

Н.Г. Катаева, М.Ю. Катаев, В.А. Чистякова, Я.А. Хамаганов

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ОЦЕНКА СТЕПЕНИ НАРУШЕНИЯ ХОДЬБЫ ПОСЛЕ ИНСУЛЬТА

Аннотация

В статье описана автоматизированная методика для оценки степени нарушения навыка ходьбы у постинсультных пациентов. Методика основана на анализе изображений движения человека. Приводятся материалы, позволяющие переводить численный анализ изображений в медицинское заключение.

Одной из центральных функций человека, в осуществлении которой важную роль играют как мозговая деятельность, так и различные мышечные группы, является ходьба [1], [2]. В основе способности человека к перемещению лежит последовательное осуществление стереотипных сокращений определенных мышц туловища и конечностей, что приводит к движению (локомоции). При этом для осуществления ходьбы задействованы различные отделы центральной нервной системы, определяющие различные функции двигательной активности (ходьбу, скорость движения, координацию). Нарушение любой из перечисленных функций изменяет двигательную активность человека. Причиной снижения двигательной (моторной) функции (относительно нормального состояния) может быть нарушение передачи нервных импульсов от различных отделов головного мозга к мышцам. Именно такой вид нарушений формируется у людей, перенесших инсульт.

В клинической картине пациентов, перенесших ишемический инсульт, преобладают двигательные нарушения, в той или иной степени ограничивающие жизнедеятельность человека. Двигательные нарушения в остром периоде заболевания развиваются у 75 % больных, а через полгода стойкий двигательный дефект сохраняется у 53 % пациентов, перенесших инсульт [2]-[4]. Целью двигательной реабилитации является восстановление утраченных или формирование новых, максимально приближенных к норме, двигательных стереотипов с последующим возвращением пострадавшего к бытовой и трудовой деятельности [2], [5]. Основопологающим в успешной реабилитации является восстановление навыка ходьбы.

В норме основную роль в реализации движений играет содружественная работа мышц-антагонистов – сгибателей и разгибателей [6]. При локальных поражениях головного мозга развивается спастический парез, основными характеристиками которого являются снижение мышечной силы, ограничение объема движений и повышение мышечного тонуса в пораженных конечностях. Причем эти изменения в разной степени затрагивают мышцы-антагонисты. Например, гипертонус развивается преимущественно в мышцах – сгибателях руки и

разгибателях ноги. Это приводит к изменению объема, скорости и траектории движений пораженных конечностей, а также к формированию патологической позы и походки.

Для диагностики двигательных нарушений в конечностях после перенесенного инсульта в повседневной практике врача применяются рутинные методы, заключающиеся в использовании шкал с субъективной оценкой мышечной силы, тонуса и объема движений. Для оценки навыка ходьбы применяют тесты, характеризующие степень мобильности, возможность перемещения с использованием опоры или без нее, способность преодоления лестничных проемов, а также тесты для определения скорости ходьбы. Двигательная патология практически не может быть определена качественно, и особенно количественно, физическим обследованием пациента с помощью традиционного клинического исследования и различных тестов. Для получения однотипных и не зависящих от врача заключений в течение длительного периода восстановления необходимы специальная аппаратура и соответствующие методики.

На данном этапе развития медицины существует раздел клинической биомеханики, занимающийся изучением движений. Этот раздел – клинический анализ движений. Значительная часть современного клинического анализа движений представлена направлением, использующим ходьбу человека как глобальный двигательный тест [7]. В крупных специализированных реабилитационных центрах применяют аппаратный комплекс «МБН-Биомеханика» [<http://www.mbn.ru/>], позволяющий определить различные параметры движений: временные характеристики шага (подометрия), кинематические характеристики движений в суставах при ходьбе (гониометрия), реакцию опоры (динамометрия), а также положение и движение общего центра давления на плоскость опоры при стоянии (стабилометрия). Для осуществления данного метода диагностики необходимы большие материальные затраты (стоимость аппаратного комплекса, его техническое обеспечение), специально обученный персонал, а также просторное отдельное помещение. Это является существенной проблемой для распространения такого подхода в повседневной практике врача.

Мы предлагаем доступный и малозатратный метод, основанный на анализе видеоизображений, который позволит провести диагностику степени нарушения ходьбы и оценить динамику восстановления в процессе проводимых реабилитационных мероприятий. Бесспорным преимуществом метода видеоанализа движений перед методами контактной биомеханики является отсутствие на теле пациента каких-либо датчиков и кабелей, в значительной степени ограничивающих свободное поведение человека и искажающих его естественный двигательный стереотип. Кроме того, данный метод не требует отдельных помещений (достаточно кабинета лечебной физкультуры) и специального обучения.

