

Гурский И.С., Лихачёв С.А., Ващилин В.В., Буняк А.Г.

УДК 616.858-06:616.8-009.17  
DOI 10.25694/URMJ.2018.11.16

## Нарушения произвольного постурального контроля при болезни Паркинсона и возможности их реабилитации по данным видеоанализа движений

РНПЦ неврологии и нейрохирургии, неврологический отдел, Минск, Беларусь.

Goursky I.S., Likhachev S.A., Vashchilin V.V., Bunyak A.G.

### Impairment of voluntary postural control in Parkinson's disease and possibilities of its rehabilitation according to videomotion analysis

#### Резюме

Постуральная неустойчивость является одним из частых проявлений болезни Паркинсона (БП), приводящим к учащению падений и случаев травматизации, дополнительно снижающих качество жизни, и могущих стать причиной летального исхода. Целью настоящего исследования явилось выявление нарушений произвольного постурального контроля и возможностей их реабилитации у пациентов с болезнью Паркинсона (БП), с использованием методик видеоанализа движений и биологической обратной связи. Использовался аппаратно-программный комплекс для осуществления анализа движений и биологической обратной связи на основе метода видеоанализа движений, созданный в рамках работ по заданию 3.3.01 государственной программы научных исследований «Конвергенция», № госрегистрации 20130014 от 17-01-2013, отчет № ГР 20151733. Диагностика статокинетических нарушений методом видеоанализа движений и биологической обратной связи выполнена в группе пациентов БП (87 пациентов). В ходе проводимых реабилитационных мероприятий, включая тренировки с биологической обратной связью, выявляется статистически значимый рост показателей произвольного постурального контроля (парный тест Wilcoxon, асимметричная альтернативная гипотеза,  $p < 0.05$ ). **Ключевые слова:** болезнь Паркинсона, постуральная неустойчивость, видеоанализ движений, реабилитация, биологическая обратная связь

#### Summary

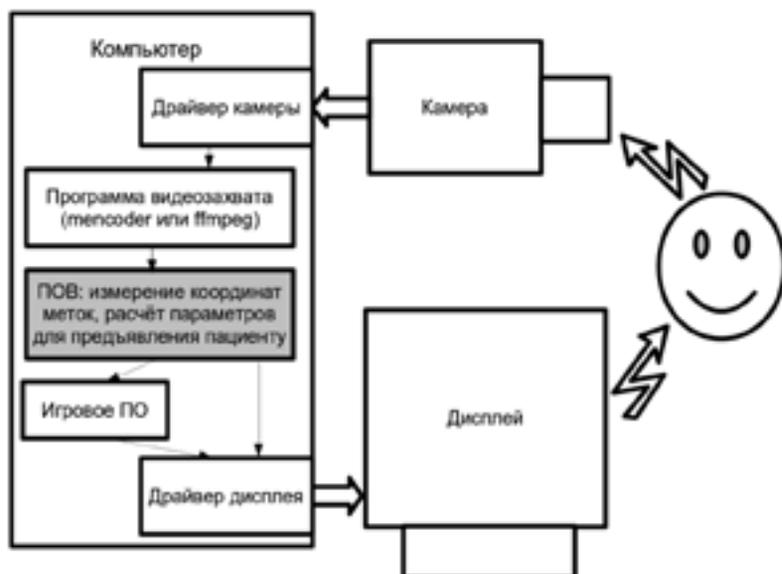
Impairment of locomotion and balance are common symptoms of Parkinson's disease (PD). Postural instability leads to an increased frequency of falls and traumatization in these patients, which contribute to reduced quality of life and mortality. The objective of the research was to study impairment of voluntary postural control and possibilities of its rehabilitation in the patients with PD, utilizing methods of videomotion analysis and biological feedback. We studied 87 patients with PD, using system for videomotion analysis. During the course of rehabilitation, which includes biofeedback training, we observed statistically significant increase of quotients, which reflect quality of voluntary postural control (paired Wilcoxon test, asymmetric alternative hypothesis,  $p < 0.05$ ).

