

УДК 616.8-07  
DOI 10.23648/UMBJ.2018.32.22688

## ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТИ ДЛЯ ОЦЕНКИ МОТОРНЫХ НАРУШЕНИЙ ПРИ БОЛЕЗНИ ПАРКИНСОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ВИДЕОЗАХВАТА В ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ\*

Е.М. Каменских, И.В. Толмачев, Н.Г. Жукова, И.А. Жукова, Е.С. Королева,  
В.М. Алифирова, К.С. Бразовский, Е.С. Колупаева

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России,  
г. Томск, Россия

e-mail: em\_kamenskih@mail.ru

*Отсутствие объективных методов оценки клинических проявлений болезни Паркинсона (БП) легло в основу проведения работы по описанию моторных нарушений у пациентов с БП с применением метода видеозахвата в условиях виртуальной реальности и алгоритмов машинного обучения.*

*Цель – проанализировать объективность технологии диагностики неврологических симптомов путем анализа траекторий движений с использованием алгоритмов машинного обучения.*

*Материалы и методы. В исследовании приняли участие 30 пациентов (21 женщина и 9 мужчин) в возрасте от 45 до 83 лет (средний возраст  $69 \pm 7$  лет), страдающих БП в течение в среднем  $6 \pm 3$  лет. Стадия заболевания по шкале Хен-Яр в исследуемой выборке варьировала от 1 до 3 (40 % пациентов – стадия 1; 37 % – стадия 2; 23 % – стадия 3). Группа сравнения состояла из 20 условно здоровых добровольцев и была сопоставима по полу и возрасту (средний возраст  $57 \pm 15$  лет) с основной группой. Участники проходили исследование с применением виртуальной сцены «Круглая земля» с использованием очков Epson Moverio VT-200, Microsoft Kinect. Для обработки данных был выбран многослойный перцептрон с четырьмя входными нейронами и двумя скрытыми слоями по 5 нейронов на каждом.*

*Результаты. Точность распознавания для обучающей выборки составила 77,8 %, чувствительность – 81,3 %, специфичность – 72,9 %. Точность распознавания для тестовой выборки составила 67,7 %, чувствительность – 68,3 %, специфичность – 66,9 %.*

*Выводы. Методы видеозахвата в условиях виртуальной реальности позволяют выявить моторные нарушения, подтверждающие наличие БП, но точность полученной модели недостаточна и сильно зависит от объема выборки, а также требует включения дополнительных диагностических параметров.*

**Ключевые слова:** болезнь Паркинсона, нейротехнологии, регистрация движений, моторные нарушения, нарушения походки, ранняя диагностика нейродегенеративных заболеваний, видеозахват, нейронная сеть.

**Введение.** Нейродегенеративные заболевания (НДЗ), согласно данным ВОЗ за 2016 г., занимают пятое место среди причин смерти в мировой популяции [1]. Вследствие этого НДЗ являются важной медико-социальной проблемой и одним из ведущих направлений нейронаук [2]. В связи с увеличением продолжительности жизни и неуклонным старе-

нием населения в развитых странах [3] частота НДЗ имеет четкую тенденцию к увеличению [4]. Наиболее распространёнными среди нозологических форм являются болезнь Альцгеймера и болезнь Паркинсона (БП) [5].

БП поражает 1–2 % людей старше 65 лет и 3–5 % людей старше 85 лет [6]. Ученые во всем мире занимаются изучением причин и механизмов развития БП, пытаются найти новые маркеры и методы ранней диагностики патологии, открывающие возможности незамедлительного начала реабилитационно-про-

\* Работа выполнена при поддержке гранта УМНИК НТИ (2016) Фонда содействия инновациям.

филактических мероприятий, направленных на снижение темпов прогрессирования заболевания, увеличение продолжительности и качества жизни человека в современном обществе [7].

