

Клиническая оценка видеоаналитического профиля ходьбы

С.А. Лихачев, В.А. Лукашевич

Республиканский научно-практический центр неврологии и нейрохирургии (Минск, Республика Беларусь)

Нами предлагается система диагностики поструральных нарушений, выявляемых во фронтальной плоскости посредством аппаратно-программного комплекса видеонализа движений, с выделением видеоаналитического профиля голеностопных суставов. В основную группу вошли 19 пациентов с наличием мозжечковой атаксии. Контрольную группу составили 18 здоровых человек без координаторных нарушений и патологии опорно-двигательного аппарата. В ходе проведенного исследования выделены диагностически значимые и достоверно различимые видеоаналитические критерии пика «перелет» для больных, страдающих мозжечковой атаксией: 1) амплитуда подъема стопы над поверхностью диагностической ступеньки; 2) время установки стопы на поверхность диагностической ступеньки; 3) скорость опускания стопы на поверхность диагностической ступеньки; 4) соотношение времени выполнения подъема к общему времени выполнения движения Step; 5) наличие дополнительных пиков в период опоры, что имеет существенное значение при диагностике мозжечковых нарушений.

Ключевые слова: видеонализ движения, система поддержания равновесия, поструральные нарушения, мозжечковая атаксия, диагностика

В клинике часто встречаются неврологические симптомы и синдромы, обусловленные нарушениями в системе поддержания равновесия. Нарушения устойчивости в вертикальной позе до сих пор остаются наименее изученными. Между тем, они могут значительно ограничивать двигательную активность, приводя к снижению качества жизни, затруднению выполнения профессиональных обязанностей, а иногда и к невозможности самообслуживания. Следовательно, распознавание поструральных нарушений на начальных стадиях заболевания, когда лечебные и реабилитационные мероприятия особенно эффективны, является весьма актуальной проблемой неврологии. Поддержание постоянства позы в условиях изменяющейся среды обеспечивается реактивным поструральным контролем, реализующимся в виде различных поструральных стратегий, в частности, в виде «голеностопной поструральной стратегии» [3, 14]. Базисной его задачей является активация поструральных мышечных синергий с целью коррекции незапланированных внешних воздействий.

Одним из основных способов оценки выраженности поструральных нарушений является постурография в виде статического и динамического ее вариантов. При статической постурографии происходит анализ отклонений общего центра масс (ОЦМ). При динамической постурографии главным образом анализируется характер нарушений афферентных информационных каналов и степень их участия в обеспечении поструральной устойчивости. При этом остается актуальным вопрос создания простых в применении и трактовке полученной информации диагностических методов для локомоторных нарушений при заболеваниях, сопровождающихся поструральной дисфункцией. В настоящее время объективизация и диагностика нарушений двигательных функций человека являются наиболее сложной проблемой в сфере биомеханики, а исследования в этой области зачастую носят описательный характер [11, 17]. Во многих руководствах приводятся различные показатели основного вида локомоторной функции — ходьбы, с рас-

пределением по возрастам и по различным нозологиям [5, 17]. Но в клинической (а тем более в амбулаторной) практике данная информация не находит должного применения по следующим причинам: 1) громоздкость и затруднение одномоментной регистрации локомоции смежных суставов за счет значительных ограничений их подвижности (с помощью датчиков угла, прикрепленных к исследуемому кинематическому звену) [8]; 2) трудоемкость и размер помещений, требуемых для проведения исследований при выполнении импегнационных методик [7]; 3) экономически неоправданное использование высокоточной аппаратуры при электроихнографии [6] и т.д.

Перспективным инструментом диагностики локомоторных функций человека являются оптические системы. Их главное отличие состоит в возможности дистанционной регистрации двигательного акта, без установления на тело испытуемого устройств (датчиков, кабелей), ограничивающих его свободное перемещение. При применении видеонализа движений регистрация локомоторных функций осуществляется в сагитальной плоскости и охватывает конкретные звенья локомоторной системы. Недостатком этих методов является высокая вариабельность полученных данных [4, 6].

Высокая значимость голеностопного сустава в обеспечении поструральной устойчивости доказана корреляцией изменения его угла с отклонением корпуса [2, 10]. Также в ряде исследований показано, что стимуляция мышц голени, участвующих в обеспечении поструральной устойчивости, приводит к изменению положения тела только во фронтальной плоскости [12]. При этом функция мышц голени, являющихся наиболее активным динамическим компонентом в статике [1, 13], заключается и в осуществлении регулирования поструральных возмущений [15, 16].