Описание автоматизированной методики

В настоящее время разработан первичный вариант программно-аппаратного комплекса, который проходит тестирование. В состав комплекса входит веб-камера для записи на компьютер видеосюжетов, которые обрабатываются специализированной программой. Программа позволяет из потока видео выделять и обрабатывать отдельные кадры. Под обработкой понимается выделение области кадра, занимаемой пациентом, и сравнение положения фигуры пациента от кадра к кадру с целью получения некоторой зависимости. Данная зависимость может быть превращена в цифровую форму, отображена в виде графика, записана в базу данных, которая связана с электронной карточкой пациента.

Основные блоки программы приведены на *рис. 1*. Центральным местом в составе программно-аппаратного комплекса является веб-камера. Технические параметры этого устройства определяют качество решения многих диагностических задач. В настоящее время для процедуры отработки многих элементов взаимодействия пациент-врач-программный комплекс нами выбрана веб-камера с разрешением 640x480 пикселей и скоростью записи видео 25 кадр./с.

Программа состоит из нескольких блоков: получения и обработки видеoinформации, записи данных в электронную карточку, блока анализа движения (*рис. 1*). Результаты анализа позволяют

врачу выявлять изменения в восстановлении двигательных функций пациента. Мы предлагаем для анализа параметров ходьбы человека ввести базу данных эталонов, куда записываются результаты исследований здорового человека. Сравнение цифровых результатов теста пациента и результатов из базы данных для одного и того же вида ходьбы позволит врачу увидеть степень приближения пациента к состоянию здорового человека.

Центральное место в программе занимает журнал записи посещений пациента, где хранятся результаты его предыдущих посещений. Врач на основе анализа таблично-графического материала может сделать выводы о степени приближения двигательного стереотипа пациента к норме. Такая программная система позволит упростить ведение документооборота в медицинской практике и сократить время получения более качественного заключения о состоянии пациента.

Оценка степени нарушения ходьбы

Ходьба – это сложный двигательный акт, в котором задействованы различные уровни нервной системы, мышцы, связки, костно-суставной аппарат. Нарушение походки и соответственно мобильности большого отношения к основным факторам, ограничивающим его нормальную жизнедеятельность [8], [9]. При обычном типе ходьбы человек не производит движений большой амплитуды. С этим фактом связан практически важный вопрос о минимальных пределах нормальной подвижности, совместимой с нормальным типом ходьбы. Важность данного вопроса заключается в том, что прогноз реабилитации необходимо основывать не на возможности восстановления подвижности в полной мере, а лишь на восстановлении ее в известных пределах, совместимых с нормальным типом ходьбы. Иначе говоря, прогноз будет положительным, если мы можем рассчитывать на восстановление той степени подвижности, которая дает возможность нормально ходить [5].

Наиболее общими параметрами, характеризующими ходьбу, являются линия перемещения центра масс тела, длина шага, длина двойного шага, база опоры, скорость перемещения и ритмичность. База опоры – это расстояние между двумя парал-