Симптомы БП можно разделить на моторные и немоторные [8]. Очевидно, что двигательные нарушения играют ключевую роль в ограничении бытовой и повседневной активности пациентов и являются самыми частыми первопричинами обращения к врачу-неврологу [9]. В связи с многообразием клинических форм БП и коморбидным фоном пациентов старшей возрастной группы диагноз не всегда является очевидным, требует детального обследования и исключения других причин нарушений. При этом пролонгированная дифференциальная диагностика и увеличение сроков начала патогенетической терапии ухудшают прогноз пациента [10]. Одной из причин сложившейся клинической проблемы является отсутствие цифровых методов количественного анализа двигательной активности пациента, позволяющих выявить патогномоничные признаки на ранних стадиях БП [11]. В современной науке широко изучается использование для решения описанной задачи современных интеллектуальных систем: от биологических моделей, построенных на животных [12], до методов, делающих возможным включение в исследование человека – как в качестве здорового добровольца, так и имеющего патологию пациента [13]. Особое внимание уделяется оценке походки, часто нарушающейся при неврологических заболеваниях и имеющей определенные черты при каждой группе нозологий [14]. Работы ведутся как в сторону совершенствования механизма регистрации движений, так и в сторону интеграции технологии с виртуальной средой [15].

**Цель исследования.** Сравнение моторных нарушений у пациентов с болезнью Паркинсона с использованием метода бесконтактной регистрации движений в условиях виртуальной реальности и оценка возможности объективной диагностики неврологических симптомов путем анализа траекторий движений с использованием алгоритмов машинного обучения.

**Материалы и методы.** Исследование проводилось на кафедре неврологии и нейрохирургии совместно с кафедрой медицинской и биологической кибернетики ФГБОУ ВО СибГМУ Минздрава России в 2018 г. Было обследовано 30 пациентов (21 женщина и 9 мужчин) в возрасте от 45 до 83 лет (средний возраст  $69 \pm 7$  лет), страдающих БП в течение в среднем  $6 \pm 3$  лет. Диагноз БП устанавливался согласно критериям ВОЗ на основании Международной классификации болезней десятого пересмотра [16]. Стадия заболевания по шкале Хен-Яр в исследуемой выборке варьировала от 1 до 3 (40 % пациентов – стадия 1; 37 % – стадия 2; 23 % – стадия 3) [17]. Оценка движений и функции равновесия проводилась с использованием очков виртуальной реальности Epson Moverio BT-200 и сенсора безмаркерного видеозахвата Microsoft (MS) Kinect. Сцена виртуальной реальности «Круглая земля» (шар зеленого цвета, на котором по экватору располагалась дорога желтого цвета) для проведения данного исследования была создана с использованием программ Blender, GIMP и Unity 3D. На пешеходном маршруте, двигающемся по типу беговой дорожки противоположно движению участника, были выполнены визуальные стимулы в виде заборов высотой 0,3 м (рис. 1).

Во время исследования пациенты в течение 15 с стояли в позе Ромберга, затем шагали на месте с изменением длины и высоты шага в течение 45 с и снова вставали в позу Ромберга на 15 с. Среда виртуальной реальности была интегрирована с MS Kinect для отслеживания координат основных точек тела в пространстве. Устройство передавало данные на персональный компьютер в формате bhv-файлов, где происходило их сохранение, обработка и построение динамической модели тела пациента, способной изменяться в соответствии с изменением положения в пространстве участника исследования. Это позволяло произвести отображение динамической модели участника на очках виртуальной реальности.

Группа сравнения состояла из 20 условно здоровых добровольцев, сопоставимых по полу и возрасту (средний возраст  $57 \pm 15$  лет) с пациентами основной группы.

