

УДК 611

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЛОКОМОТОРНОЙ ФУНКЦИИ ЧЕЛОВЕКА В НОРМЕ И ПРИ ПАТОЛОГИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УСТРОЙСТВА «ИНДУКЦИОННЫЙ АНАЛИЗАТОР КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ХОДЬБЫ»¹

В.С. Прокопенко (Красноярск, Россия)
В.П. Живаев (Красноярск, Россия)
С.В. Прокопенко (Красноярск, Россия)
В.С. Ондар (Красноярск, Россия)
М.В. Аброськина (Красноярск, Россия)

С.А. Субочева (Красноярск, Россия)
С.Б. Исмаилова (Красноярск, Россия)
А.Г. Зотин (Красноярск, Россия)
С.С. Кабыш (Красноярск, Россия)

Аннотация

Проблема и цель. Диагностика состояния локомоторной функции человека востребована в двух социальных сферах: в медицине и в спорте. Существующие системы многомерного компьютерного видеоанализа движений (ВАД) информативно универсальны, но по стоимости, условиям эксплуатации и требованиям к обслуживающему персоналу доступны только немногим специализированным центрам. В медицине в связи с реализацией федеральной программы постинсультной реабилитации, нацеленной на снижение уровня инвалидности населения, оперативная диагностика локомоции пациента стала проблемой и для учреждений практического здравоохранения. Диагностирование состояния локомоторной функции – необходимый этап как при определении стратегии реабилитации, так и в процессе мониторинга эффективности реабилитационных процедур. В статье обсуждаются результаты исследования, целями которого являлись конструирование и изучение диагностических возможностей нового устройства «Индукционный анализатор кинематических параметров ходьбы» (ИАКПХ), предназначенного, в частности, для использования в ходе реализации упомянутой программы.

Методология исследования включала в себя: знакомство с историческим опытом экспериментальной и клинической медицины по проблеме; поиск уже имеющихся решений проблемы (на уровне патентов и в клинике); выбор физического принципа информационного отображения особенностей походки испытуемого; анализ элементной базы современной микроэлектроники и вариантов программного преобразования исходной информации в численные значения диагностически важных параметров ходьбы; учет специфических эксплуатационных условий и эргономических требований к устройству.

Результаты. Разработана конструкция, и изготовлен опытный образец мобильного (носимого испытуемым) диагностического устройства, простого по конструкции и в использовании, которое может быть востребовано в реабилитационной медицине и при подготовке спортсменов (ходьба, бег). Диагностирование основано на использовании явления электромагнитной индукции. Индукционно связанные катушки (короткие многослойные соленоиды) располагаются на ногах испытуемого. Излучающая катушка питается током с частотой 1,5 кГц. Устройство позволяет фиксировать в форме осциллограмм электромагнитного сигнала («осциллограмм ходьбы») индивидуальные особенности походки во времени и в двух пространственных измерениях (перемещения ног в сагитальной и фронтальной плоскостях). Диагностически важные параметры находятся с помощью специальной компьютерной программы. Рассматриваются варианты представления и интерпретации результатов тестирования: в виде таблиц параметров, построением «фазового портрета» ходьбы, путем сопоставления вида «осциллограмм ходьбы» (до и в процессе реабилитационных процедур).

Заключение. Опыт экспериментального клинического использования мобильного диагностического устройства ИАКПХ (с 2010 – прототипа устройства, опытного его образца – в 2018) показал, что по информативности (применительно к ходьбе) оно практически не уступает стационарным системам многомерного компьютерного видеоанализа (ВАД) и может быть рекомендовано для лицензирования в качестве прибора медицинского назначения.

Ключевые слова: локомоция, диагностика, реабилитация, инсульт, гемипарез, спорт, электромагнитная индукция, осциллограмма ходьбы, параметры ходьбы, асимметрия, база опоры.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Красноярского краевого фонда поддержки научной и научно-технической деятельности, проект № 2018052104013 (2018).

Проблема диагностики состояния локомотивной функции (от лат. *locō mōtiō* - «движение с места») человека актуальна в двух социальных сферах: медицине [Иванова, 2015, с. 59] и спорте [Быков, Васюк, 2011, с. 17]. При этом исторически на смену традиционным субъективным способам – клиническим шкалам («Динамический индекс ходьбы» [Marchetti et al., 2007, р. 651], «Индексы мобильности Ривермид» [Walsh et al., 2010, р. 1133], шкала Хаузера, [Cattaneo et al., 2006, р. 789]), тест «Встаньиди» [Morris et al., 2001, р. 6], «Унифицированная рейтинговая шкала оценки болезни Паркинсона» [Goetz et al., 2008, р. 2129] – приходят объективные аппаратные методы [Скворцов, 2007; 2013, с. 2]. Наиболее информативны в этом отношении системы многомерного компьютерного видеоанализа движений (ВАД). Системы ВАД универсальны: позволяют регистрировать как кинематические, так и динамические характеристики движений. Это достигается использованием совокупности инфракрасных видеокамер и специальных силовых платформ с датчиками для регистрации давления при ходьбе по ним. На теле испытуемого закрепляются специальные оптически контрастные метки-маркеры, «захват» которых в видеоизображениях, осуществляемый специальной компьютерной программой, позволяет строить траектории движений маркеров и находить все диагностически важные параметры ходьбы (длину и длительность одинарного и двойного шагов, время двойной опоры, время одинарной опоры, пространственную и временную асимметрию ходьбы, скорость ходьбы, базу опоры). Однако универсальные системы ВАД дорогостоящи (порядка сотен тысяч евро), стационарны, обслуживаются специально обученным персоналом. Это делает их доступными только крупным специализированным центрам. В частности, в Красноярске система ВАД («VICON MotionCaptureSystems») единственная, находится в распоряжении Сибирского клинического центра Федерального медико-биологического агентства Российской Федерации (СКЦ ФМБА РФ). Вдобавок процедура ВАД-анализа походки довольно продолжительная и технически ограничивает количество