Целью исследования явилась клиническая оценка диагностики нарушения ходьбы посредством метода видеозахвата и видеонализа шагового движения.

Характеристика больных и методов исследования

Аппаратно-программный комплекс

Нами предлагается система диагностики постуральных нарушений, выявляемых во фронтальной плоскости посредством аппаратно-программного комплекса видеонализа StarTrase при выполнении функционально усложненного шагового движения Step.

Непосредственно аппаратно-программный комплекс состоит из: 1) цифровой видеокамеры, посредством которой осуществляют съемку исследуемого двигательного акта; 2) маркеров для выделения исследуемых локомоторных звеньев; 3) программного обеспечения, осуществляющего видеозахват и распознавание маркеров, а также цифровую обработку полученных данных; 4) диагностической ступеньки, на которую обследуемый пациент совершает шаговое движение; 5) тест-объекта, необходимого для преобразования траектории движущихся маркеров в цифровые выражения (рис. 1, 2).

Исследование начинается с видеосъемки неподвижного тест-объекта, размещенного на уровне расположения пациента и имеющего вид прямоугольного треугольника со сторонами известной длины. Пациенту излагают суть проводимой методики и поясняют, что шаговое движение начинается сразу же после фразы проводящего исследование специалиста – «начинаем движение». Это делается для синхронизации при последующей оцифровке. Так как в основе диагностической системы лежит оценка динамики изменения значений вертикальных координат (ОУ) дистальных отделов ног как наиболее четких индикаторов локомоторной несостоятельности при дисфункции постуральной системы, то для осуществления аппаратного видеозахвата двигательного акта специальные маркеры закреплялись перпендикулярно оси нижних конечностей, чуть выше голеностопного сустава, по наружной его поверхности. Таким образом, активная часть маркера выступала сзади и располагалась примерно на уровне ахилового сухожилия. При подобном смещении мар-

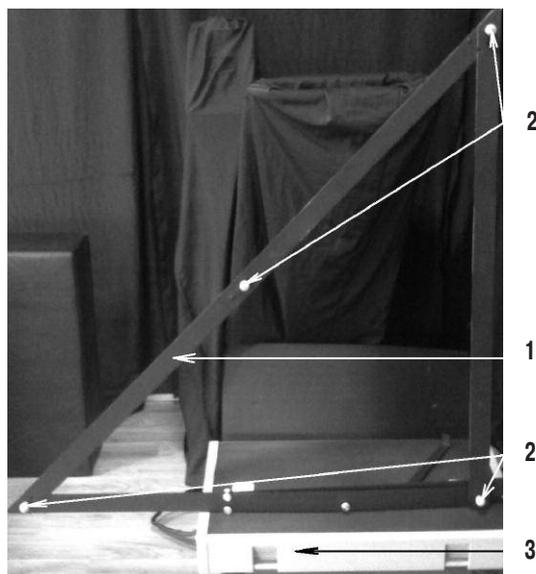


рис. 1: Тест-объект, расположенный на диагностической ступеньке: 1 – тест-объект; 2 – маркеры тест-объекта; 3 – диагностическая ступенька

кера методика более чувствительна к девиациям опорной стопы, в частности, при переносе общего центра масс с пятки на носок и наоборот. В процессе выполнения движения Step регистрировались вертикальные координаты голеностопных суставов с частотой кадрирования в 0,02 с (200 Гц), при этом выводился графический профиль перемещения выбранных анатомических ориентиров, названный нами *видеоаналитический профиль (ВАП)*.

Тестируемое шаговое движение Step

Известно, что общий цикл шага разделяется на цикл правой ноги и цикл левой ноги; в свою очередь, каждый из них разделяется на период двойной опоры и период одиночной опоры (для опорной ноги) или период переноса (для неопорной ноги). Исходным положением в выполнении движения Step считается расположение обследуемого лица на расстоянии длины его собственной ладони от ступеньки (высота ступеньки – 220 мм), при этом ноги располагаются на ширине плеч. В течение всего периода выполнения диагностического теста взор испытуемого фиксируется на зрительном объекте, представляющем собой круглый маркер белого цвета диаметром 5 см, который прикреплялся на уровне глаз на черной шторе на расстоянии 1,5 м. Перед выполнением шагового теста пациенту дается возможность проделать несколько тренировочных циклов.