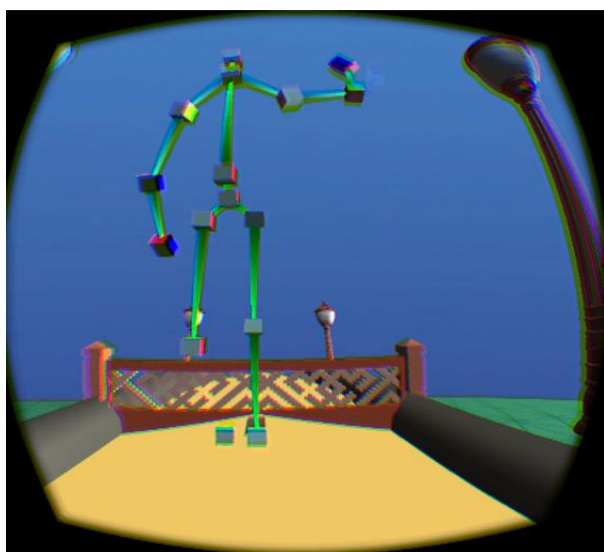


Рис. 1. Виртуальная сцена «Круглая земля»

Критериями исключения из участия в исследовании для обеих групп являлись наличие психического или соматического заболевания, которое, по мнению исследователя, создавало нежелательный риск для пациента или влияло на его приверженность протоколу исследования, нежелание пациента следовать процедурам исследования, отсутствие добровольного письменного согласия на участие в данном исследовании.

Для проведения статистической обработки данных в качестве алгоритма распознавания состояний был выбран многослойный перцептрон с количеством входных нейронов, равным 4, и 2 скрытыми слоями по 5 нейронов каждый. В качестве функции активации скрытых слоев использовался гиперболический тангенс. Критерием остановки обучения являлось достижение максимальной точности распознавания обучающей выборки.

Для обучения модели принятия решений использовались данные изменения положения центральной точки тела в процессе выполнения позы Ромберга и шагательных движений (рис. 2, 3).

Методом рандомизации были сформированы две обучающие и две тестовые выборки. Обучающая выборка использовалась для расчета весовых коэффициентов классифицирующей нейросети с целью распознавания пациентов с БП, а тестовая выборка – для проверки полученной системы поддержки принятия решений. Таким образом, в качестве обучающих выборок использовались данные видеозахвата центральной точки 15 пациентов с БП и 10 участников, не имеющих моторных нарушений, оставшиеся 15 пациентов с БП и 10 условно здоровых добровольцев были включены в тестовую выборку.