шагов испытуемого (5–6 за один проход по силовым платформам). Потребность пусть в менее информативных, но более доступных устройствах в частности для медицины обусловлена реализуемой в настоящее время федеральной программой постинсультной реабилитации [Левин 2016, с. 25; Парфенов 2011, с. 8], нацеленной на снижение уровня инвалидности населения. Это стимулирует разработку менее универсальных, но более простых по конструкции и в использовании устройств и методик. В клинической практике и научных исследованиях уже применяются:

– *импрегнационный метод* [Kuys, 2011; P. 1848; Stolze. 2001, р. 289];

– *подометрия* [Chien, 2006, р. 438; Thomas OM, 2013, р. 109];

– *комплекс «Дорожка»* [Похабов, Абрамов, 2005, с. 68; 2011, с. 147, Похабов и др., 2006];

– *лазерный комплекс ЛА-1* [Живаев и др., 2009; 2011, с. 7; Ляпин и др., 2011, с. 49].

Общим недостатком указанных устройств является ограниченное число регистрируемых диагностически важных кинематических параметров (2–3 из 9, получаемых при использовании системы ВАД).

Целью настоящего исследования являлось создание доступного для практической медицины устройства с диагностическими возможностями, сопоставимыми (применительно к ходьбе) с возможностями системы ВАД.

Методология исследования включала в себя: знакомство с историческим опытом экспериментальной и клинической медицины по проблеме; поиск уже имеющихся решений проблемы (на уровне патентов и в клинике); выбор физического принципа информационного отображения особенностей походки испытуемого; анализ элементной базы современной микроэлектроники и вариантов программного преобразования исходной информации в численные значения диагностически важных параметров ходьбы; учет специфических эксплуатационных условий и эргономических требований к устройству.

О конструкции устройства. Индукционный анализатор кинематических параметров ходьбы (ИАКПХ) [Живаев и др., 2015], разработанный

в Лаборатории проблем учебного физическо-го эксперимента им. акад. Л.В. Киренского (под-разделение ИМФИ КГПУ им. В.П. Астафбева) со-вместно с кафедрой нервных болезней КГМУ им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого, представляет собой легкое мобильное (носимое испытуемым) устрой-ство, непрерывно отслеживающее и регистриру-ющее движение ног в двух плоскостях – сагги-тальной и фронтальной – с использованием си-стемы индукционно связанных катушек (коротких соленоидов), закрепляемых на ногах испытуемо-го (рис.1). Диагностические возможности устрой-ства (применительно к ходьбе) практически рав-ны возможностям системы ВАД, но с неограни-ченным количеством шагов произвольной ходь-бы при тестировании и при предполагаемой сто-имости по сравнению с ВАД на 2 порядка ниже.

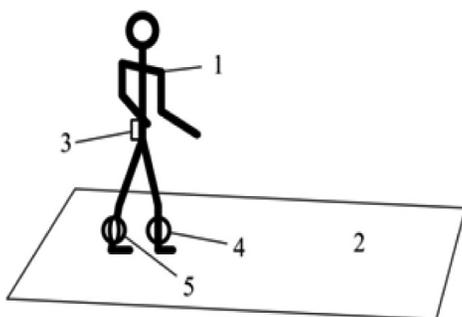


Рис. 1. Крепление элементов устройства ИАКПХ:
1 – пациент; 2 – дорожка для ходьбы;
3 – автономный блок; 4 – излучающая катушка;
5 – приемные катушки

Fig. 1. Fastening of the elements of the IAKPH device:
1 – patient; 2 – walking path; 3 – autonomous unit;
4 – radiating coil; 5 – receiving coils

Автономный блок (3) генерирует низкоча-стотный электрический ток (1,5 кГц), питающий излучающую катушку (4), и непрерывно по двум каналам регистрирует сигналы, индуцируемые в приемных катушках (5). Интегральная инфор-мация обо всех особенностях походки испытуе-мого фиксируется в виде пары «осциллограмм ходьбы» (рис. 2).

При нормальной ходьбе конфигурация при-веденных на рис. 2 осциллограмм типична для всех здоровых испытуемых. Индивидуальность походки находит отображение в вариациях фор-мы и степени «растянутости» осциллограмм. Рас-тянутость в горизонтальном направлении (вдоль временной оси) содержит информацию о вре-менных характеристиках и возрастает с умень-шением скорости перемещения, а в вертикаль-ном – информацию о пространственном положе-нии ног в двух плоскостях (величина индуциро-ванных сигналов в приемных катушках убывает с увеличением их расстояния до излучающей ка-тушки). Пики сигнала на нижней осциллограмме соответствуют моментам прохождения движу-щейся ноги мимо неподвижной. Амплитуда пика тем больше, чем меньше при этом расстояние во фронтальной плоскости между ногами. На верх-ней осциллограмме в этот момент формируется двойной пик. Неравенство амплитуд двойного пика на данной осциллограмме тоже инфор-мативно: свидетельствует о некоторой «косолапо-сти» походки испытуемого (уровень сигнала за-висит и от поворота катушек при ходьбе).

