

## ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ КРИТЕРИЕВ.

Хачатурян Д.А., Пеккер Я.С., Фокин В.А.  
Пеккер Я.С.

Томский политехнический университет  
david.khachaturyan@yahoo.com

Регистрация пространственных и временных характеристик движений с их количественным представлением дает возможность оценить степень двигательных расстройств, при различных заболеваниях.

Исходными данными для вычисления оценки являются траектории движения определенных точек тела и/или центра масс.

Данные о движении точек тела регистрировались с помощью технологии захвата движений с использованием свободного программного обеспечения.

Эта технология позволяет регистрировать трехмерные координаты положения 20 стандартных точек на теле пациента: с частотой 15 отсчетов в секунду. У каждого из них в течение 10с. были измерены трехмерные координаты движения точки тела человека, соответствующие центру масс (всего 150 значений).

Из траектории движения выбранной точки тела выделяют фрагмент сигнала требуемой продолжительности  $T$  и сохраняют его в виде таблицы, каждая строка которой имеет структуру  $(t_i, x_i, y_i, z_i)$ , где  $t_i$  – момент времени регистрации координат  $(0 \leq t_i \leq T)$ . В случае использования данных стабиллометрии координата  $z$  принимается равной нулю.

Временной интервал  $T$  разбивается на  $k$  промежутков длительностью  $\Delta T$ . В каждом из промежутков рассчитывается среднее значение координаты (дальнейшие формулы приведены на примере  $x$  координаты, для  $y$  и  $z$  координат все вычисления аналогичны):

$$\bar{x}_j = \frac{1}{n_j} \sum_{t_i \in [(j-1)\Delta T, j\Delta T]} x_i, \quad j = \overline{1, k}, \quad (1)$$

где  $n_j$  – количество измерений значений координаты в интервале  $[(j-1)\Delta T, j\Delta T]$ .

Полученные значения  $\bar{x}_j$  отображаются на единичный интервал  $[0, 1]$ :

$$\bar{x}_{j, norm} = \frac{\bar{x}_j - \bar{x}_{\min}}{\bar{x}_{\max} - \bar{x}_{\min}}, \quad j = \overline{1, k}$$

где  $\bar{x}_{\min} = \min_{j=1, k} \{\bar{x}_j\}$ ,  $\bar{x}_{\max} = \max_{j=1, k} \{\bar{x}_j\}$  (2)

и рассматриваются как координаты вектора  $\vec{x}_{norm}$ , используемого для количественной оценки различий в движении испытуемого.

Оценка производится по отношению к пациентам заданной референтной группы, описываемой матрицей размерности  $N_0 \times k$ , где  $N_0$  – объем референтной группы, а элементы строк представлены координатами векторов  $\vec{x}_l$  пациентов  $(l = \overline{1, N_0})$ , которые определяются аналогичным образом.

Расчет производится по формуле, основанной на вычислении расстояния Махаланобиса:

$$I_d(\vec{x}) = \frac{1}{2k} \left[ \frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^{N_0} (\vec{x}_{norm} - \vec{x}_i) C^{-1} (\vec{x}_{norm} - \vec{x}_i) \right] \quad (3)$$

где  $I_d(\vec{x})$  – интегральная оценка величины отклонений движения по сравнению с референтной группой,  $C$  – матрица ковариации признаков, характеризующих референтное состояние. Детальное описание алгоритма расчетов приведено в работе.

Для расчета  $I_d$  разработана компьютерная программа, входными данными для которой являются файлы, содержащие нормированные значения координат референтного и оцениваемого состояния, вычисленные по формуле (1). Желательно обеспечить минимально возможное значение внутригрупповой дисперсии, поскольку она напрямую влияет на абсолютную величину  $I_d$ . В ряде случаев (существенная неоднородность группы и большая межиндивидуальная вариабельность) может потребоваться формирование нескольких референтных групп и, соответственно,