**Keywords:** Parkinson's disease, postural instability, videomotion analysis, biofeedback

#### Введение

Нейродегенеративные заболевания, такие как болезнь Паркинсона (БП) и синдромы «паркинсонизм-плюс», являются одной из основных причин неврологической инвалидизации. Одним из симптомов БП является нарушение локомоции и поддержания равновесия. Постуральная неустойчивость приводит к учащению падений и травматизации у пациентов с БП, что дополнительно снижает качество жизни и может стать причиной летального исхода (например, при тяжелой ЧМТ, переломе бедра).

Основные биомеханические нарушения при БП включают гипокинезию, брадикинезию, ригидность, тремор покоя и, на поздних стадиях, постуральную неустойчивость и постуральные деформации. Хотя классические симптомы БП не включают парезов, в литературе имеются указания на снижение мышечной силы у больных БП, которые могут включать как собственно снижение силы, так и сниженную скорость нарастания усилия, и невозможность поддерживать постоянное усилие, и избыточную коактивацию мышц в заданиях на поддержание равновесия. Очевидно, что данные нарушения, хотя и не



**Рисунок 1. Архитектура аппаратно-программного комплекса видеозахвата с биологической обратной связью**

включены в классические шкалы оценки двигательных нарушений при БП (например, шкалу UPDRS), тем не менее, вносят вклад в ухудшение качества жизни при БП, и могут приводить к учащению падений и случаев травматизма, и, следовательно, нуждаются в коррекции [1, 2, 3].

Для БП существует патогенетическое лечение, включающее различные группы противопаркинсонических препаратов, и для некоторых категорий пациентов – методы функциональной нейрохирургии. В отношении таких симптомов, как застывание при ходьбе и падения, эффективность медикаментозных и хирургических методов лечения является ограниченной. В связи с этим является актуальной разработка методов диагностики и методик физической реабилитации нарушений поддержания вертикальной позы при БП.

Нами разработан аппаратно-программный комплекс для осуществления анализа движений и биологической обратной связи на основе метода видеоанализа движений в рамках работ по теме НИР «Разработка и создание аппаратно-программного комплекса видеозахвата с биологической обратной связью, предназначенного для сенсомоторного перепрограммирования» по заданию 3.3.01 «Разработка технологий коррекции нарушений информационно-управляющих интегративных систем мозга при когнитивных расстройствах разной этиологии. Конструирование искусственных нейронных сетей с целью повышения эффективности диагностики заболеваний мозга и корректирующего научения с помощью биологической обратной связи» государственной программы научных исследований «Конвергенция», 2011-2015 гг., № госрегистрации 20130014 от 17-01-2013, отчет № ГР 20151733 [4, 5].

Использование данного аппаратно-программного комплекса по сравнению с использованием стабилоплатформы является более доступным и дешёвым, так как

отсутствует необходимость приобретения дорогого оборудования – стабилоплатформы. При этом имеется возможность оценки смещений туловища пациента в горизонтальной плоскости и осуществления биологической обратной связи, в том числе через зрительные стимулы, что воспроизводит основную функциональность стабилоплатформы и её программного обеспечения.

**Целью** настоящего исследования явилось выявление нарушений произвольного пострурального контроля и возможностей их реабилитации у пациентов с болезнью Паркинсона (БП), с использованием методик видеоанализа движений и биологической обратной связи.

## Материалы и методы

Диагностика статокинетических нарушений методом видеоанализа движений и биологической обратной связи выполнена в группе пациентов с БП, включающей 87 пациентов, которые на момент проведения исследования не были подвергнуты функциональному нейрохирургическому лечению (имплантации DBS или деструктивным операциям). Медиана возраста группы составила 60 лет (минимум 33, максимум 79 лет), медиана стадии по Хен-Яру – 2.5 (1-3 стадии).

Статистическая обработка данных осуществлялась в программном пакете R [6]. Использовались непараметрические статистические методы; статистически значимыми различия между группами и корреляция переменных считались при  $p < 0.05$ .



**Рисунок 2. Схема расположения цветных маркеров на теле пациента. Placement of painted labels on the patient's body**

Видеоанализ движений туловища пациента и биологическая обратная связь осуществлялись с использованием разработанной нами программы обработки видеозаписей (ПОВ), преобразующей доступное оборудование (персональный компьютер с монитором и USB-видеокамерой) в аппаратно-программный комплекс видеозахвата с биологической обратной связью (рисунки 1, 2).

