синхронизирующего блока. Например, «MEGA6000» имеет собственный беспроводной интерфейс подключения к компьютеру. Правда, синхронизация в этом варианте осуществляется только средствами операционной системы, что существенно ниже требуемых критериев. Однако, остаётся вполне приемлемым для большинства клинических задач. Другой вопрос в том, что программное обеспечение системы кинематики должно иметь возможность работать и с данными ЭМГ регистратора. В имеющихся коммерческих системах такого продукта пока нет. Но, оборудование американской компании Noraxon имеет два вида сенсоров, работающие синхронно – инерционные для регистрации кинематики движений и ЭМГ. Однако, имеющееся программное обеспечение пока не ориентировано для классического анализа походки, хотя и позволяет его выполнить.

Таким образом, для трёх методик существует и техническое решение, и доступное предложение на отечественном медицинском рынке. При том, что пространственные параметры занимают незначительный удельный вес в общем пуле рассматриваемых показателей, остаётся не закрытым вопрос о синхронном получении данных динамометрических. Как было отмечено выше, трёхкомпонентные динамометрические платформы производятся только за рубежом. Данное изделие независимо от производителя является достаточно дорогим. Кроме этого, при использовании бюджетных систем регистрации остаётся проблема не столько синхронизации (современные динамометрические платформы, так же имеют собственный интерфейс подключения к компьютеру), сколько с получением данных и их анализом в одном программном пакете. Так голландский «Xsens» использует пакет стороннего производителя, многофункциональный и качественно выполненный (надо отметить, сильно избыточный для рассматриваемой задачи), но и дорогой и имеющий сложный внутренний интерфейс.

Таким образом, имеются различные варианты оборудования для исследования функции ходьбы. Комплексы приборов существенно отличаются не только по стоимости, но и требованиям эксплуатации, трудозатратам на одно исследование и другим параметрам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Витензон А.С. Закономерности нормальной и патологической ходьбы человека. – М.: ООО «Зеркало», 1998. – 271 с.
2. Скворцов Д.В. Клинический анализ движений, анализ походки. – М., 1996. – 344 с.
3. Скворцов Д.В. – Диагностика двигательной патологии инструментальными методами: анализ походки, стабилметрия. Москва, Т.М. Андреева, 2007, 617 с.
4. Скворцов Д.В., Иванова Г.Е., Поляев Б.А., Стаховская Л.В. Диагностика и тестирование двигательной патологии инструментальными методами. // Вестник восстановительной медицины. №5, 2013, с. 74–78.
5. Basmajian J.V., DeLuca C.J. Muscles Alive: their functions revealed by electromyography. – Baltimore: Williams & Wilkins, 1986.
6. Gage J.R. Gait analysis in cerebral palsy. – Mac Keith Press, 1991. – P.206.
7. Gage J.R. Gait analysis. An essential tool in the treatment of cerebral palsy // Clin. Orthop. – 1993. – Vol.288. – P. 126–134.
8. Inman V.T., Ralston H.J., Told F. Human Walking. – Baltimore: Williams & Wilkins, 1981. – 154 p.
9. IPEM – Clinical Scientists in Clinical Movement Analysis: Standards for Practice. http://www.ipem.ac.uk/Portals/0/Documents/Publications/Policy%20Statements/IPEM_CMA_Standards_030812%20-%20%28New%20format%29.pdf
10. Muro-de-la-Herran A., Garcia-Zapirain B., Mendez-Zorrilla A. Gait analysis methods: an overview of wearable and non-wearable systems, highlighting clinical applications. Sensors (Basel). 2014 Feb 19; 14 (2): 3362–94.
11. Narayanan U.G. The role of gait analysis in the orthopaedic management of ambulatory cerebral palsy. Curr Opin Pediatr 2007; 19:38–43.
12. Olney S.J., Griffin M.P., McBride I.D., Temporal, kinematic, and kinetic variables related to gait speed in subjects with hemiplegia: a regression approach. Phys Ther. 1994 Sep; 74 (9): 872–85.
13. Perry J. Gait analysis. Normal and pathological function. – SLACK Incorporated, 1992. – 524 p.
14. Schwartz M.H., Viehweger E., Stout J., Novacheck T.F., Gage J.R. Comprehensive treatment of ambulatory children with cerebral palsy: an outcome assessment. J Pediatr Orthop 2004; 24: 45–53.
15. Sutherland D.H., Olshen R., Cooper L. et al. The development of mature gait // J. Bone Joint Surg. – 1980. – Vol.62A, N4. – P.336-353.

