

УДК 616.858-073.96-072.7-8

## ПРИМЕНЕНИЕ ВИДЕОАНАЛИЗА ДВИЖЕНИЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНКЦИИ РАВНОВЕСИЯ У ПАЦИЕНТОВ С БОЛЕЗНЬЮ ПАРКИНСОНА

С.А. ЛИХАЧЕВ, В.В. ВАШИЛИН, И.С. ГУРСКИЙ

*РНПЦ неврологии и нейрохирургии  
Ф. Скорины, 24 Минск, 220114, Беларусь*

*Поступила в редакцию 22 ноября 2016*

Описан способ контроля поструральной функции у пациентов с болезнью Паркинсона, который не требует дорогостоящего оборудования и может быть использован в комплексе до- и послеоперационного обследования пациентов с болезнью Паркинсона.

*Ключевые слова:* болезнь Паркинсона, видеоанализ движений, глубокая стимуляция мозга, равновесие.

### Введение

В развернутых стадиях болезни Паркинсона (БП), наряду с олигобрадикинезией и мышечной ригидностью, значимой и трудно поддающейся коррекции проблемой становится нарушение равновесия. Поддержание вертикальной позы и равновесия требует быстрой и точной коррекции тонуса определенных групп мышц в соответствии с информацией, поступающей от проприоцептивного, вестибулярного и зрительного анализаторов. С внедрением хирургических методов лечения БП, в частности – DBS, значимость проблемы возрастает. Усиление поструральных нарушений является одним из нежелательных эффектов DBS. Изучение эффективности и безопасности оперативного лечения требует объективного контроля поструральной функции. Известны способы оценки поструральной функции, основанные на использовании стабиллоплатформы.

Целью настоящей работы явилась разработка способа исследования выраженности нарушения равновесия при БП, основанного на применении метода видеоанализа движений.

### Методика эксперимента

Для изучения состояния функции поддержания вертикальной позы и равновесия пациент располагается перед цифровой камерой, которая подключена к персональному компьютеру. На передней поверхности туловища пациента в области передней брюшной стенки по средней линии и в области плечевых суставов закрепляются цветные маркеры (использовались окрашенные в красный цвет шарики, которые хорошо контрастировали с одеждой и кожей пациента, обстановкой помещения), которые облегчают решение задачи автоматического измерения движений. При использовании системы видеоанализа движений с одной камерой затруднительно провести триангуляцию для измерения положения маркера в пространстве. Возможно применение зеркал или призм, обеспечивающих обзор с двух точек, что, однако, значительно усложняет методику исследования. В данном исследовании для оценки расстояния от туловища пациента до камеры используется эффект перспективы (при приближении туловища пациента к камере его видимые размеры, и, в частности, расстояние между маркерами над плечевыми суставами увеличиваются, при удалении – наоборот, уменьшаются). Для оценки перпендикулярных к оптической оси камеры смещений используется видимое положение маркера на передней брюшной стенке.

Разработанная авторами программа обработки видеоизображений определяет

координаты центров маркеров на поступающих с камеры видеокдрах, и в реальном времени выводит на экран компьютера наглядную информацию для пациента о положении его тела. На экране отображаются две фигуры разного цвета, одна из которых отображает положение тела пациента (отметка пациента – ОП), а другая (мишень) перемещается по экрану в соответствии с заданной программой. Пациента инструктируют совмещать ОП с движущейся меткой-мишенью, совершая движения туловищем без наклонов в пояснице, не отрывая ноги от пола. ОП смещается в соответствии с перемещениями туловища: вправо и влево – при перемещении маркера на брюшной стенке вправо и влево соответственно; вверх – при смещении туловища вперед; вниз – при смещении туловища назад. Координаты мишени изменяются по синусоидальному закону, при этом частота изменения координаты  $y$  в 2 раза выше, чем координаты  $x$ :

$$x_t = x_c + A \cdot \sin(f \cdot 2\pi \cdot t), \tag{1}$$

$$y_t = y_c + A \cdot \sin(2 \cdot f \cdot 2\pi \cdot t), \tag{2}$$

где  $x_t$  и  $y_t$  – координаты мишени,  $x_c$  и  $y_c$  – координаты центра окна на экране,  $A$  – настраиваемая амплитуда колебаний мишени,  $f$  – настраиваемая частота (в данном исследовании  $f = 0,05$  Гц).