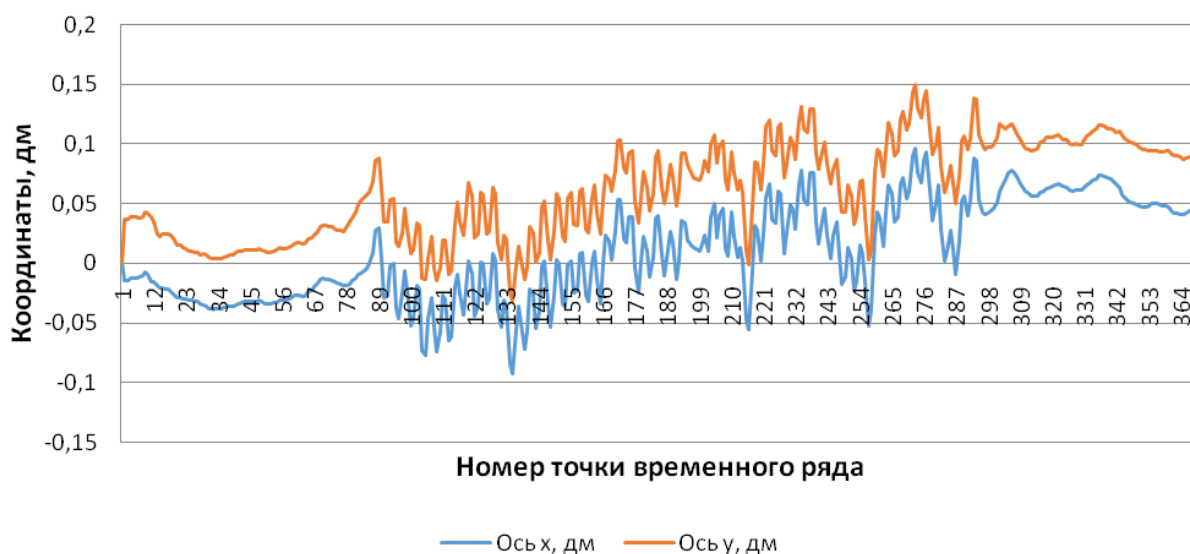
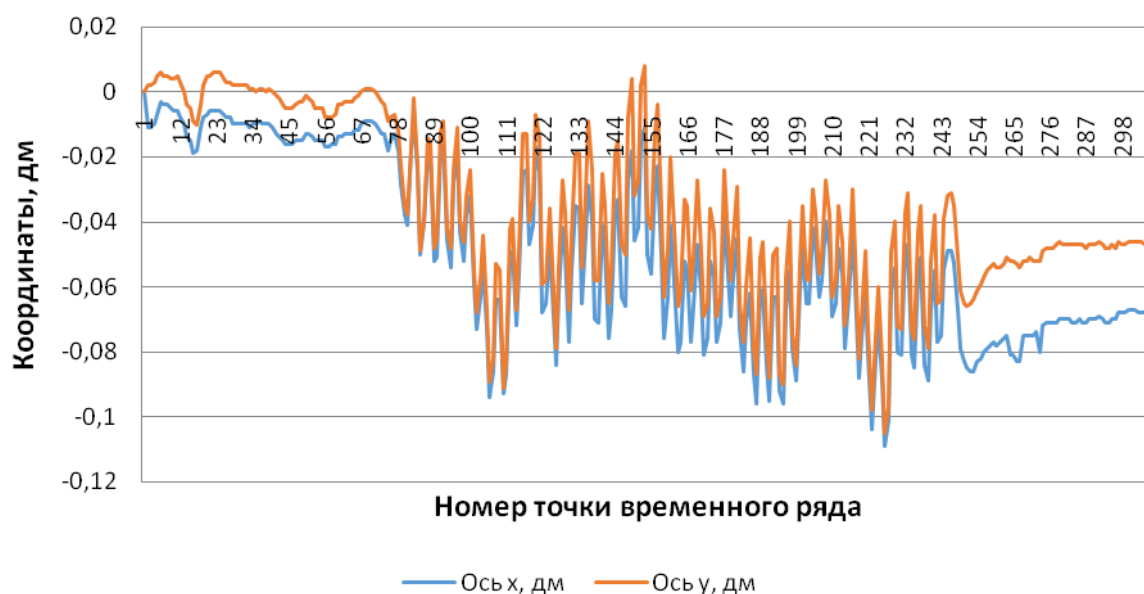