Вышеуказанный период расположения пациента с опорой на обе ноги перед платформой обозначается как *период двойной опоры (ПДО) Low (№ 1)*. Во время выполнения теста происходит чередование периодов двойной опоры с периодами одиночной опоры. Далее, по сигналу, пациент поднимает вверх левую ногу, переносит ее вперед и опускает на платформу. Момент отрыва левой стопы от опорной поверхности является началом *периода переноса (ПП) Up левой ноги (№ 2)* и продолжается до момента постановки стопы на платформу. Далее начинается *период двойной опоры ПДО Sin (№ 3)*, при котором обе ноги соприкасаются с опорными поверхностями: левая – с платформой, правая – с полом.



рис. 2: Выполнение пациентом шагового движения на платформу: 1 – диагностическая ступенька; 2 – маркеры для видеозахвата

Следующий период – *период переноса (ПП) Ур правой ноги (№ 4)*, он абсолютно схож с ПП Ур левой ноги. Далее идет ПДО High (№ 5). Период характеризуется контактом обеих стоп с платформой. Затем левая нога сходит с платформы – ПП Down левой ноги (№ 6) и опускается на поверхность пола – ПДО Dex. (№ 7). То же движение выполняет правая нога – ПП Down правой ноги (№ 8). Завершается цикл постановкой правой ноги рядом с левой, у платформы – ПДО Low (№ 9). Далее вышеобозначенные периоды повторяются для цикла правой ноги, при котором движение начинается соответственно с правой ноги. В результате движения Step состоит из 18 периодов.

Пациенты и контрольная группа

В основную группу вошли 19 пациентов с наличием мозжечковой атаксии. Из них 12 человек (десять мужчин и две женщины) в возрасте от 20 до 40 лет страдали рассеянным склерозом (РС) со стволово-мозжечковым синдромом в стадии ремиссии. Первые признаки заболевания у всех были обнаружены в возрасте до 35 лет. Длительность заболевания варьировала от нескольких месяцев до пяти лет: до одного года – у четырех (33,3%) больных, от года до трех лет – у шести (50%), от трех до пяти лет – у двоих (16,7%). Первично-прогредиентное течение имело место у одного (8,3%) больного, у остальных (91,7%) – отмечалось вторично-прогредиентное течение. Ведущим клиническим синдромом у больных РС являлся мозжечковый, характеризующийся атактической походкой, интенционным дрожанием, мимопаданием при выполнении координаторных проб, неустойчивостью в пробе Ромберга. Мышечный тонус был изменен по гипотоническому типу у восьми (66,6%) больных, по спастическому типу – у двоих (16,7%), у двоих пациентов отмечалось сочетание повышения тонуса в одних конечностях и нормального или пониженного тонуса – в других. У шести пациентов выявлено повышение сухожильных рефлексов с расширением рефлексогенных зон, еще у шести – гиперрефлексия сочеталась с анизорефлексией. Поражение зрительной сферы выявлено у восьми (66,6%) больных. Во всех случаях выявлялся синдром клинической диссоциации, проявляющийся нормальной остротой зрения при изменениях глазного дна, координаторными нарушениями без жалоб на головокружение, изменением рефлексов без изменения мышечной силы.

Семь больных (пять мужчин и две женщины) в возрасте от 27 до 46 лет имели мозжечковую атаксию дегенеративного генеза (оливопонтоцеребеллярная дегенерация и другие формы). При МРТ головного мозга выявлялся диффузный или локальный (в области мозжечка) атрофический процесс. Длительность заболевания составила от одного года до шести лет: от одного года до трех лет – у двоих (28,6%) пациентов, от трех до шести лет – у пяти (71,4%). Во всех наблюдениях в клинической картине выявлялись умеренно выраженные координаторные нарушения в виде статической и динамической мозжечковой атаксии, изменение мышечного тонуса по типу гипотонии выявлено у пяти (71,4%) больных.

Контрольную группу составили 18 здоровых человек без координаторных нарушений и патологии опорно-двигательного аппарата в возрасте от 18 до 32 лет (соотношение мужчин и женщинам 1:1).