16. Vaughan C.L., Davis B.L., O'Connor J. – Dynamics of Human Gait. Champaign, IL: Human Kinetics, 1992, 1st edition
17. Watts H.G. Gait laboratory analysis for preoperative decision making in spastic cerebral palsy: is it all it's cracked up to be? *J Pediatr Orthop* 1994; 14:703–4.
18. Whittle M.W. Gait analysis: an introduction. – Butterworth Heinemann, 1991. – 230 p.
19. Winter D.A. Biomechanics and motor control of Human movement. – N.-Y., Chichster, Toronto, Singapore: John Wiley & Sons, 1990. – 277 p.
20. Winter D.A. The biomechanics and motor control of human gait. – Waterloo, Ontario: University of Waterloo Press, 1991. – 143 p.
21. Wren T.A., Kalisvaart M.M., Ghatan C.E., Rethlefsen S.A., Hara R., Sheng M., Chan L.S., Kay R.M. Effects of preoperative gait analysis on costs and amount of surgery. *J Pediatr Orthop*. 2009 Sep; 29 (6): 558–63.
22. Wren T.A., Bowen R.E., Otsuka N.Y., Scaduto A.A., Chan L.S., Sheng M., Hara R., Kay R.M. – Influence of gait analysis on decision-making for lower extremity surgery. *Dev Med Child Neurol* 2009; 51: 1.
23. Wren T.A., Gorton G.E., Ounpuu S., Tucker C.A. – Efficacy of clinical gait analysis: A systematic review. *Gait Posture*. 2011 Jun; 34(2): 149–53.
24. Wu G., Cavanagh P.R. ISB recommendations for standardization in the reporting of kinematic data // *J. Biomech.* – 1995. – Vol.28. – P.1257–1261.
25. Wu G., van der Helm F.C., Veeger H.E. et al. ISB recommendation on definitions of joint coordinate systems of various joints for the reporting of human joint motion. Part II: shoulder, elbow, wrist and hand // *J. Biomech.* – 2005. – Vol. 38, N5. – P. 981–992.
26. Wu G., Siegler S., Allard P. et al. ISB recommendation on definitions of joint coordinate system of various joints for the reporting of human joint motion. Part I: ankle, hip, and spine // *J. Biomech.* – 2002. – Vol.35, N4. – P. 543–548.

REFERENCES:

1. Vitenzon AS. Patterns of normal and pathological man's walking. – M.: OOO "Mirror", 1998. – 271 p.
2. Skvortsov DV. Clinical analysis of the movements, gait analysis. – M., 1996. – 344 p.
3. Skvortsov DV. Diagnosis of motor pathology instrumental methods: gait analysis, stabilometry. Moscow, TM Andreeva, 2007 617 p.
4. Skvortsov DV, Ivanova GE, Polyayev BA, Stakhovskaya LV. Diagnostics and testing of motor pathology. // *Journal of restorative medicine*. №5, 2013, pp. 74–78.
5. Basmajian J.V., DeLuca C.J. *Muscles Alive: their functions revealed by electromyography*. – Baltimore: Williams & Wilkins, 1986.
6. Gage J.R. Gait analysis in cerebral palsy. – Mac Keith Press, 1991. – P.206.
7. Gage J.R. Gait analysis. An essential tool in the treatment of cerebral palsy // *Clin. Orthop.* – 1993. – Vol.288. – P. 126–134.
8. Inman V.T., Ralston H.J., Told F. *Human Walking*. – Baltimore: Williams & Wilkins, 1981. – 154 p.
9. IPEM – Clinical Scientists in Clinical Movement Analysis: Standards for Practice. http://www.ipem.ac.uk/Portals/0/Documents/Publications/Policy%20Statements/IPEM_CMA_Standards_030812%20-%20%28New%20format%29.pdf.
10. Muro-de-la-Herran A., Garcia-Zapirain B., Mendez-Zorrilla A. Gait analysis methods: an overview of wearable and non-wearable systems, highlighting clinical applications. *Sensors (Basel)*. 2014 Feb 19; 14 (2): 3362–94.
11. Narayanan U.G. The role of gait analysis in the orthopaedic management of ambulatory cerebral palsy. *Curr Opin Pediatr* 2007; 19:38–43.
12. Olney S.J., Griffin M.P., McBride I.D., Temporal, kinematic, and kinetic variables related to gait speed in subjects with hemiplegia: a regression approach. *Phys Ther*. 1994 Sep; 74 (9): 872–85.
13. Perry J. Gait analysis. Normal and pathological function. – SLACK Incorporated, 1992. – 524 p.
14. Schwartz M.H., Viehweger E., Stout J., Novacheck T.F., Gage J.R. Comprehensive treatment of ambulatory children with cerebral palsy: an outcome assessment. *J Pediatr Orthop* 2004; 24: 45–53.
15. Sutherland D.H., Olshen R., Cooper L. et al. The development of mature gait // *J. Bone Joint Surg.* – 1980. – Vol.62A, N4. – P. 336–353.
16. Vaughan C.L., Davis B.L., O'Connor J. – Dynamics of Human Gait. Champaign, IL: Human Kinetics, 1992, 1st edition.
17. Watts H.G. Gait laboratory analysis for preoperative decision making in spastic cerebral palsy: is it all it's cracked up to be? *J Pediatr Orthop* 1994; 14: 703–4.
18. Whittle M.W. Gait analysis: an introduction. – Butterworth Heinemann, 1991. – 230 p.
19. Winter D.A. Biomechanics and motor control of Human movement. – N.-Y., Chichster, Toronto, Singapore: John Wiley & Sons, 1990. – 277 p.
20. Winter D.A. The biomechanics and motor control of human gait. – Waterloo, Ontario: University of Waterloo Press, 1991. – 143 p.
21. Wren T.A., Kalisvaart M.M., Ghatan C.E., Rethlefsen S.A., Hara R., Sheng M., Chan L.S., Kay R.M. Effects of preoperative gait analysis on costs and amount of surgery. *J Pediatr Orthop*. 2009 Sep; 29 (6): 558–63.
22. Wren T.A., Bowen R.E., Otsuka N.Y., Scaduto A.A., Chan L.S., Sheng M., Hara R., Kay R.M. – Influence of gait analysis on decision-making for lower extremity surgery. *Dev Med Child Neurol* 2009; 51: 1.
23. Wren T.A., Gorton G.E., Ounpuu S., Tucker C.A. – Efficacy of clinical gait analysis: A systematic review. *Gait Posture*. 2011 Jun; 34 (2): 149–53.
24. Wu G., Cavanagh P.R. ISB recommendations for standardization in the reporting of kinematic data // *J. Biomech.* – 1995. – Vol.28. – P. 1257–1261.
25. Wu G., van der Helm F.C., Veeger H.E. et al. ISB recommendation on definitions of joint coordinate systems of various joints for the reporting of human joint motion. Part II: shoulder, elbow, wrist and hand // *J. Biomech.* – 2005. – Vol.38, N5. – P. 981–992.
26. Wu G., Siegler S., Allard P. et al. ISB recommendation on definitions of joint coordinate system of various joints for the reporting of human joint motion. Part I: ankle, hip, and spine // *J. Biomech.* – 2002. – Vol.35, N4. – P. 543–548.

