

УДК 57.043

МЕТОД МНОГОМЕРНЫХ ФАЗОВЫХ ПРОСТРАНСТВ В ОЦЕНКЕ ХАОТИЧЕСКОЙ ДИНАМИКИ ТРЕМОРА

Т.В. ГАВРИЛЕНКО, А.Е. БАЖЕНОВА, А.А. БАЛТИКОВА, Ю.В. БАШКАТОВА, Е.В. МАЙСТРЕНКО

ГБОУ ВПО «Сургутский государственный университет Ханты-Мансийского автономного округа – Югры», г. Сургут, проспект Ленина, 1, Тел.: +79226545788, e-mail: taras.gavrilenko@gmail.com

Аннотация: показана практическая возможность применения метода многомерных фазовых пространств как количественной меры, хаотической динамики постурального тремора. В качестве меры состояния нервно-мышечной системы человека (до воздействия и во время воздействия) используют объемы квазиаттракторов многомерных фазовых пространств, обеспечивают идентификации реальных измерений параметров функционального состояния организма до и после воздействия.

Ключевые слова: вектор состояния системы, хаос, многомерные фазовые пространства, тремор.

METHOD OF MULTIDIMENSIONAL PHASESPACE IN EVALUATION OF CHAOTIC DYNAMICS OF TREMOR

T.V. GAVRILENKO, A.E. BAZHENOVA, A.A. BALTIKOVA, U.V. BASHKATOVA, E.V. MAISTRENKO

Surgut State University, Phone: +79226545788, e-mail: taras.gavrilenko@gmail.com

Abstract: The feasibility of the method of multidimensional phase spaces as a quantitative measure of the chaotic dynamics of postural tremor were shown. The volume of quasi-attractors of multi-dimensional phase spaces used as a measure, providing the identification of real measurements of functional status before and after treatment.

Key words: system state vector, chaos, multi-dimensional phase space, tremor.

Введение. Метод многомерных фазовых пространств активно используется в различных физических исследованиях. При изучении и моделировании биологических объектов возникает возможность внедрения традиционных физических методов в биологические исследования. В данной работе предлагается реализация такого подхода на основе метода четырехмерного фазового пространства для изучения особенностей реакции нервно-мышечной системы в ответ на дозированные статические нагрузки. Предлагается вместо традиционных пониманий стационарных режимов биосистем $dy/dt=0$, где $x=x(t)=(x_1, x_2, \dots, x_n)$ t является *вектором состояния системы* (ВСС), использовать параметры *квазиаттракторов* (КА) внутри которых наблюдается движения ВСС в *фазовом пространстве состояний* (ФПС). Эти движения имеют хаотический характер, т.е. постоянно $dx/dt \neq 0$, но это движение ограничено объемом КА [1, 2].

Цель исследования. На конкретных экспериментальных измерениях доказать возможность использования в качестве количественной меры, наблюдаемой хаотической динамики постурального тремора, объемы КА многомерных фазовых пространств, которые обеспечивают идентификации реальных измерений параметров функционального состояния организма до и после воздействия. При этом постулируется, что организм обследуемых имеет ВСС $x=x(t)$, который совершает непрерывные хаотические движения (т.е. постоянно $dx/dt \neq 0$) в пределах измеряемых КА [3].

Объект и методы исследования: для исследования была привлечена группа испытуемых в количестве 18 человек. У испытуемых регистрировались параметры тремора, в двух координатах x и y , с использованием оригинальной аппаратуры. Тремор конечности испытуемого (пальца) регистрировался в пределах некоторой плоскости с независимыми координатами: по вертикали – y и по горизонтали – x . В целом, регистрировался четырехмерный вектор $X=X(t)=(x_1, x_2, x_3, x_4)^T$, где $x_1=y$; $x_2=dy/dt$; $x_3=x$; $x_4=dx/dt$. В таком ФПС строились КА динамики поведения ВСС и определялись объемы получаемых квазиаттракторов V_G . В конечном итоге анализ состояния биомеханической системы производился на основе сравнения V_G КА по каждой паре координат, а также на основе анализа всех суммарных четырехмерных КА. При этом тремор регистрировался без воздействия и под воздействием статической нагрузки.