Результаты и обсуждение

Видеоаналитический профиль здорового человека имеет П-образную форму с нижним и верхним плато, которые образуют периоды двойной и одиночной опоры и не содержат каких-либо дополнительных зубцов (рис. 3А). Ровная линия горизонтального направления свидетельствует об устойчивости стоп при выполнении шагового движения. Верхнее плато отражает пребывание испытуемого на ступеньке и имеет два пика «перелета». Их физиологический смысл заключается в следующем. При установке ноги на ступеньку она поднимается на высоту, немного превосходящую высоту самой ступеньки, и наоборот, при сходе ноги со ступеньки она вначале немного приподнимается над поверхностью и лишь затем опускается вниз. В норме амплитуда (А) этих пиков (рис. 3Б) варьирует от 45,4 до 123,9 мм ($75,25 \pm 2,2$ мм). Очевидно, имеет значение и время, в течение которого стопа приподнимается над поверхностью ступеньки для последующей установки на нее либо на пол; в норме это от 0,42 до 0,89 с ($0,64 \pm 0,06$ с), что составляет 4,56–9,67% ($6,96 \pm 0,08\%$) к общему циклу выполнения движения Step. Отношение амплитуды движения ко времени его осуществления – число, которое косвенно отражает скорость (V) выполнения движения, при этом его значения варьировали от 108,09 до 156,42 мм/с ($117,58 \pm 3,08$ мм/с).

Наблюдение 1. Испытуемый К., 32 года. Жалоб не предъявляет, считает себя здоровым. Спортом не занимается, однако выполняет утреннюю гимнастику с отягощениями. Служил в Вооруженных силах; работает инженером-программистом. По результатам объективного обследования – соматически и неврологически здоров. Проведено исследование шагового движения Step на комплексе видеоанализа движений. ВАП приведен на рис. 3А. Кривые движения стоп не имеют дополнительных зубцов. Пики «перелетов» установки стопы на поверхность ступеньки и снятия ее практически симметричны, их высота колеблется от 75,41 до 84,11 мм, время установки стопы на поверхность диагностической ступеньки – от 0,51 до 0,58 с ($4,81$ – $5,47\%$ к общему времени выполнения всего шагового движения). Ориентировочная скорость выполнения движения составила 147,9 мм/с. Двойной черной линией сверху над ВАП обозначен период двойной опоры, одиночной – период одиночной опоры. Движения правой и левой нижней конечности имеют равновеликие параметры. Таким образом, шаговое движение в норме характеризуется отсутствием дополнительных установочных пиков в периоде опоры, низкой амплитудой «перелетов» и небольшой их скоростью.

При наличии атаксии и других симптомах поражения нервной системы у больных РС и мозжечковыми дегене-

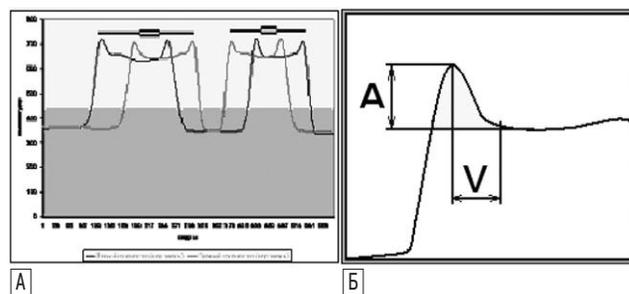


рис. 3: Видеоаналитический профиль стоп здорового испытуемого

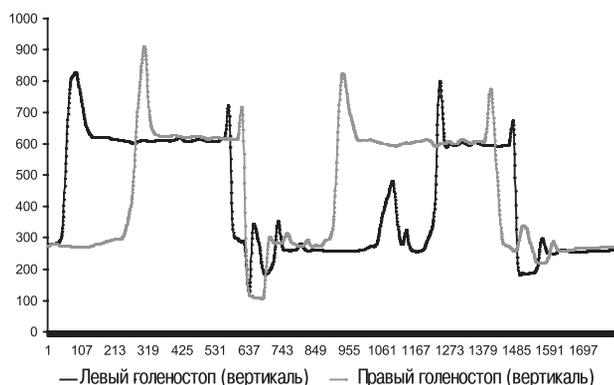


рис. 4: Видеоаналитический профиль стоп пациента, страдающего атаксией

рациями высота П-образных зубцов не отличается от той, которая выявлялась в норме (рис. 4). Однако в период двойной и одиночной опоры выявляются дополнительные зубцы, свидетельствующие о «перетоптывании» пациента с целью сохранения равновесия и о невозможности начать движение точно. Пики «перелетов» имеют другую форму – они выше, их амплитуда составляет от 150,64 до 310,18 мм ($226,83 \pm 3,1$ мм), время их выполнения гораздо короче – от 0,17 до 0,39 с ($0,26 \pm 0,04$ с), что составляет 0,92–2,12% к общему времени выполнения всего шагового движения. В результате скорость выполнения «перелетов» становится гораздо выше – от 795,33 до 886,12 мм/с ($832,42 \pm 12,64$ мм/с). Это говорит о том, что движение больного значительно размашистее, чем в норме. Он стремится сохранить равновесие в период переноса и как следствие быстрее завершить его. В табл. 1 приведены значения критериев ВАП для здоровых людей и пациентов, страдающих мозжечковой атаксией при РС.