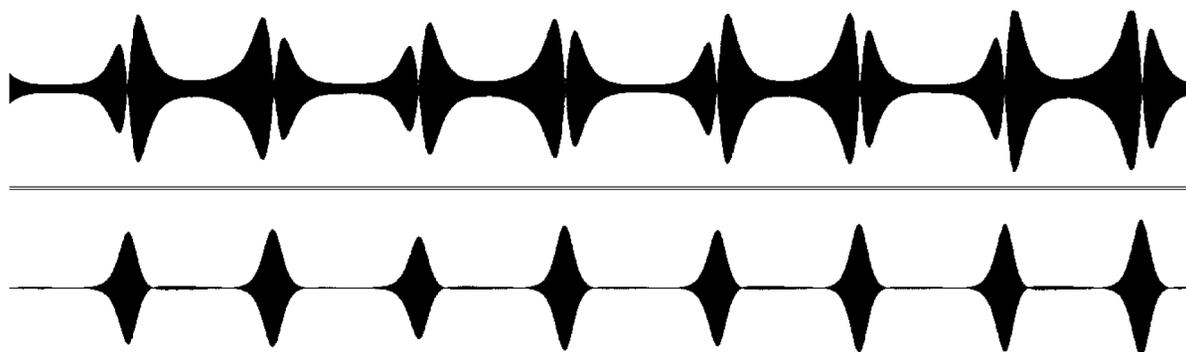


Рис. 2. Фрагменты осциллограмм, отображающие движение ног здорового испытуемого в саггитальной (верхний ряд) и фронтальной (нижний ряд) плоскостях

Fig. 2. Fragments of the waveform displaying the movement of the legs of a healthy subject in the sagittal (top row) and frontal (bottom row) planes

Результаты диагностики и варианты их представления. Согласно общепринятой («анатомической») классификации, основным структурным элементом ходьбы является цикл движений при ходьбе – «двойной шаг», который

состоит из двух последовательных «одиночных шагов» (рис. 3, параметр L). Каждый одиночный шаг, в свою очередь, состоит из двух «простых шагов» (полушагов) – заднего и переднего (рис. 3, параметры B и A).

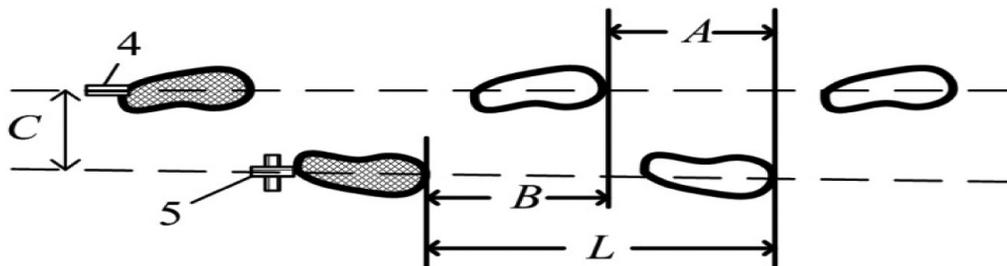


Рис. 3. К расшифровке символьных обозначений диагностически важных параметров ходьбы: L – длина одиночного шага; B и A – длины заднего и переднего простых шагов (полушагов), C – «база опоры»; 4 и 5 – излучающая и приемные катушки

Fig. 3. As regards deciphering the symbols of the diagnostically important walking parameters: L – the length of a single step; B and A – the length of the rear and front simple steps (half-steps), C – «base of support»; 4 and 5 – radiating and receiving coils

К диагностически важным параметрам ходьбы обычно относят:

- длину простого шага (переднего и заднего – параметры A и B);
- длину одиночного шага $L = A + B$;
- время (длительность) одиночных шагов (правого $t_{П}$ и левого $t_{Л}$);
- коэффициент асимметрии длины одиночного шага $K_P = \frac{A - B}{A + B} = \frac{A - B}{L}$;

– коэффициент временной асимметрии

$$K_t = \frac{t_{П} - t_{Л}}{t_{П} + t_{Л}};$$

- базу опоры C ;
- средние скорости переноса правой и левой ног ($v_{П} = \frac{L}{t_{П}}$ и $v_{Л} = \frac{L}{t_{Л}}$);

$$v_{П} = \frac{L}{t_{П}} \text{ и } v_{Л} = \frac{L}{t_{Л}};$$

- среднюю скорость ходьбы $v_{CP} = \frac{L}{t_{П} + t_{Л}}$.

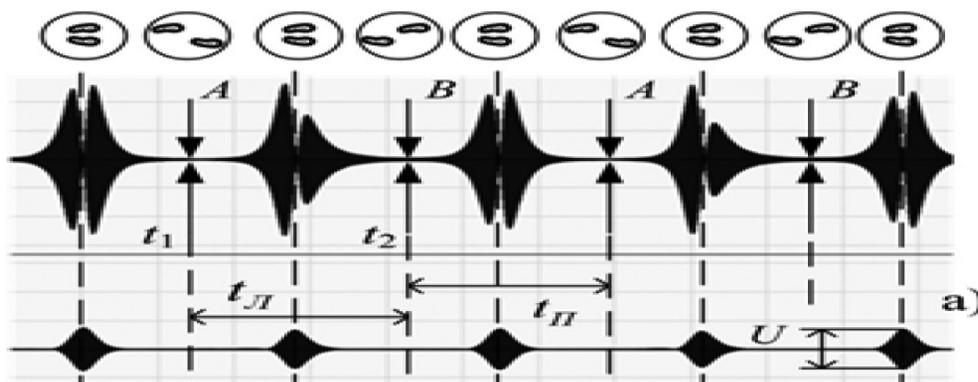


Рис. 4. К нахождению компьютерной программой численных значений структурных элементов ходьбы (длин одиночного шага L , заднего B и переднего A полушагов, базы опоры C) и временных характеристик (времен правого $t_{П}$ и левого $t_{Л}$ одиночных шагов)

Fig. 4. As regards finding a computer program of the numerical values of the structural elements of the walk (single step length L , rear B and front A half steps, base C) and temporal characteristics (times of the right $t_{П}$ and left $t_{Л}$ single steps)

Компьютерный анализ осциллограмм позволяет получить значения всех диагностически важных параметров ходьбы. При нахождении длин L , B , A программа ищет и запоминает минимальные значения индуцированного сигнала на верхней осциллограмме, отображающей перемещения ноги в саггитальной плоскости. Для нахождения параметра «база опоры» C запоминаются амплитудные значения сигнала (U) в пиках на нижней осциллограмме. Так как сигналы в приемных катушках 5 (см. рис. 3) нелинейно

зависят от расстояния до излучающей катушки 4, то для перевода информации о показателях походки пациента в метрическую систему была выполнена калибровка устройства. Временная ось осциллограмм (горизонтальная) – линейная, для нахождения временных промежутков используется таймер компьютера.