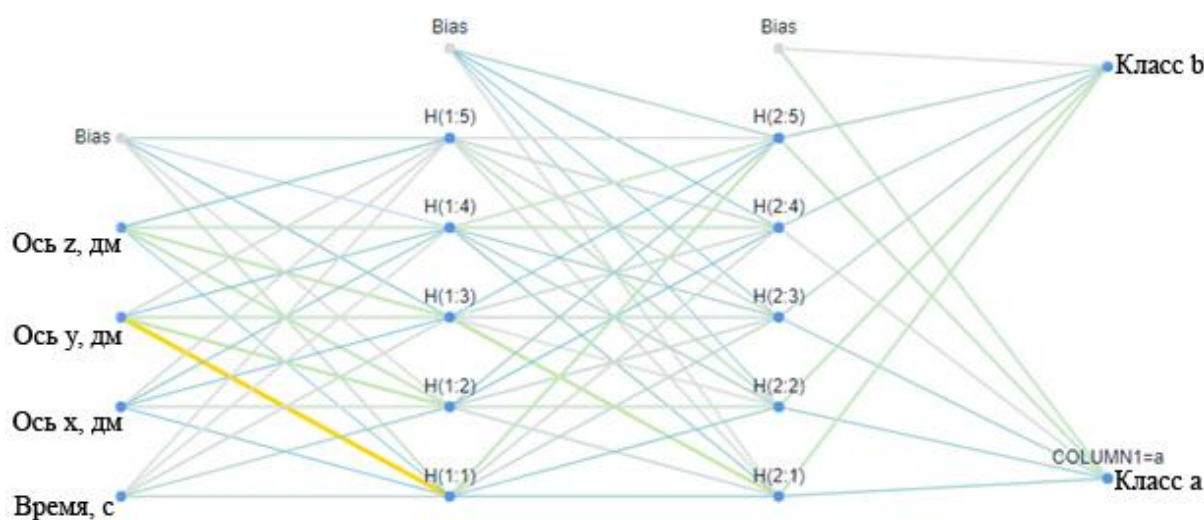
Рис. 2. Изменение координаты центральной точки у участника без моторных нарушений по координатам x и y относительно начального положения человека



**Рис. 3.** Изменение координаты центральной точки у пациента с болезнью Паркинсона по координатам x и y относительно начального положения человека

**Результаты и обсуждение.** Особенностью данных видеозахвата движений является их сравнительно большой объем и сложная структура. В связи с этим стандартные подходы, связанные с оценкой характеристик временных рядов, не позволяют обнаружить скрытые закономерности в данных. Для построения многомерной модели принятия ре-

шений использовался алгоритм многослойного перцептрона, реализованный на платформе IBM Watson (рис. 4) [18]. Технология нейросети позволила провести сравнение пациентов с БП с контрольной группой с целью поиска пограничного критерия, характеризующего моторные нарушения при изучаемой неврологической патологии.



**Рис. 4.** Диаграмма нейронной сети

После проведения подсчетов с применением IBM Watson точность распознавания моторных нарушений для обучающей выборки во время проведения оригинального комплекса упражнений составила 77,8 % относительно контрольной группы участников. При этом чувствительность (Se), отражающая способность метода определять наличие у обследуемого моторных симптомов БП, равнялась 81,3 %, специфичность (Sp) – 72,9 % и была существенно ниже Se, что отражает более низкую способность метода опровергать диагноз БП там, где его действительно нет. Суммарная оценка, характеризующаяся точностью и показывающая общее отношение ложноположительных и ложноотрицательных заключений ко всем диагнозам, составила 77,8 %. Принимая во внимание тот факт, что в исследовании принимали участие пациенты с БП 1–3 стадий по шкале Хен–Яр, полученные результаты свидетельствуют о высокой точности проведенного исследования.

Обработка данных тестовой выборки показала, что точность распознавания составила 67,7 %, Se – 68,3 %, Sp – 66,9 %. Результаты свидетельствуют о суммарном снижении диагностической значимости метода.

Таким образом, в эксперименте с использованием алгоритма многослойного перцептрона, реализованного на платформе IBM Watson, точность распознавания моторных нарушений, подтверждающих диагноз БП, уменьшилась на 10,1 %, чувствительность – на 13 %, специфичность – на 6 %, что свидетельствует о значимом снижении способности к выявлению ложноотрицательных результатов. Полученные данные подтверждают необходимость использования дополнительных диагностических методов для применения предложенной технологии в клинической практике.

**Заключение.** Таким образом, планировалось получить алгоритм, позволяющий с определенной точностью подтвердить или опровергнуть наличие симптомов, характерных для БП, у обследуемого пациента с применением объективных числовых характеристик, основанных на системе безмаркерной

регистрации движений при проведении оригинального комплекса упражнений. Методы бесконтактной регистрации движений в условиях виртуальной реальности позволяют выявлять моторные нарушения у пациентов с БП при оценке движений с использованием алгоритмов машинного обучения. Но точность полученной модели принятия решений не достаточна и сильно зависит от объема выборки, а также требует дополнительных диагностических параметров.