РЕЗЮМЕ

Работа посвящена обзору инструментальных методов для клинического анализа походки (КАП). КАП применяется для проведения функциональной диагностики двигательной патологии всей опорно-двигательной системы. При этом ходьба, как хорошо автоматизированная циклическая локомоция, включающая работу всего опорно-двигательного аппарата, используется, как функциональный тест. В последние десятилетия КАП существенно изменил подходы к лечению, особенно хирургическому различным заболеваниям, сопровождающихся нарушением функции ходьбы. Это не только заболевание собственно нижних конечностей и их крупных суставов, но и позвоночника, центральной и периферической нервной системы.

В настоящее время сформированы группы методов, которые являются обязательными для проведения клинического исследования. Основные группы методов исследования это регистрация кинематики, временных, пространственных, динамических параметров и функциональной электромиографии. Кинематика регистрируется, в основном двумя классами систем – видеосистемами (золотой стандарт) и новыми техническими средствами на базе безплатформенных инерционных датчиков. Основной информацией данного метода являются гониограммы (графики) функции движений в крупных суставах, движения таза и других сегментов тела. Временные и пространственные характеристики регистрируются, как правило, одним прибором – специальными дорожками, которые позволяют определить параметры функциональных единиц цикла шага, длину, ширину

шага, скорость ходьбы и др. Для регистрации динамических параметров применяются динамометрические платформы, регистрирующие усилия, развиваемые во время прохода по платформе. Для проведения функциональной миографии применяются специальные многоканальные телеметрические миографы, которые позволяют регистрировать поверхностную миограмму во время движения.

Международными профессиональными организациями предложены методические стандарты для анализа и описания выявленных изменений.

Проанализированы основные возможности регистрации биомеханических параметров походки в клинических условиях. Рассмотренные комплексы и системы имеют существенно отличающиеся возможности и стоимость, как оборудования, так и его эксплуатации.

Ключевые слова: клинический анализ походки, методики исследования, кинематика, временные параметры, пространственные параметры, динамометрические параметры, функциональная электромиография

ABSTRACT

The work is dedicated to the review of instrumental methods for clinical gait analysis (CGA). CGA is used for functional diagnostics motor pathology entire musculoskeletal system. At the same time walking, how well automated cyclic locomotion, including operation of the entire musculoskeletal system, is used as a functional test. In recent decades the CGA significantly changed the approach to treatment, especially surgery of various diseases associated with dysfunction of the foot. It is not only the actual disease of the lower limbs and large joints and the spine, the central and peripheral nervous system. Currently, the group formed by methods that are required for the conduct of clinical research. The main groups of research methods is to register kinematics, temporal, spatial, dynamic parameters and functional electromyography. Kinematics registered mainly two classes of systems – video systems (the gold standard) and new technical means on the basis of inertial sensors without platform. Basic information of this method are goniogrammy (charts) movements function in large joints, movement of the pelvis and other body segments. Temporal and spatial characteristics are recorded, as a rule, a single instrument – with special tracks that allow you to define the parameters of the functional units of the cycle step, length, width, pitch, speed, distance, and others. To register the dynamic parameters of applied torque platform, recording effort, develops during the passage of platform. To perform functional myography using special multi-telemetry myography that allow recording surface myogram while driving. International professional organizations methodical standards for analysis and description of the identified changes. Analyzed the main possibility of registration of biomechanical parameters of gait in a clinical setting. The above complexes and systems have significantly different capabilities and cost, both equipment and its operation.

Keywords: clinical gait analysis, methods of investigation, kinematics, timing parameters, space parameters, forceplatform parameters, functional EMG.

Контакты:

Скворцов Дмитрий Владимирович. E-mail: dskvorts63@mail.ru