При патологиях ходьбы (гемипарез, паркинсонизм, постинсультная атаксия, травмы) конфигурация осциллограмм кардинально изменяется (рис. 4).

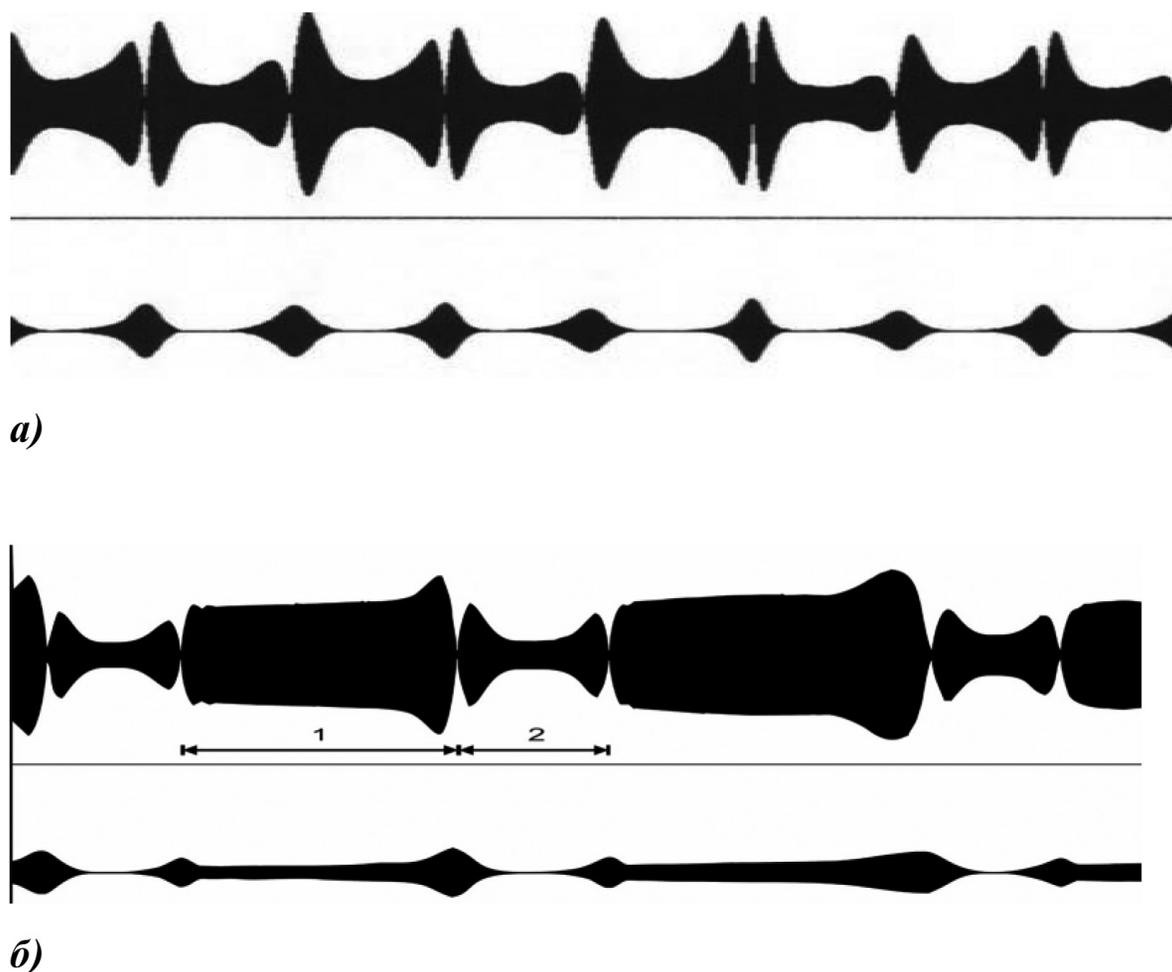


Рис. 5. Фрагменты осциллограмм ходьбы пациентов с легкой (а) и тяжелой (б) формами гемипареза

Fig. 5. Fragments of the walk of patients with mild (a) and severe (б) forms of hemiparesis oscillogram

Об огромном диагностическом потенциале устройства ИАКПХ можно судить, просто сопоставив вид осциллограмм здорового человека (см. рис. 2), с легкой (см. рис. 5а) и тяжелой (см. рис. 5б) формами гемипареза. Не исключено, что со временем компью-

терные «осциллограммы ходьбы» могут стать стандартным элементом первичной клинической документации (подобно электрокардиограмме).

Результаты тестирования могут быть оформлены в виде таблицы.

**Значения диагностически важных параметров ходьбы здорового человека
(результат компьютерного анализа осциллограмм на рис. 2)**

**Values of diagnostically important parameters of healthy man walking
(the result of a computer analysis of the waveforms in Fig. 2)**

№	Параметр	Левая	Правая
1	Длительность одиночного шага, с	0,53	0,59
2	Длина одиночного шага, см	117,19	117,16
3	Длительность заднего и переднего полушага, с	0,28	0,28
4	Длина заднего и переднего полушага, с	64,12	53,06
5	Средняя скорость переноса ног, м/с	2,21	1,99
6	Темп ходьбы, шаг/мин	103,72	
7	Средняя скорость ходьбы, м/с	2,28	
8	Коэффициент временной асимметрии полушагов	0,007 (0,7%)	
9	Коэффициент пространственной асимметрии полушагов	0,094 (9,4%)	

Наряду с традиционной формой представления результатов тестирования (в виде таблицы значений параметров) в целом ряде случаев оказывается целесообразным построение «фазового портрета» ходьбы (рис. 6).