Полученные результаты свидетельствуют о возможности использования методов машинного обучения для распознавания моторных нарушений, характерных для БП, при условиях увеличения исследуемой популяции пациентов ориентировочно до 60–120 чел. и включения в модель дополнительных параметров (лабораторные биомаркеры, клинические оценочные шкалы), способных существенно повысить качество оценки данных.

Проведенная работа является одним из первых этапов, связанных с применением и внедрением методик видеозахвата движений в клиническую практику врача-невролога. Полученная модель не обладает достаточными операционными характеристиками для применения в качестве системы поддержки принятия решений врача, но в перспективе подход, связанный с применением нейронной сети, имеет большой потенциал для совершенствования направления ранней диагностики. В дальнейшем развитие данного направления позволит проводить исследования, направленные на подготовку программ тренинга и системы реабилитации для пациентов с БП. Создание комплекса упражнений, призванного выявить моторные симптомы БП, предоставляет пациенту возможность целенаправленной работы с нарушениями двигательных функций, наиболее значимых в бытовой и социальной адаптации. В описываемой сцене «Круглая земля» большое внимание уделяется нарушению походки как одному из самых значимых для самих пациентов проявлений БП, что создает подходящие условия для проведения комплекса упражнений с применением технологии сенситивной диссоциации.

**Литература**

1. Global Health Estimates 2016: Deaths by Cause, Age, Sex, by Country and by Region, 2000–2016. Geneva: World Health Organization; 2018. URL: [https://www.who.int/healthinfo/global\\_burden\\_disease/estimates/en/index1.html](https://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/estimates/en/index1.html) (дата обращения: 07.09.2018).
2. Hauser S.L., Johnston S.C. Big neuroscience. *Annals of Neurology*. 2013; 73 (4): A5–A6. DOI: 10.1002/ana.23903.
3. World report on ageing and health. URL: <http://www.who.int/ageing/publications/world-report-2015/ru/> (дата обращения: 07.09.2018).
4. Rebecca C. Brown, Alan H. Lockwood, Babasaheb R. Sonawane. Neurodegenerative Diseases: An Overview of Environmental Risk Factors. *Environ. Health Perspect.* 2005; 113 (9): 1250–1256. DOI: 10.1289/ehp.7567.
5. Mason A.R., Ziemann A., Finkbeiner S. Targeting the low-hanging fruit of neurodegeneration. *Neurology*. 2014; 83: 1470–1473.
6. Fahn S. Description of Parkinson's disease as a clinical syndrome. *Ann. NY Acad Sci.* 2003; 991: 1–14.
7. Wu Y., Le W., Jankovic J. Preclinical biomarkers of Parkinson disease. *Arch. Neurol.* 2011; 68 (1): 22–30.
8. Schapira A.H.V., Chaudhuri K.R., Jenner P. Non-motor features of Parkinson disease. *Nature Reviews Neuroscience*. 2017; 18 (7): 435–450. DOI: 10.1038/nrn.2017.62.
9. Kurt A. Jellinger. Neuropathobiology of non-motor symptoms in Parkinson disease? *J. Neural Transm (Vienna)*. 2015; 122 (10): 1429–1440. DOI: 10.1007/s00702-015-1405-5.
10. Wenning G.K., Ben-Shlomo Y., Hughes A., Daniel S.E., Lees A., Quinn N.P. What clinical features are most useful to distinguish definite multiple system atrophy from Parkinson's disease? *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry*. 2000; 68: 434–440.
11. Fernandez H.H. Update on Parkinson disease. *Cleve Clin. J. Med.* 2015; 82 (9): 563–568. DOI: 10.3949/ccjm.82gr.15004.
12. Heredia-López F.J., May-Tuyub R.M., Bata-García J.L., Góngora-Alfaro J.L., Alvarez-Cervera F.J. A system for automatic recording and analysis of motor activity in rats. *Behav Res Methods*. 2013; 45 (1): 183–190. DOI: 10.3758/s13428-012-0221-1.
13. Bötzel K., Marti F.M., Rodríguez M.Á., Plate A., Vicente A.O. Gait recording with inertial sensors – How to determine initial and terminal contact. *J. Biomech.* 2016; 49 (3): 332–337. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2015.12.035.
14. Jordbru A.A., Smedstad L.M., Moen V.P., Martinsen E.W. Identifying patterns of psychogenic gait by video-recording. *J. Rehabil. Med.* 2012; 44 (1): 31–35. DOI: 10.2340/16501977-0888.
15. Snider J., Plank M., Lee D., Poizner H. Simultaneous neural and movement recording in large-scale immersive virtual environments. *IEEE Trans Biomed Circuits Syst.* 2013; 7 (5): 713–721. DOI: 10.1109/TBCAS.2012.2236089.
16. Международная статистическая классификация болезней и проблем, связанных со здоровьем, 10-го пересмотра, онлайн версия. URL: <http://mkb-10.com/> (дата обращения: 08.10.2018).
17. Hoehn M.M., Yahr M.D. Parkinsonism: onset, progression and mortality. *Neurology*. 1967; 17: 427–442.
18. IBM Watson, онлайн версия. URL: <https://www.ibm.com/watson/> (дата обращения: 18.10.2018).