Наблюдение 2. Пациент Л., 35 лет. Поступил с жалобами на шаткость при ходьбе, неловкость при выполнении мелких движений, чувство опьянения. Болен в течение восьми лет. В возрасте 27 лет появилось снижение зрения на левый глаз, выпадение участков зрительного поля. Симптомы исчезли через два месяца. Лечился по поводу ретробульбарного неврита, в течение трех лет наблюдалась ремиссия. Затем появились чувствительные расстройства (гиперестезия, гиперпатия левой половины тела) и пошатывание при ходьбе. На МРТ головного мозга выявлялись перивентрикулярные очаги демиелинизации. В ходе лечения кортикостероидами наступило улучшение: чувствительные нарушения исчезли, пошатывание при ходьбе уменьшилось.

таблица 1: Критерии ВАП для здоровых лиц и пациентов, страдающих мозжечковой атаксией при рассеянном склерозе

		Амплитуда подъема, мм	Время установки, с	Соотношение с общим временем, %	Скорость, мм/с
Здоровые люди	диапазон значений	45,45–123,91	0,42–0,89	4,56–9,67	108,09–156,42
	средняя величина	$75,25 \pm 2,2$	$0,64 \pm 0,06$	$6,96 \pm 0,08$	$117,58 \pm 3,08$
Пациенты с атаксией	диапазон значений	150,64–310,18	0,17–0,39	0,92–2,12	795,33–886,12
	средняя величина	$226,83 \pm 3,1$ ($p < 0,05$)	$0,26 \pm 0,04$ ($p < 0,05$)	$1,41 \pm 0,03$ ($p < 0,05$)	$832,42 \pm 12,64$ ($p < 0,05$)

Очередное обострение наступило через три года: значительно усилилась атаксия туловища, появилась слабость в правой руке. Вновь лечился глюкокортикостероидами с умеренным и неполным эффектом.

При осмотре: больной эйфоричен. Горизонтальный нистагм в обе стороны; элементы межъядерной офтальмоплегии. Сглажена правая носогубная складка. Девиация языка вправо. Мышечная сила достаточная, тонус мышц низкий. Сухожильные и периостальные рефлексы высокие, с расширением зон (D > S). Брюшные и подошвенные рефлексы отсутствуют. Патологически знаки Россолимо с обеих сторон. Пальценосовую и пяточно-коленную пробу выполняет с интенцией, адиодохокинез с обеих сторон. Походка с умеренной атаксией. Гиперестезия на стопах. Обследован отоневрологом – умеренный стволово-мозжечковый синдром. Акустические стволовые вызванные потенциалы: замедление проведения слуховой афферентации на медулло-понтотомезенцефальном уровне, более выраженное справа.

При проведении исследования шагового движения Step пациента Л. (рис. 4) в ВАП регистрируется большое количество дополнительных пиков в периоде одиночной опоры. П-образные волны правой и левой ноги имеют различную продолжительность, они асимметричны. Амплитуда пиков «перелета» достигает 285,37 мм. Время установки стопы на поверхность диагностической ступеньки вариативно от 0,19 до 0,22 с, что составляет 0,99–1,15% к общему времени выполнения всего шагового движения, а показатели скорости подъема стопы достигают до 1,29 м/с. Таким образом, у данного пациента симптомы мозжечковой атаксии удастся объективизировать с помощью программы Step.

В результате проведенного исследования доказано, что методика диагностики нарушения ходьбы, основанная на выделении видеоаналитического профиля голеностопных суставов, позволяет объективизировать как динамику вертикальных девиаций дистальных отделов нижних конечностей, так и характер угловых колебаний в голеностопном суставе в опорных периодах исследуемой конечности, что значительно облегчает диагностику нарушения походки и объективизирует данные нарушения.

Таким образом, нами выделены диагностически значимые и достоверно различимые видеоаналитические критерии пика «перелет» для больных, страдающих мозжечковой атаксией, в виде:

- 1) амплитуды подъема стопы над поверхностью диагностической ступеньки;
- 2) времени установки стопы на поверхность диагностической ступеньки;
- 3) скорости спуска стопы на поверхность диагностической ступеньки;
- 4) соотношения времени выполнения подъема к общему времени выполнения движения Step;
- 5) наличия дополнительных пиков в период опоры, что имеет существенное значение при диагностике мозжечковых нарушений.