ПОВ оценивает смещения туловища пациента по закреплённым в области плечевых суставов и на передней брюшной стенке по средней линии контрастным цветным маркерам сферической формы. Распознавание координат маркеров и предъявление пациенту обратной связи происходит в реальном времени с минимальной задержкой.

При проведении сеанса на экране компьютера отображаются две отметки – отметка пациента (ОП), которая отражает перемещения туловища пациента, и мишень, перемещающаяся по заданному алгоритму (зависимо или независимо от движений пациента). Перемещение ОП показывает смещения туловища пациента относительно опоры: ОП смещается вверх при движении туловища вперёд, вниз – при движении туловища назад, влево и вправо – при движении туловища влево и вправо соответственно. Перемещение мишени может осуществляться по двум алгоритмам:

I. Алгоритм «Синусоида»: Координаты мишени изменяются независимо от движений пациента по синусоидальному закону, при этом частота изменения координаты Y в 2 раза выше, чем координаты X, которая в данном исследовании составляла 0.05 Гц. Продолжительность сеанса составляет 5 мин для пациентов с БМН и 10 мин для пациентов с БП; через каждые 2.5 мин направление движения мишени изменяется на противоположное.

Для оценки качества выполнения пациентом данной пробы рассчитываются коэффициенты корреляции по Спирмену:

1) КППКф (коэффициент произвольного постурального контроля во фронтальной плоскости) – между координатой X отметки пациентка и координатой X мишени, который характеризует качество выполнения движений во фронтальной плоскости.

2) КППКс (коэффициент произвольного постурального контроля в сагиттальной плоскости) – между координатой Y отметки пациентка и координатой Y мишени, который характеризует качество выполнения движений в сагиттальной плоскости.

II. Алгоритм «Скачки»: Скачкообразное перемещение мишени при попадании (перекрытии наполовину и более). При этом новая координата Y мишени выбирается случайно равной  $y_0 - dy$  или  $y_0 + dy$ , а координата X выбирается случайным образом в интервале  $[x_0 - dx; x_0 + dx]$ , где  $x_0$  и  $y_0$  – координаты центра экрана,  $dx$  и  $dy$  – настраиваемые параметры, задающие диапазон перемещений мишени. Продолжительность сеанса составляет 5 мин.

Диагностика и тренировка по описанным методикам выполнялись у пациентов, способных к самостоятельной ходьбе без опоры, вне обострения соматических

заболеваний и психозов. У пациентов с БП исследования проводились в «он»-период.

## Результаты и обсуждение

Значения размера выборки N, медианы, 25-го и 75-го центилей для значений коэффициента произвольного постурального контроля во фронтальной плоскости (КППКф) и в сагиттальной плоскости (КППКс) лучших попыток составили:

I. Для всех пациентов с БП: N=87, КППКф 0.925 [0.849; 0.960], КППКс 0.864 [0.697; 0.932].

II. Подгруппа пациентов без клинически выявляемой постуральной неустойчивости (стадии 1-2 по Хен-Яру): N=33, КППКф 0.950 [0.880; 0.966], КППКс 0.920 [0.783; 0.945].

III. Подгруппа пациентов с клинически выявляемой постуральной неустойчивостью (стадии 2.5-3 по Хен-Яру): N=54, КППКф 0.907 [0.833; 0.957], КППКс 0.842 [0.658; 0.913].

Значения показателей КППКс и КППКф коррелируют с клинически выявляемой стадией БП. Коэффициент корреляции Spearman стадии по Хен-Яру и значения КППКф составил  $-0.342$ ,  $p=0.00059626$  ( $p<0.05$ ), для КППКс составил  $-0.388$ ,  $p=0.00010062$  ( $p<0.05$ , альтернативная гипотеза – коэффициент корреляции  $\rho_0 < 0$ ). Таким образом, выявленные нами нарушения произвольного постурального контроля при БП характеризуются снижением коэффициентов КППКф и КППКс.

61 пациенту с БП проведено 3 и более сеансов тренировок с биологической обратной связью. У 14 пациентов с БП отмечено статистически значимое улучшение показателей произвольного постурального контроля в ходе реабилитации (непараметрический коэффициент корреляции Spearman,  $p<0.05$ ). Статистически достоверного ухудшения показателей не отмечено.