## APPLICATION OF NEURONETS FOR MOTOR DISTURBANCE ASSESSMENT IN PATIENTS WITH PARKINSON DISEASE USING VIDEO CAPTURE TECHNOLOGY IN VIRTUAL REALITY

E.M. Kamenskikh, I.V. Tolmachev, N.G. Zhukova, I.A. Zhukova,  
E.S. Koroleva, V.M. Alifirova, K.S. Brazovski, E.S. Kolupaeva

Siberian State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Tomsk, Russia

e-mail: em\_kamenskikh@mail.ru

*The lack of objective methods which can evaluate clinical manifestations of Parkinson disease (PD) provided the basis for this work, which describes motor disorders in patients with PD using the video capture technology in virtual reality and machine learning algorithms.*

*The aim of the paper is to analyze the accuracy of the technology for neurological symptom diagnostics by analyzing movement trajectories using machine learning algorithms.*

*Materials and Methods.* The study involved 30 patients (21 women and 9 men) aged 45–83 (mean age 69±7), suffering from PD for 6±3 years. In our sample the disease state (according to Hoehn-Yahr scale) ranged from 1 to 3 (40 % of patients – stage 1; 37 % – stage 2; 23 % – stage 3). The comparison group consisted of 20 relatively healthy volunteers and was comparable with the main group in sex and age (mean age 57±15). The trial subjects were examined on a virtual platform “Round Earth” using Epson Moverio BT-200 glasses (Microsoft Kinect). For data processing, a multilayer perceptron with four input neurons and two hidden layers of 5 neurons on each was selected.

*Results.* The recognition accuracy for the training sample was 77.8 %, sensitivity – 81.3 %, specificity – 72.9 %. The recognition accuracy for the test sample was 67.7 %, sensitivity – 68.3 %, specificity – 66.9 %.

*Conclusion.* Video capture methods in virtual reality make it possible to identify motor disorders which confirm PD, but the accuracy of the model is insufficient as it strongly depends on the sample size, and also requires additional diagnostic parameters.

**Keywords:** Parkinson disease, neurotechnology, movement registration, motor disorders, gait disorder, early diagnosis of neurodegenerative diseases, video capture, neural network.