Структура «фазового портрета» здорового человека (см. рис. 6а) отображает его индивидуальные (физиологические) вариации длины и длительности полушага и свидетельствует о незначительной присущей индивидууму пространственной асимметрии ходьбы. В случае пациента с па-

ретичной конечностью (правой см. рис. 6б) «фазовый портрет» дает специалисту исходную информацию о патологических изменениях ходьбы (а именно выраженную пространственную асимметрию полушага в сочетании со значительными патологическими вариациями длины и времени полушага паретичной ноги) и позволяет в дальнейшем объективно оценивать эффективность реабилитационных процедур. «Фазовые портреты» ходьбы могут быть построены и для иных сочетаний диагностически важных параметров.

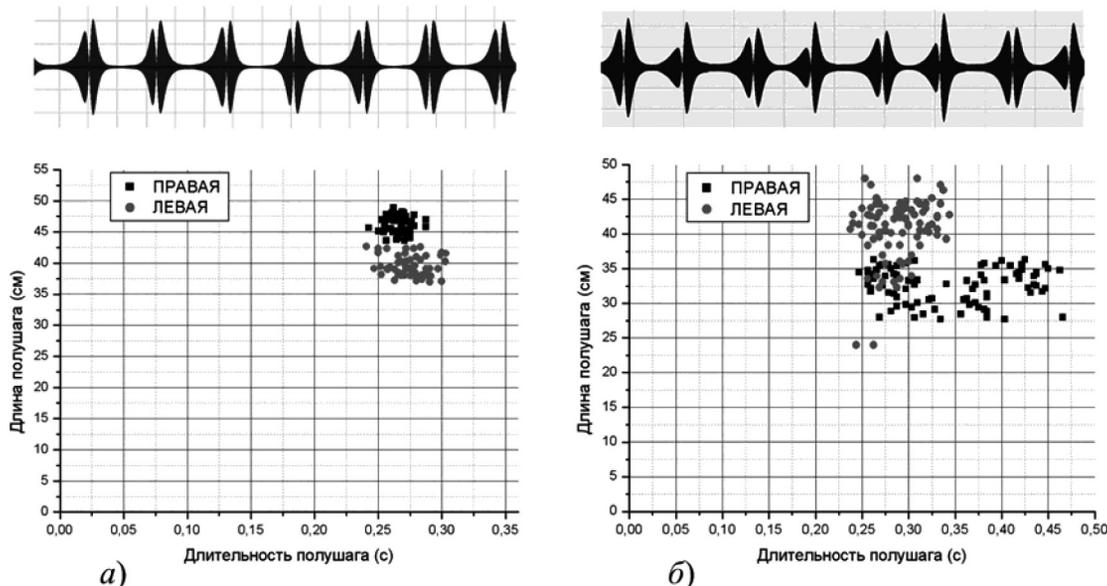


Рис. 6. «Фазовые портреты» ходьбы здорового (а) и больного (б – гемипарез, легкая форма) человека. Над графиками показаны соответствующие фрагменты осциллограмм ходьбы испытуемых

Fig. 6. «Phase portraits» of a healthy person walking (a) and of a sick one (b) – hemiparesis, light form. Above the graphs the corresponding fragments of the waveforms of the testees are shown

Заключение. Мобильное диагностическое устройство ИАКПХ проходило тестирование в ходе экспериментальных клинических исследований в СКЦ ФМБА РФ (с 2010 – как работоспособный макет и прототип устройства, в 2018 – как опытный образец). Оно успешно использовалось в процессе разработки новых реабилитационных методик при нарушениях ходьбы различной этиологии [Ондар, 2011, с. 125; Ондар, 2010, с. 26; Ондар, 2010, с. 37]. Устройство удобно для пациента, позволяет регистрировать и анализировать движения ног при ходьбе во времени и в двух пространственных измерениях, так что в этом отношении практически воспроизводит диагностические возможности стационарных систем многомерного видеоанализа движений. В частности, позволяет объективизировать оценки таких важных параметров, как пространственная и временная асимметрии шага, база опоры; в перспективе – ротирование стопы, эквиноварусную установку стоп и другие. Преимуществом является доступность любому лечебному учреждению, простота применения, отсутствие необходимости в специализированном помещении и возможность проведения измерений на неограниченном расстоянии при естественной ходьбе. Положительный опыт экспериментального клинического применения позволяет рекомендовать устройство ИАКПХ для лицензирования в качестве прибора медицинского назначения.