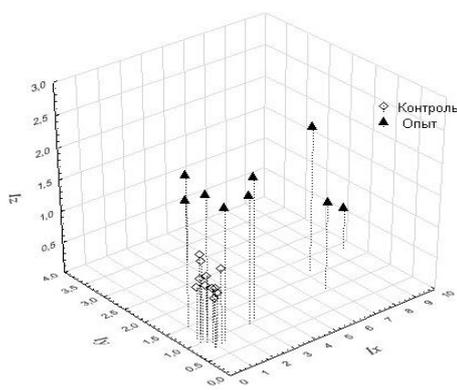
вычисление нескольких величин  $I_d$  по отношению к каждой референтной группе. Для уменьшения влияния данного фактора на оценку состояния в предлагаемой методике использован подход, основанный на статистическом моделировании данных, результаты которого позволяют, с одной стороны, численно оценивать статистические свойства критерия, а с другой – позволяют определить условия, накладываемые на объемы  $\cup T = 2$  первичных данных, необходимые для получения устойчивых оценок. Вычисленный показатель

имеет простую интерпретацию: чем больше  $I_d$ , тем сильнее отличаются параметры движения выбранных точек обследуемого от референтной группы.

Результаты исследования приведены в таблице. Несмотря на то, что все пациенты имели отрицательный результат по тесту Ромберга, трое из них получили показатели по mini BEST test от 11 до 15. Но, тем не менее, разница между двумя группами (здоровыми и людьми с отклонениями) оказалась статистически незначительной. Средние значения скорости и EFQ в двух группах также оказались практически одинаковыми, в то время как значения интегрального коэффициента  $I_d$  варьируется между группами. Наиболее важно, что все эти параметры не коррелируют между собой.

Приведенные ниже количественные оценки интегральной величины отклонений рассчитаны по формуле (3).

По полученным результатам видно, что интегральный коэффициент у людей с неврологическими отклонениями отличается от коэффициента здоровых людей, это можно



увидеть на рисунке 1.

Рисунок 1. 3D распределение интегрального критерия.

Так же используемый критерий Манна-Уитни, который сравнивает несколько значений и отображает, выявляет, есть ли между ними различия или нет. Если данный критерий меньше чем 0.05, то сравниваемые значения различаются. Исходя из этих данных, можно сказать, что кинект может отличать здоровых людей от больных.

Интегральный критерий основан на расстоянии между точками движения центра тяжести. Он вычисляется по формуле:

$$Id(\bar{x}_u) = \frac{1}{2k} \left[ \frac{1}{N_0} \sum_{v=1}^{N_0} (\bar{x}_u - \bar{x}_v) C^{-1} (\bar{x}_u - \bar{x}_v) \right] \quad (4)$$

## Результаты

На рисунке 2. приведен пример статокинезиграммы центра масс

в плоскости  $XU$  для испытуемых Р и R. Видно, что траектории движения в значительной степени хаотичны, и сделать обоснованный вывод о неврологических нарушениях на поддержание равновесия затруднительно.

Отметим, что значения КФР ведут себя разнонаправлено, тогда как рассчитанная величина интегральной оценки изменяется закономерно и возрастает в соответствии в неврологическими нарушениями.

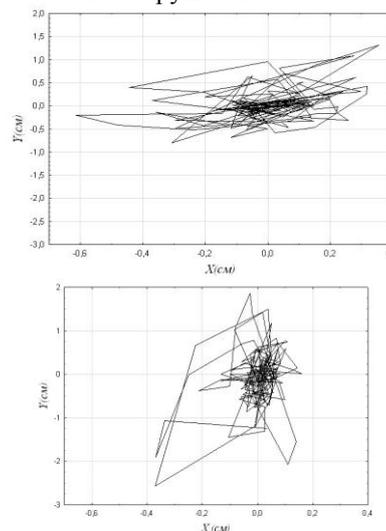


Рисунок 2. Статокинезиграмма испытуемых R и P.

## Список используемой литературы

1. Хачатурян Д.А. «Оценка функциональных состояний человека по параметрам движения»
2. [Электронный ресурс]. – URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=25362076> (дата обращения 10.10.2016).
3. N. Chastan, B. Debono, D. Maltete, J.Weber: Discordance between measured postural instability and absence of clinical symptoms in Parkinson's disease patients in the early stages of the disease, Movement Disorders, V.23, 2008, pp.366–372.