76 пациентам с БП проведено 2 и более сеансов тренировок с биологической обратной связью. Результаты сравнения показателей произвольного постурального контроля во время первого и последнего сеансов тренировок в группе пациентов с БП представлены в таблице 1.

Количественно эффект реабилитационных мероприятий выражался отношениями медианы разности показателя после и до курса к медиане показателя до проведения курса:

$$гф = 100\% * \text{median} (\text{КППКф\_после} - \text{КППКф\_до}) / \text{median} (\text{КППКф\_до})$$
$$гс = 100\% * \text{median} (\text{КППКс\_после} - \text{КППКс\_до}) / \text{median} (\text{КППКс\_до})$$

Выявлен статически значимый (парный критерий Wilcoxon, асимметричная альтернативная гипотеза,  $p<0.05$ ) рост показателей КППКс и КППКф как для всех пациентов с БП вместе взятых, так и в выделенных подгруппах пациентов без клинически выявляемой постуральной неустойчивости (стадии 1-2 по Хен-Яру) и с клинически выявляемой постуральной неустойчивостью (стадии 2.5-3 по Хен-Яру). В подгруппе пациентов без клинически выявляемой постуральной неустойчивости рост КППКф составил 3.9%, и рост КППКс – 6.0%, а в подгруппе паци-

Таблица 1. Результаты сравнения показателей произвольного пострального контроля во время первого и последнего сеанса.

	Все пациенты с болезнью Паркинсона / All patients with Parkinson's disease	Болезнь Паркинсона без клинически выявляемой постральной неустойчивости (стадии 1-2 по Хен-Яхр) / Parkinson's disease without clinically observed postural instability (Hoehn and Yahr stages 1-2)	Болезнь Паркинсона с клинически выявляемой постральной неустойчивостью (стадии 2.5-3 по Хен-Яхр) / Parkinson's disease with clinically observed postural instability (Hoehn and Yahr stages 2.5-3)
Число пациентов / Number of patients	76	29	47
p для коэффициента произвольного пострального контроля во фронтальной плоскости / p for the quotient of voluntary postural control in frontal plane	0.00000024*	0.00014963*	0.00003193*
Медиана коэффициента произвольного пострального контроля во фронтальной плоскости исходная / Median of the baseline quotient of voluntary postural control in frontal plane	0.868	0.906	0.833
Медиана коэффициента произвольного пострального контроля во фронтальной плоскости конечная / Median of the final quotient of voluntary postural control in frontal plane	0.929	0.953	0.911
Медиана разности (коэффициент произвольного пострального контроля во фронтальной плоскости исходный - коэффициент произвольного пострального контроля во фронтальной плоскости конечный) / Median of the difference (final quotient of voluntary postural control in frontal plane - baseline quotient of voluntary postural control in frontal plane)	0.037	0.036	0.049
Рост коэффициента произвольного пострального контроля во фронтальной плоскости (Показатель $t_0$ ) / Increase of the quotient of voluntary postural control in frontal plane	4.2%	3.9%	5.9%
p для коэффициента произвольного пострального контроля в сагиттальной плоскости / p for the quotient of voluntary postural control in sagittal plane	0.00000055*	0.00024938*	0.00004146*
Медиана коэффициента произвольного пострального контроля в сагиттальной плоскости исходная / Median of the baseline quotient of voluntary postural control in sagittal plane	0.777	0.819	0.691
Медиана коэффициента произвольного пострального контроля в сагиттальной плоскости конечная / Median of the final quotient of voluntary postural control in sagittal plane	0.871	0.907	0.832
Медиана разности (коэффициент произвольного пострального контроля в сагиттальной плоскости исходный - коэффициент произвольного пострального контроля в сагиттальной плоскости конечный) / Median of the difference (final quotient of voluntary postural control in sagittal plane - baseline quotient of voluntary postural control in sagittal plane)	0.075	0.049	0.079
Рост коэффициента произвольного пострального контроля в сагиттальной плоскости (Показатель $t_1$ ) / Increase of the quotient of voluntary postural control in sagittal plane	9.6%	6.0%	11%

\* – статистически значимое (парный критерий Wilcoxon, асимметричная альтернативная гипотеза,  $p < 0.05$ ) увеличение коэффициента при сравнении конечных и исходных значений.