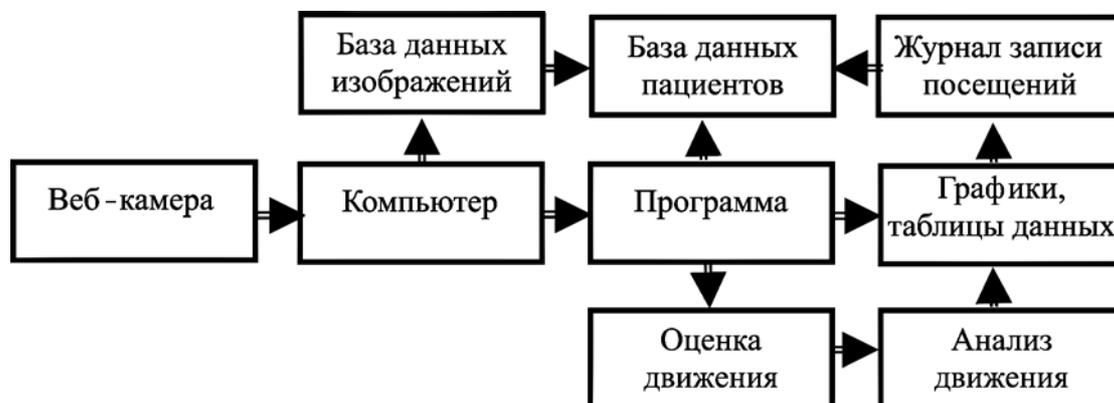


Рис. 1. Основные блоки программы

лельными линиями, проведенными через центры опоры пяток параллельно линии перемещения. Чем больше база опоры, тем более выражено нарушение равновесия. Короткий шаг – это расстояние между точкой опоры пятки одной ноги и центром опоры пятки контралатеральной ноги. Период двойного шага – полный цикл ходьбы – складывается для каждой ноги из фазы опоры и фазы переноса конечности. При ходьбе человек последовательно опирается то на одну, то на другую ногу. Эта нога называется опорной. Контралатеральная нога в этот момент выносится вперед. Период переноса ноги называется фазой переноса. При ходьбе в среднем темпе фаза опоры составляет примерно 60 % от цикла двойного шага, фаза переноса – примерно 40 %. Ритмичность ходьбы – отношение длительности переносной фазы одной ноги к длительности переносной фазы другой ноги. В циклической последовательности ходьбы выделяют моменты, когда с опорой соприкасается только одна нога (одноопорный период) или обе ноги, когда вынесенная вперед конечность уже коснулась опоры, а расположенная сзади еще не оторвалась от опоры (двухопорная фаза) [10].

Центр масс тела человека при ходьбе совершает сложные пространственные движения. Амплитуда этих движений составляет около 5 см в направлении вверх – вниз и 2...4 см в боковом направлении. Наиболее низкое положение центра масс соответствует двухопорному периоду, а наиболее высокое – середине одноопорного периода. Ходьба здорового человека характеризуется симметрией движений левой и правой сторон [11], [12].

Некоторые параметры ходьбы здоровых людей в разном темпе [11]

Параметры	Медленный темп	Замедленный темп	Произвольный темп	Ускоренный темп	Быстрый темп
Скорость ходьбы, м/с	0,61	0,91	1,43	1,43	1,90
Темп, шаг/мин	67,8	84,5	109,1	125,0	137,9
Длина шага, м	0,51	0,6	0,74	0,84	0,88

При развитии центральных парезов после перенесенного инсульта изменяются в той или иной степени все параметры ходьбы. Для оценки степени нарушения ходьбы мы проводим видеосъемку пациента, передвигающегося вдоль видеокамеры. Для обработки результатов пациенту достаточно сделать несколько шагов. При помощи разработанной программы определены следующие параметры ходьбы: относительная длина шага, длина двойного шага, длительность фазы опоры и переноса для каждой ноги, длительность двухопорной фазы, ритмичность и скорость ходьбы. Длина шага определяется как количество кадров, что при фиксированной скорости съемки (30 кадр./с) позволяет достаточно точно вычислить время шага. Проведением последовательных повторных исследований посредством клинического анализа движений можно осуществлять непосредственный контроль ле-

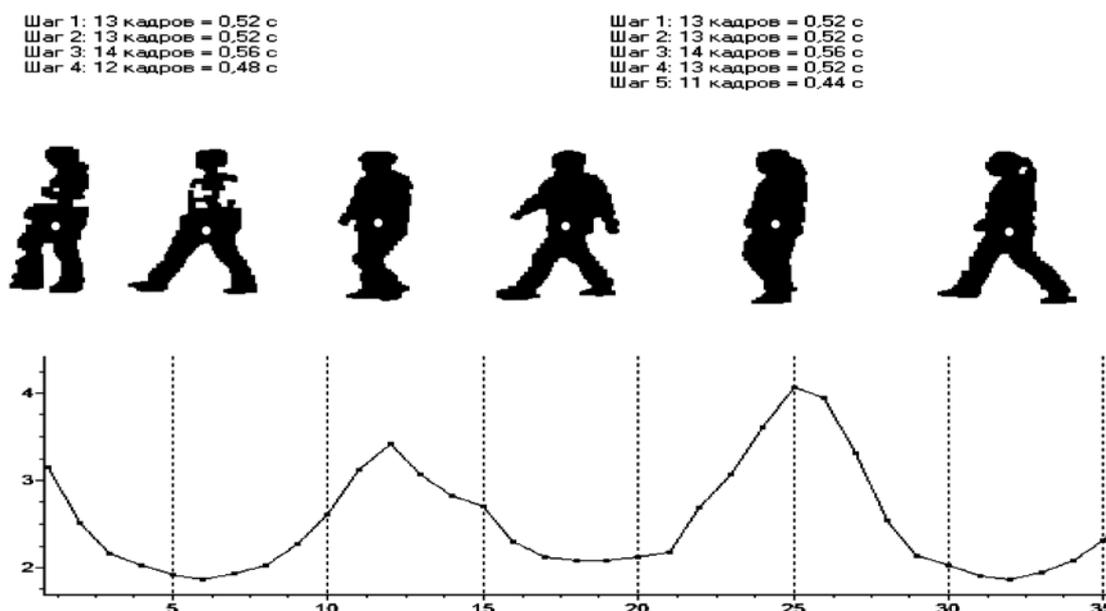


Рис. 2. Изменение положения центра масс тела человека и длительности шага при его движении вдоль камеры

чебного процесса. Получение подобной информации позволит перейти к управляемой реабилитации на основе объективной информации. Кроме того, изменения положения центра тяжести можно сравнивать с идеализированной моделью (например [13]), что позволит судить о величине отклонений от нормы, а значит, и определить степень нарушений.