Для определения координат маркеров на кадре используется техника сравнения с шаблоном. Сравнение цвета пикселя цветом маркера проводится в цветовом пространстве HSV. Величину  $D$ , которая отражает степень соответствия цвета пикселя цвету маркера,

рассчитывают по формуле 
$$D = \frac{255 \cdot S}{1 + 4 \cdot (\sin(H_0) - \sin(H))^2 + 4 \cdot (\cos(H_0) - \cos(H))^2},$$
 где  $S$  и  $H$  –

значения насыщенности и оттенка цвета пикселя,  $H_0$  – значение оттенка цвета маркера. Чем больше величина  $D$ , тем ближе цвет пикселя по оттенку и насыщенности к цвету маркера. Значение ( $V$ ) при сравнении не учитывается.

С целью уменьшения затрат времени на расчет величины  $D$ , ее значения для всех возможных значений  $R$ ,  $G$  и  $B$  ( $256 \cdot 256 \cdot 256$  возможных сочетаний) при заданном цвете маркера сохраняются в таблице. Степень соответствия изображению маркера с координатами центра  $(x, y)$  и радиусом  $r$  оценивается функцией  $W(x, y, r)$ , рассчитываемой по формуле:

$$W(x, y, r) = r \cdot \left( \frac{s(x, y, r)}{(2r+1)^2} - \frac{s(x, y, 2r) - s(x, y, r)}{(4r+1)^2 - (2r+1)^2} \right).$$

Здесь  $s(x, y, \rho)$  – сумма значений  $D$  в квадратной области изображения с координатами центра  $(x, y)$  и стороной, равной  $2\rho+1$ , определяемая как  $s(x, y, \rho) = \sum_{i=x-\rho}^{x+\rho} \sum_{j=y-\rho}^{y+\rho} D_{i,j}$ , где  $i, j$  –

целые числа,  $D_{i,j}$  – значение величины  $D$  для пикселя с координатами  $i, j$ ;  $r$  – радиус маркера;  $x$  и  $y$  – координаты центра маркера. Для быстрого вычисления значения  $s(x, y, \rho)$  используется

формула:  $s(x, y, \rho) = z_{x+\rho, y+\rho} - z_{x+\rho, y-\rho-1} - (z_{x-\rho-1, y+\rho} - z_{x-\rho-1, y-\rho-1})$ , где  $z_{i,j} = \sum_{k=0}^i \sum_{l=0}^j D_{k,l}$ , причем

таблица значений  $z_{i,j}$  быстро рассчитывается за время порядка  $O(N)$ , где  $N$  – количество

$$c_{i,j} = c_{i-1,j} + D_{i,j}, c_{0,j} = D_{0,j}$$

пикселей в области интереса, с использованием формул:

$$z_{i,j} = z_{i,j-1} + c_{i,j}, z_{i,0} = c_{i,0}$$

Координаты  $(x_m, y_m)$  центра маркера рассчитывают по формулам:  $x_m = \arg \max_x W(x, y, r)$ ,

$$y_m = \arg \max_y W(x, y, r), \quad x \in [x_{\min}, x_{\max}], \quad y \in [y_{\min}, y_{\max}], \quad r \in [r_{\min}, r_{\max}],$$