### References

1. *Global Health Estimates 2016: Deaths by Cause, Age, Sex, by Country and by Region, 2000–2016.* Geneva: World Health Organization; 2018. Available at: [https://www.who.int/healthinfo/global\\_burden\\_disease/estimates/en/index1.html](https://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/estimates/en/index1.html) (accessed: 07.09.2018).
2. Hauser S.L., Johnston S.C. Big neuroscience. *Annals of Neurology.* 2013; 73 (4): A5–A6. DOI: 10.1002/ana.23903.
3. *World report on ageing and health.* Available at: <http://www.who.int/ageing/publications/world-report-2015/ru/> (accessed: 07.09.2018).
4. Rebecca C. Brown, Alan H. Lockwood, Babasaheb R. Sonawane. Neurodegenerative Diseases: An Overview of Environmental Risk Factors. *Environ. Health Perspect.* 2005; 113 (9): 1250–1256. DOI: 10.1289/ehp.7567.
5. Mason A.R., Ziemann A., Finkbeiner S. Targeting the low-hanging fruit of neurodegeneration. *Neurology.* 2014; 83: 1470–1473.
6. Fahn S. Description of Parkinson’s disease as a clinical syndrome. *Ann NY Acad Sci.* 2003; 991: 1–14.
7. Wu Y., Le W., Jankovic J. Preclinical biomarkers of Parkinson disease. *Arch Neurol.* 2011; 68 (1): 22–30.
8. Schapira A.H.V., Chaudhuri K.R., Jenner P. Non-motor features of Parkinson disease. *Nature Reviews Neuroscience.* 2017; 18 (7): 435–450. DOI: 10.1038/nrn.2017.62.
9. Kurt A. Jellinger. Neuropathobiology of non-motor symptoms in Parkinson disease? *J. Neural Transm (Vienna).* 2015; 122 (10): 1429–1440. DOI: 10.1007/s00702-015-1405-5.
10. Wenning G.K., Ben-Shlomo Y., Hughes A., Daniel S.E., Lees A., Quinn N.P. What clinical features are most useful to distinguish definite multiple system atrophy from Parkinson’s disease? *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry.* 2000; 68: 434–440.

11. Fernandez H.H. Update on Parkinson disease. *Cleve Clin. J. Med.* 2015; 82 (9): 563–568. DOI: 10.3949/ccjm.82gr.15004.
12. Heredia-López F.J., May-Tuyub R.M., Bata-García J.L., Góngora-Alfaro J.L., Alvarez-Cervera F.J. A system for automatic recording and analysis of motor activity in rats. *Behav. Res. Methods.* 2013; 45 (1): 183–190. DOI: 10.3758/s13428-012-0221-1.
13. Bötzel K., Marti F.M., Rodríguez M.Á., Plate A., Vicente A.O. Gait recording with inertial sensors – How to determine initial and terminal contact. *J. Biomech.* 2016; 49 (3): 332–337. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2015.12.035.
14. Jordbru A.A., Smedstad L.M., Moen V.P., Martinsen E.W. Identifying patterns of psychogenic gait by video-recording. *J. Rehabil Med.* 2012; 44 (1): 31–35. DOI: 10.2340/16501977-0888.
15. Snider J., Plank M., Lee D., Poizner H. Simultaneous neural and movement recording in large-scale immersive virtual environments. *IEEE Trans Biomed. Circuits Syst.* 2013; 7 (5): 713–721. DOI: 10.1109/TBCAS.2012.2236089.
16. *Mezhdunarodnaya statisticheskaya klassifikatsiya bolezney i problem, svyazannykh so zdorov'em, 10-go peresmotra, onlayn versiya* [International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems, 10<sup>th</sup> revision, online version]. Available at: <http://mkb-10.com/> (accessed: 08.10.2018) (in Russian).
17. Hoehn M.M., Yahr M.D. Parkinsonism: onset, progression and mortality. *Neurology.* 1967; 17: 427–442.
18. *IBM Watson, onlayn versiya* [IBM Watson, online version]. Available at: <https://www.ibm.com/watson/> (accessed: 18.10.2018) (in Russian).