ентов с клинически выявляемой постуральной неустойчивостью – 5.9% и 11% соответственно.

## Заключение

Наличие нарушений произвольного постурального контроля и возможность их реабилитации при БП являются известными фактами, которые подтверждаются результатами нашего исследования. По данным видеонализа движений выявляются нарушения произвольного постурального контроля в виде снижения коэффициентов КППКф и КППКс, характеризующих степень соответствия движений пациента движениям мишени во фронтальной и сагиттальной плоскостях соответственно. Выявляемые нарушения коррелируют с клинически определяемой стадией БП по Хен-Яру (непараметрический коэффициент корреляции Spearman,  $p < 0.05$ ).

Оценка динамики показателей качества произвольного постурального контроля в ходе проводимых реабилитационных мероприятий показала, что пациенты с БП имеют резервы для компенсации нарушений функции произвольного постурального контроля.

После проведения комплекса реабилитационных мероприятий, включающего тренировки с биологической обратной связью, выявлено статистически значимое (парный критерий Wilcoxon, асимметричная альтернативная гипотеза,  $p < 0.05$ ) улучшение показателей функции произвольного постурального контроля. У пациентов без

клинически выявляемой постуральной неустойчивости рост КППКф составил 3.9%, и рост КППКс – 6.0%, а у пациентов с клинически выявляемой постуральной неустойчивостью – 5.9% и 11% соответственно.

Таким образом, нами показана возможность применения видеонализа движений с биологической обратной связью в диагностике и реабилитации нарушений произвольного постурального контроля при болезни Паркинсона. Использование разработанного нами аппаратно-программного комплекса не требует приобретения дорогого оборудования, такого как стабилоплатформа, и возможно в условиях учреждений здравоохранения различного уровня. ■

**Гурский Иван Сергеевич** – научный сотрудник неврологического отдела РНПЦ неврологии и нейрохирургии Минск, Беларусь. **Лихачев Сергей Алексеевич** – д.м.н., профессор, главный внештатный невролог Министерства здравоохранения Республики Беларусь, руководитель Республиканского центра пароксизмальных состояний РНПЦ неврологии и нейрохирургии, **Вацлилин Вячеслав Викторович** – к.м.н., вед.н.с. неврологического отдела РНПЦ неврологии и нейрохирургии Минск, Беларусь. **Буняк Анна Георгиевна** – с.н.с. неврологического отдела РНПЦ неврологии и нейрохирургии Минск, Беларусь. Автор, ответственный за переписку — Гурский Иван Сергеевич, E-mail: isgour@mail.ru

---

## Литература:

1. L. Kalilani, M. Asgharnejad, T. Palokangas, T. Durgin. Comparing the Incidence of Falls. Fractures in Parkinson's Disease Patients in the US Population. *PLoS One*. 2016 Sep 1; 11(9): e0161689.
2. Cano de la Cuerda, Roberto & Pérez-de-Heredia, Marta & Page, Juan-carlos & Muñoz-Hellín, Elena & Fernández-de-Las-Peñas, César. Is There Muscular Weakness in Parkinson's Disease? *American journal of physical medicine & rehabilitation. Association of Academic Physiatrists* 2009; (89): 70-6. 10.1097/PHM.0b013e3181a9ed9b.
3. Determination of Muscle Strength in Parkinsonian Patients Through the Use of an Isokinetic Dynamometer (CybexPD001). Электронный ресурс: <https://clinicaltrials.gov/ct2/show/record/NCT02101528> [дата доступа 01.12.2017].
4. Лихачёв С.А. Метод оценки биомеханики поясничного отдела позвоночника с помощью видеонализа в режиме реального времени. В: сборнике научных статей VIII Международной научно-технической конференции «Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии: Медэлектроника – 2014 (Минск, 10-11 декабря 2014 г.)». Минск: БГУИР 2014. С.243-6.
5. Лихачев С. А. Аппаратно-программный комплекс биологической обратной связи для коррекции нарушений позы и равновесия. В сборнике научных статей IX Международной научно-технической конференции «Медэлектроника – 2015. Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии» (Минск, 4-5 декабря 2015 г.). – Минск: БГУИР, 2015; С.173-5.
6. R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.