Библиографический список

1. Быков Д.Ю., Васюк В.Е. Использование современных мобильных аппаратно-программных средств в оценке технической подготовленности конькобежцев // Прикладная спортивная наука. 2011. С. 11–17.
2. Живаев В.П., Прокопенко В.С., Прокопенко С.В., Ондар В.С., Ляпин А.В., Игнатов С.В. Анализатор кинематических параметров ходьбы человека / Патент RUS 91837 26.10.2009.
3. Живаев В.П., Прокопенко В.С., Прокопенко С.В. Анализатор кинематических параметров ходьбы человека на основе лазерного дальномера // Медицинская техника. 2011. № 3. С. 7–9.
4. Живаев В.П., Прокопенко В.С., Прокопенко С.В., Ондар В.С. Индукционный анализатор кинематических параметров ходьбы / Патент RUS2598462 07.05.2015.
5. Иванова Г.Е., Скворцов Д.В. Объективный клинический анализ походки. Обзор // Вестник восстановительной медицины. 2015. № 4 (68). С. 59–66.
6. Левин О.С. Постинсультные двигательные нарушения // Современная терапия в психиатрии и неврологии. 2016. № 3. С. 25–32.
7. Ляпин А.В., Ондар В.С., Аброськина М.В., Прокопенко С.В., Прокопенко В.С., Живаев В.П. Возможности применения метода объективной оценки параметров ходьбы с использованием лазерного дальномера у неврологических больных // Сибирское медицинское обозрение. 2011. № 3 (69). С. 49–50.
8. Ондар В.С., Ляпин А.В., Прокопенко С.В., Аброськина М.В., Живаев В.П., Прокопенко В.С. Диагностика асимметрии шага при синдроме центрального гемипареза с использованием индукционного анализатора параметров ходьбы // Сибирское медицинское обозрение. 2010. № 3 (63). С. 37–40.
9. Ондар В.С., Ляпин А.В., Прокопенко С.В., Народова В.В. Новый метод регистрации двигательной асимметрии при синдроме постинсультного гемипареза // Матер. III Международ. конгресса по нейрореабилитации. М., 2011. С. 125–126.
10. Ондар В.С., Ляпин А.В., Прокопенко С.В. Применение индукционного анализатора кинематических параметров ходьбы для диагностики асимметрии шага при синдроме центрального гемипареза // Медицинский академический журнал. 2010. № 5. С. 26.
11. Парфенов В.А. Постинсультные двигательные нарушения // Медицинский совет. 2011. № 11. С. 8–14.
12. Похабов Д.В., Абрамов В.Г. Нарушения ходьбы при паркинсонизме, новые возможности в диагностике, лечении и нейропротекции // Бюллетень сибирской медицины. 2011. Т. 10, № 2. С. 147–153.

13. Похабов Д.В., Абрамов В.Г. Сравнительная оценка параметров ходьбы у клинически здоровых лиц и больных с болезнью Паркинсона и сосудистым паркинсонизмом // *Функциональная диагностика*. 2005. № 3. С. 68–71.
14. Похабов Д.В., Харабет И.М., Назаров С.В., Плосков М.Т., Прокопенко С.В., Абрамов В.Г. Устройство для определения шагоскоростных характеристик человека / Патент на изобретение RU 232134503.10.2006.
15. Скворцов Д.В. Диагностика двигательной патологии инструментальными методами: анализ походки, стабилметрия: монография. М., 2007.
16. Скворцов Д.В., Иванова Г.Е., Поляев Б.А., Стаховская Л.В. Диагностика и тестирование двигательной патологии инструментальными средствами // *Вестник восстановительной медицины*. 2013. № 5. С. 74–78.
17. Скворцов Д.В. Методика исследования кинематических движений и современные стандарты // *Лечебная физкультура и спортивная медицина*. 2013. № 2. С. 2–8.
18. Спивак Б.Г., Петрушанская К.А., Гриценко Г.П. Медицинские показания и средства ортезирования больных с гемипарезом и нарушение опорно-двигательных функций нижней конечности после перенесенного инсульта // *Вестник восстановительной медицины*. 2011. № 5. С. 70–74.
19. Cattaneo D., Regola A., Meotti M. Validity of six balance disorders scales in persons with multiple sclerosis // *Disabil Rehabil*. 2006. No. 28(12). P. 789–95. <http://doi.org/10.1080/09638280500404289>
20. Chien S.L., Lin S.L., Liang C.C. The efficacy of quantitative gait analysis by the GAITRite system in evaluation of parkinsonian bradykinesia // *Parkinsonism Relat. Disord*. 2006. No. 12(7). P. 438–442.
21. Goetz C.G., Tilley B.C., Shaftman S.R., Stebbins G.T., Fahn S., Martinez-Martin P., Poewe W., Sampaio C., Stern M.B., Dodel R., Dubois B., Holloway R., Jankovic J., Kulisevsky J., Lang A.E., Lees A., Leurgans S., LeWitt P.A., Nyenhuis D., Olanow C.W., Rascol O., Schrag A., Teresi J.A., van Hilten J.J., LaPelle N. Movement disorder society sponsored revision of the unified parkinson's disease rating scale (MDSUPDRS): scale presentation and clinimetric testing results // *Mov. Disord*. 2008. No. 23. P. 2129–2170. URL: <http://doi.org/10.1002/mds.22340>
22. Kuys S.S., Brauer S.G., Ada L. Test-retest reliability of the GAITRite system in people with stroke undergoing rehabilitation // *Disabil. Rehabil*. 2011. No. 33(19–20). P. 1848–53.
23. Marchetti G.F., Whitney S.L. Construction and validation of the 4-item dynamic gait index // *Phys. Ther*. 2007. No. 86. P. 1651–1660. URL: <http://doi.org/10.2522/ptj.20050402>
24. Morris S., Morris M., Iansek R. Reliability of measurements obtained with the Timed «Up & Go» test in people with Parkinson disease // *Phys. Ther*. 2001. No. 81. P. 810–818. URL: <http://doi.org/10.1093/ptj/81.2.810>
25. Ridao-Fernandez C., Ojeda J., Chamorro-Moriana G. Analysis of Spatial and Temporal Step Parameters During Crutch-Assisted Gait as a Dual-Task: A Pilot study. *Journal of Biomechanical Engineering*. 2018. No. 140(10).
26. Saranummi N., Korhonen I., Mattila E.M. Mobile and personal health and wellness management systems // *Pervasive Computing in Healthcare*. 2006. P. 105–134.
27. Steffen T.M., Hacker T.A., Mollinger L. Age- and gender related test performance in community-dwelling elderly people: Six-minute Walk Test, Berg Balance Scale, Timed Up & Go Test, and gait speeds. *Phys. Ther*. 2002. No. 82. P. 128–137.
28. Stolze H., Kuhtz-Buschbeck J.P., Drucke H., Johnk K., Illert M., Deuschl G. Comparative analysis of the gait disorder of normal pressure hydrocephalus and Parkinson's disease // *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry*. 2001. No. 70. P. 289–297. URL: <http://doi.org/10.1136/jnnp.70.3.289>
29. Wade D.T. Measurement in neurological rehabilitation. *Curr. Opin // Neurol. Neurosurg*. 1992. No. 5(5). P. 682–686.
30. Walsh J.M., Barrett A., Murray D., Ryan J., Moroney J., Shannon M. Modified rivermead mobility index: reliability and convergent validity in a mixed neurological population // *Disabil. Rehabil*. 2010. No. 32(14). P. 1133–1139. URL: <http://doi.org/10.3109/09638280903171576>