Список литературы

1. Гурфинкель В.С., Коц Я.М., Шик М.Л. Регуляция позы человека. М.: Медицина, 1965.
2. Гурфинкель В.С., Липшиц М.И., Мори С., Попов К.Е. Стабилизация положения корпуса – основная задача позы регуляции. Физиология человека 1981; 3: 400–410.
3. Карпова Е.А., Иванова-Смоленская И.А., Черникова Л.А., Иллариошкин С.Н. Постуральные нарушения при болезни Паркинсона. Неврол. журн. 2003; 2: 36–42.
4. Лихачев С.А., Лукашевич В.А. К вопросу применения методики видеонализа движений. Мед. новости 2008; 12: 38–44.
5. Скворцов Д.В. Клинический анализ движений. Анализ походки. М.: МБН, 1996.
6. Солопова И.А., Иваненко Ю.П., Левик Ю.С. Позные вибрационные реакции человека во фронтальной плоскости при стоянии на различных типах неустойчивых опор. Физиология человека 2002; 3: 76–81.
7. Фишкин И.В. Восстановительное лечение закрытых переломов пяточной кости с применением устройства для внешней фиксации: Дис. ... канд. мед. наук. Иваново, 1986.
8. Чирсков М.Я. Задачи и методы экспериментального исследования механических параметров протезов. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1954.
9. Янсон Х.А., Гольдштейн И.З. Устройство для регистрации перемещения человека при ходьбе. А.с. СССР № 479473, 1975.
10. Bonnet M., Gurfinkel V.S., Lipshits M.I., Popov K.E. Central programming of lower limb muscular activity in the standing man. Agressolc 1976; 17: 35.
11. Gage J.R. Gait analysis in cerebral palsy. Mac Keith Press, 1991.
12. Ivanenko Y.P., Solopova I.A., Levik Y.S. The direction of postural stability affects postural reactions to ankle muscle vibration in humans. Neurosci. Lett. 2000; 292: 103.
13. Mori S. Servo-control of quiet standing. Amsterdam: Excerpta Medica, 1972.
14. Nashner L.M., McCollum G. The organization of human postural movements: a formal basis and experimental synthesis. Behav. Brain Sci. 1985; 8: 135–172.
15. Nashner L.M. Sensory feedback in human posture control. Cambridge: Mass M. I. T., 1970.
16. Nashner L.M. Vestibular and reflex control of normal standing. In: Stein R. et al. (ed.). Control of posture and locomotion. N.Y.: Plenum Press, 1973: 291.
17. Perry J. Gait analysis normal and pathological function. SLACK Inc., 1992.

Clinical assessment of the gait video-analytic profile

S.A. Likhachev, V.A. Lukashevich

Republican Research and Practical Centre of Neurology and Neurosurgery (Minsk, Belarus)

Key words: video-analysis of motion, system for maintenance of balance, postural disturbances, cerebellar ataxia, diagnostics

We propose a system for the diagnostics of postural disturbances that may be revealed in the frontal surface with an original complex of motion video-analysis, with allocation of video-analytic profile of the ankle-joints. Main group comprised 19 patients with cerebellar ataxia, and control group comprised 18 healthy individuals without coordination problems and pathology of musculo-skeletal locomotor system. In this study, we determined diagnostically significant and distinguishable video-analytic criteria of the “over the

target” peak for patients suffering from cerebellar ataxia: 1) amplitude of foot raising over the surface of the “diagnostic step”; 2) time of foot placing on the surface of the “diagnostic step”; 3) speed of foot descent on the surface of the “diagnostic step”; 4) ration of time of execution of foot raising to total time of execution of the movement “Step”; 5) presence of additional peaks in the support period, which is of importance in the diagnosis of cerebellar disturbances.

Контактный адрес: Лихачев Сергей Алексеевич – докт. мед. наук, проф., зав. неврологическим отделом Республиканского научно-практического центра неврологии и нейрохирургии. Республика Беларусь, г. Минск 220114, ул. Ф. Скорины, 24. Тел.: +375-29-148-34-02; e-mail: sergeilikhachev@mail.ru

В.А. Лукашевич – канд. мед. наук, науч. сотр. неврологического отдела Республиканского научно-практического центра неврологии и нейрохирургии (Минск, Республика Беларусь)