где  $x_{\min}$  и  $x_{\max}$  – минимальное и максимальное значение координаты  $x$ , задающие область поиска маркера на изображении,  $y_{\min}$  и  $y_{\max}$  – минимальное и максимальное значение координаты  $y$ , задающие область поиска маркера на изображении,  $r_{\min}$  и  $r_{\max}$  – минимальное и максимальное возможные значения радиуса маркера  $r$ . Координата  $x$  ОП в зависимости от видимого положения маркера на передней брюшной стенке рассчитывается по формуле:  $x = x_c - F_x \cdot (X - X_0)$ , где  $F_x$  –

настраиваемый масштаб,  $X$  – текущее положение центра маркера на кадре (после сглаживания),  $X_0$  – положение центра маркера на кадре в начале исследования. Координата  $y$  отметки на экране в зависимости от видимого расстояния между центрами маркеров над плечевыми суставами рассчитывается по формуле:  $y = y_c - F_y \cdot (d - d_0)$ , где  $F_y$  – настраиваемый масштаб,  $d$  – текущее расстояние между центрами маркеров на кадре (после сглаживания),  $d_0$  – расстояние между центрами маркеров на кадре в начале исследования. Исследование выполняется у пациента в on-периоде и продолжается 10 минут, за это время 3 раза изменяется направление движения мишени. Критерием качества выполнения теста служат коэффициенты ранговой корреляции Spearman между положением мишени и отметки пациента на экране для движений в сагиттальной плоскости и во фронтальной плоскости.

### Результаты и их обсуждение

Разработанная методика контроля постуральной функции была применена у пациента с БП, которому было проведено нейрохирургическое лечение – имплантации DBS. Оценка по 3 части шкалы UPDRS до операции составила 36 в off-периоде и 19 в on-периоде, через 1 мес после операции – 7 в off-периоде, 0 в on-периоде. Оценка по шкале Schwab-England on/off до операции составляла 90% / 80%, через 1 мес после операции – 100% / 90%. В дооперационном периоде при исследовании постуральной функции коэффициент корреляции для движений во фронтальной плоскости у данного пациента составил 0,964, для движений в сагиттальной плоскости коэффициент корреляции составил 0,906. При исследовании постуральной функции в послеоперационном периоде (через месяц после установки DBS), коэффициент корреляции для движений во фронтальной плоскости у данного пациента составил 0,905, для движений в сагиттальной плоскости коэффициент корреляции составил 0,755. Таким образом, данное исследование, несмотря на отсутствие субъективного ухудшения, демонстрирует возможное усиление нарушения функции поддержания равновесия у пациентов с БП в послеоперационном периоде DBS, поддержания равновесия пациентом. Планируется проспективное контролируемое исследование нарушения постуральной функции в до и послеоперационном периоде у пациентов с БП, которым будет имплантироваться DBS в РНПЦ неврологии и нейрохирургии.

### Заключение

Разработан способ исследования выраженности нарушения равновесия при болезни Паркинсона на основе метода видеоанализа движений. Программа обработки видеоизображений определяет координаты центров маркеров на поступающих с камеры видеокдрах и в реальном времени выводит на экран компьютера наглядную информацию для пациента о положении его тела. Описанный способ исследования постуральной функции у пациентов с болезнью Паркинсона не требует дорогостоящего оборудования, и может быть использован в комплексе до- и послеоперационного обследования пациентов с болезнью Паркинсона.

## UTILIZATION OF VIDEOMOTION ANALYSIS FOR ASSESSMENT OF BALANCE IN THE PATIENTS WITH PARKINSON'S DISEASE

S.A. LIKHACHEV, V.V. VASHCHYLIN, V.V. GOURSKY

### Abstract

The objective of the research was to develop a method for the assessment of balance impairment in Parkinson's disease, based on videomotion analysis. The developed method for the assessment of balance function in the patients with Parkinson's disease does not require expensive equipment, and may be utilized while pre- and postoperative examination of patients with Parkinson's disease.

*Keywords:* Parkinson's disease, videomotion analysis, DBS, balance.