ESTIMATION OF THE LOCOMOTOR FUNCTION OF MAN IN HEALTH AND DISEASE USING “INDUCTION ANALYZER OF KINEMATIC WALKING PARAMETERS” DEVICE

V.S. Prokopenko (Krasnoyarsk, Russia)

V.P. Zhivaev (Krasnoyarsk, Russia)

S.V. Prokopenko (Krasnoyarsk, Russia)

V.S. Ondar (Krasnoyarsk, Russia)

M.V. Abroskina (Krasnoyarsk, Russia)

S.A. Subocheva (Krasnoyarsk, Russia)

S.B. Ismailova (Krasnoyarsk, Russia)

G. Zotin (Krasnoyarsk, Russia)

S.S. Kabysh (Krasnoyarsk, Russia)

Abstract

The problem and the goal. The diagnosis of the state of a patient locomotion is in demand in two social spheres: in medicine and in sports. Existing systems of multidimensional computerized video motion analysis (VAD) are informatively versatile, but in terms of the cost, operating conditions and requirements for service personnel they are available only to a few specialized centers. In medicine, in connection with the implementation of the federal post-stroke rehabilitation program aimed at reducing the level of disability of the population, quick operational diagnosis of a patient's locomotion has become a problem for practical healthcare institutions. Diagnosing the state of locomotion of an organism is a necessary stage both in determining the rehabilitation strategy and in the process of monitoring the effectiveness of rehabilitation procedures. The article discusses the results of the research the objectives of which were the design and study of the diagnostic capabilities of the Induction Analyzer of Kinematic Parameters of Walking (IAKPH) device intended, in particular, for use in the implementation of the program.

The research methodology included: the insight into the historical experience of experimental and clinical medicine on the problem; the search for existing solutions of the problem (at the level of patents and in the clinic); the choice of the physical principle of information display of the gait characteristics of the patient; the analysis of the elemental base of modern microelectronics and versions of the program-based conversion of the initial information into numerical values of diagnostically important parameters of walking; consideration of specific op-

erational conditions and ergonomic requirements for the device.

Results. The design was developed and a prototype of a mobile (wearable by the testee) diagnostic device, simple in design and in use, was manufactured. It can be used in rehabilitation medicine and in training athletes (walking, jogging). Diagnosis is based on the use of electromagnetic induction. Induction coupled coils (short multilayer solenoids) are located on the subject's legs. The emitting coil is powered by a current with a frequency of 1.5 kHz. The device allows you to record the electromagnetic signal in the form of oscillograms (“oscillograms of walking”) as well as individual characteristics of the gait in time and in two spatial dimensions (movements of the legs in the sagittal and frontal planes). Diagnostically important parameters are determined using a special computer program. Variants of the presentation and interpretation of test results are considered. They can be proposed in the form of tables of parameters, by plotting a “phase portrait” of walking, by comparing two “oscillograms of walking” (before and during rehabilitation procedures),

Conclusion. Experimental and clinical use of the mobile diagnostic IAKPH device (from 2010 – the prototype of the device, and a trial model beginning with 2018) showed that in terms of information capacity (as applied to walking), it is practically on the level of stationary systems of multidimensional computer video analysis (VAD) and can be recommended for licensing as a device for medical usage.

Keywords: locomotion, diagnostics, rehabilitation, stroke, hemiparesis, sport, electromagnetic induction, walking oscillogram, walking parameters, asymmetry, base of support.