Результаты работы программы приведены на рис. 2, где представлены фрагменты бинаризованных изображений отдельных фаз движения и информация о двигательной активности человека через вычисление изменения положения центра масс тела человека. Эта информация является первичной для получения разнообразных параметров (скорость, симметрия), необходимых для анализа состояния двигательной активности (ходьбы) пациента. Наша методика позволяет сконцентрировать внимание врача не на измерениях, а на анализе, что является важным аспектом повышения достоверности медицинских заключений.

Информация, представленная на рис. 2, является основой для анализа и получения данных о двигательной активности человека (длина шага, симметрия шага и др.).

Заключение

В результате применения предлагаемого метода диагностики двигательных нарушений врач получает возможность при минимальных временных затратах количественно и качественно оценить степень нарушения ходьбы пациента: определить основные параметры шага (длину, симметрию, полный цикл ходьбы), скорость и темп ходьбы, смещение центра тяжести. Путем проведения повторной видеосъемки в процессе лечения возможно осуществление динамического наблюдения за пациентом с оценкой эффективности реабилитационных мероприятий и последующей коррекцией лечения (дозирование нагрузки на определенные группы мышц, нормализация мышечного тонуса). Это будет способствовать формированию правильного, наиболее приближенного к норме навыка ходьбы.

С учетом того, что у каждого пациента имеется определенный реабилитационный потенциал, наступает момент, когда восстановительные мероприятия становятся неэффективными, а дальнейшее проведение активного лечения – экономически нецелесообразным. Тогда на первый план выходят мероприятия, направленные на приспособление пациента к имеющемуся дефекту: использование средств передвижения, опоры и т. п. Период, когда ходьба пациента не меняется со временем, наиболее точно можно определить именно по предлагаемой нами методике.

Список литературы:

1. Horak F.B., Shupert C.L., Mirka A. Components of postural dyscontrol in the elderly: A review // *Neurobiol. Aging*. 1989. № 10. PP. 727-738.

2. Сотников Л.В., Епифанов А.В., Епифанов В.А. Биомеханическая модель восстановления вертикальной позы и рисунка ходьбы на стационарном этапе реабилитации после ишемического мозгового инсульта // *Лечебная физкультура и массаж*. 2007. № 6. С. 3-7.
3. Кадыков А.С. Реабилитация после инсульта. – М.: Миклош, 2003. 176 с.
4. Яхно Н.Н., Виленский Б.С. Инсульт как медико-социальная проблема // *Русский медицинский журнал*. 2005. Т. 13. № 12. С. 807-815.
5. Черникова Л.А. Нейрореабилитация: Проблемы и пути ее решения // *Физиотерапия, бальнеология и реабилитация*. 2004. № 3. С. 3-10.
6. Епифанов В.А. Реабилитация больных, перенесших инсульт. – М.: МЕДпресс-информ, 2006. 256 с.
7. Скворцов Д.В. Клинический анализ движений. Анализ походки. – Иваново: Стимул, 1996. 334 с.
8. Бернштейн Н.А. Очерки по физиологии движений и физиологии активности. – М.: Медицина, 1966. 349 с.
9. Белова А.Н., Щенетова О.Н. Шкалы, тесты и опросники в медицинской реабилитации. – М., 2002. 439 с.
10. Витензон А.С. Зависимость биомеханических параметров от скорости ходьбы / В сб.: Протезирование и протезостроение. – М.: ЦНИИПП, 1974. С. 53-65.
11. Витензон А.С. Закономерности нормальной и патологической ходьбы человека. – М.: ООО «Зеркало-М», 1998. 272 с.
12. Физиология человека. Учебник для вузов под редакцией В.М. Покровского, Г.Ф. Коротько. – М.: Медицина, 2007. 656 с.
13. Белецкий В.В. Двухногая ходьба: модельные задачи динамики и управления. – М.: Наука, 1984. 288 с.

Надежда Григорьевна Катаева,

д-р мед. наук, профессор,

Сибирский государственный

медицинский университет,

Михаил Юрьевич Катаев,

д-р техн. наук, профессор,

Томский государственный университет

систем управления и радиоэлектроники,

Вера Анатольевна Чистякова,

зав. отделением,

Томская больница ФГУ «СОМЦ ФМБА России»,

филиал № 2,

Яков Альбертович Хамаганов,

аспирант,

Томский государственный университет

систем управления и радиоэлектроники,

г. Томск,

e-mail: ngkataeva@sibmail.com