References

1. Bykov D.Yu., Vasyuk V.E. The use of modern mobile hardware and software in assessing the technical readiness of skaters. // Applied sports science. 2011, pp. 11–17.
2. Zhivaev V.P., Prokopenko V.S., Prokopenko S.V., Ondar V.S., Lyapin A.V., Ig-natov S.V. Analyzer of kinematic parameters of human walking // Patent RUS 91837 10/26/2009.
3. Zhivaev V.P., Prokopenko V.S., Prokopenko S.V. Analyzer of kinematic parameters of human walking based on a laser rangefinder. // Medical equipment. 2011. No. 3, pp. 7–9.
4. Zhivaev V.P., Prokopenko V.S., Prokopenko S.V., Ondar V.S. Induction analyzer of kinematic parameters of walking // Patent RUS2598462 05/07/2015.
5. Ivanova G.E., Skvortsov D.V. Objective clinical analysis of gait. Overview // Bulletin of restorative medicine. 2015. No.4 (68), pp. 59–66.
6. Levin, O.S. Post-stroke motor disorders // Modern therapy in psychiatry and neurology. 2016. No.3, pp. 25–32.
7. Lyapin A.V., Ondar V.S., Abroskina M.V., Prokopenko S.V., Prokopenko V.S. Zhivaev V.P. The possibility of applying the method of objective assessment of walking parameters using a laser rangefinder in neurological patients // Siberian Medical Review. 2011. No. 3 (69), pp. 49–50.
8. Ondar V.S., Lyapin A.V., Prokopenko S.V., Abroskina M.V., Zhivaev V.P., Prokopenko V.S. Diagnosis of step asymmetry in central hemiparesis syndrome using an induction analyzer of walking parameters. // Siberian Medical Review. 2010, No. 3 (63), pp. 37–40.
9. Ondar V.S., Lyapin A.V., Prokopenko S.V., Narodova V.V. A new method for the registration of motor asymmetry in post-stroke hemiparesis syndrome // Proceedings of the III International Congress on Neurorehabilitation. M., 2011, pp. 125–126.
10. Ondar V.S., Lyapin A.V., Prokopenko S.V. Application of an induction analyzer of kinematic parameters of walking for the diagnosis of step asymmetry in central hemiparesis syndrome // Medical Academic Journal. 2010. No. 5, p. 26.
11. Parfenov V.A. // Post-stroke motor disorders // Medical Council. 2011. No. 11, pp. 8–14.
12. Pokhabov D.V., Abramov V.G. Violations of walking in parkinsonism, new opportunities in diagnosis, treatment and neuroprotection. // Bulletin of Siberian medicine. 2011. Vol. 10, No. 2, pp. 147–153.
13. Pokhabov D.V., Abramov V.G. Comparative evaluation of walking parameters in clinically healthy individuals and patients with Parkinson's disease and vascular stream-parkinsonism // Functional diagnostics. 2005. No. 3, pp. 68–71.
14. Pokhabov D.V., Kharabet I.M., Nazarov S.V., Ploskov M.T., Prokopenko S.V., Abramov V.G. A device for determining the step-speed characteristics of a person / Patent for invention RUS 232134503.10.206
15. Skvortsov D.V. Diagnostics of motor pathology by instrumental methods: gait analysis, stabilometry. M., 2007.
16. Skvortsov D.V., Ivanova G.E., Polyayev B.A., Stakhovskaya L.V. Diagnostics and testing of motor pathology with instrumental means // Bulletin of restorative medicine. 2013. No. 5, pp. 74–78.
17. Skvortsov D.V. Methods of kinematic movements research and modern standards // Therapeutic exercise and sports medicine. 2013. No. 2, pp. 2–8.
18. Spivak B.G., Petrushanskaya K.A., Gritsenko G.P. Medical indications and orthotics for patients with hemiparesis and impaired motor-lowering functions of the lower extremity after a stroke // Herald of regenerative medicine. 2011. No. 5, pp. 70–74.
19. Cattaneo D., Regola A., Meotti M. Validity of six balance disorders scales in persons with multiple sclerosis // DisabilRehabil. 2006. No. 28(12), pp. 789–95. URL: <http://doi.org/10.1080/09638280500404289>.
20. Chien S.L., Lin S.L., Liang C.C. The efficacy of quantitative gait analysis by the GAITRite system in evaluation of parkinsonian bradykinesia // Parkinsonism Relat. Disord. 2006. No. 12(7), pp. 438–442.

21. Goetz C.G., Tilley B.C., Shaftman S.R., Stebbins G.T., Fahn S., Martinez-Martin P., Poewe W., Sampaio C., Stern M.B., Dodel R., Dubois B., Holloway R., Jankovic J., Kulisevsky J., Lang A.E., Lees A., Leurgans S., LeWitt P.A., Nyenhuis D., Olanow C.W., Rascol O., Schrag A., Teresi J.A., van Hilten J.J., LaPelle N. Movement disorder society-sponsored revision of the unified parkinson's disease rating scale (MDSUPDRS): scale presentation and clinimetric testing results // *Mov.Disord.* 2008. No. 23, pp. 2129–2170. URL: <http://doi.org/10.1002/mds.22340>
22. Kuys S.S., Brauer S.G., Ada L. Test-retest reliability of the GAITRite system in people with stroke undergoing rehabilitation.// *Disabil. Rehabil.* 2011. No. 33(19–20), pp. 1848–1853.
23. Marchetti G.F., Whitney S.L. Construction and validation of the 4-item dynamic gait index. // *Phys. Ther.* 2007. No. 86: P.1651–1660. <http://doi.org/10.2522/ptj.20050402>
24. Morris S., Morris M., Iansek R. Reliability of measurements obtained with the Timed “Up & Go” test in people with Parkinson disease.// *PhysTher.* 2001;81: P.810-818. <http://doi.org/10.1093/ptj/81.2.810>
25. Ridao-Fernandez C., Ojeda J., Chamorro-Moriana G. Analysis of Spatial and Temporal Step Parameters During Crutch-Assisted Gait as a Dual-Task: A Pilot study. *Journal of Biomechanical Engineering.* 2018. No. 140(10).
26. Saranummi N., Korhonen I., Mattila E.M. Mobile and personal health and wellness management systems. In book: *Pervasive Computing in Healthcare, 2006*, pp. 105–134.
27. Steffen T.M., Hacker T.A., Mollinger L. Age- and gender related test performance in community-dwelling elderly people: Six-minute Walk Test, Berg Balance Scale, Timed Up & Go Test, and gait speeds. *Phys. Ther.* 2002. No. 82, pp. 128–137.
28. Stolze H., Kuhtz-Buschbeck J.P., Drucke H., Johnk K, Illert M., Deuschl G. Comparative analysis of the gait disorder of normal pressure hydrocephalus and Parkinson's disease // *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry.* 2001. No. 70, pp. 289–297. <http://doi.org/10.1136/jnnp.70.3.289>
29. Wade D.T. Measurement in neurological rehabilitation. *Curr. Opin.*// *Neurol.Neurosurg.* 1992. No. 5(5), pp. 682–686.
30. Walsh J.M., Barrett A., Murray D., Ryan J, Moroney J., Shannon M. Modified rivermead mobility index: reliability and convergent validity in a mixed neurological population // *Disabil. Rehabil.* 2010. No. 32(14), pp. 1133–1139. <http://doi.org/10.3109/09638280903171576>