Результаты исследования и их обсуждения, для визуальной оценки интенсивности пространственного дрейфа пластины, прикрепляемой к конечности обследуемого, с помощью ЭВМ строилась временная развертка сигнала и *амплитудно-частотная характеристика* (АЧХ), позволяющая оценить амплитуду колебания по обоим каналам регистрации в низко-, средне- и высокочастотном диапазонах. Анализ полученных треморограмм по двум независимым направлениям y и x позволил установить, что амплитуда вертикальных перемещений исходно больше по величине, чем горизонтальные колебания. При этом максимальные выбросы амплитуд наблюдаются в области низких частот, как по оси Y , так и по оси X , но по абсолютному значению преобладают амплитуды вертикальных перемещений (достигают 65 у.е. против максимума в 38 у.е. по горизонтали).

Каждый из векторов перемещения по осям (y и x) может образовывать фазовую плоскость, описывающую динамику поведения двумерного ВСС $x=(x_1, x_2)^T$. В качестве фазовых координат, помимо координат перемещения, использовались координаты скорости перемещения пальца $x_2=dy/dt$, $x_4=dx/dt$.

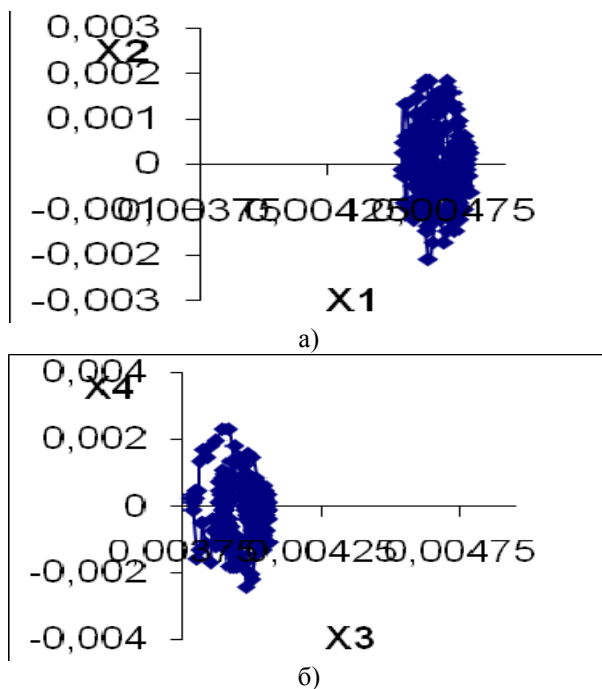


Рис. 1. Фазовые траектории движения пальцев руки испытуемого *A*, без нагрузки: а) по оси Y (x_1, x_2); б) по оси X (x_3, x_4)

Из рис. 1 видно, что КА вертикальных перемещений смещается в сторону больших амплитуд. Данный пример КА горизонтальных перемещений больше вертикальных и характеризуется большей хаотичностью движений в горизонтальной плоскости. В табл. 1 представлены значения объема КА (в виде площади), описывающего движение конечности по горизонтальному и вертикальному направлению. Движения пальцев руки испытуемого *A* без нагрузки по оси Y имеет меньшие значения КА.

Таблица 1

Площади квазиаттракторов у испытуемого *A*, без нагрузки

	По оси Y (x_1, x_2)	По оси X (x_3, x_4)
Площади квазиаттракторов	$10,15 \cdot 10^{-7}$	$13,19 \cdot 10^{-7}$

Таким образом, КА для горизонтальных перемещений до нагрузки, ненамного больше, чем для вертикальных.

Дополнительно определялась возможность согласованности в регуляции движения (тремора) по осям x и y с помощью матриц корреляционных отношений между компонентами вектора X (табл. 2). Переменные x_1 и x_3 имеют высокие значения корреляции (зависимость между сигналами очень высока). С увеличением вертикальных перемещений x_1 пальца руки испытуемого *A*, обратно пропорционально изменяются значения вертикальных скоростей и наоборот.

Таблица 2

Корреляционная матрица между сигналами x_1 и x_3 испытуемого *A*

	x_1	x_3
x_1	1	-0,9132
x_3	-0,9132	1

Аналогичный анализ микроперемещений пальца кисти руки, как типичный пример для всех испытуемых, того же испытуемого, *A* был, проведем с нагрузкой в 1,5 кг. Анализ кинематограммам показал снижение максимальных амплитуд колебаний вертикальных перемещений, в сравнении с параметрами без нагрузки. При этом колебания в области низких частот горизонтальных перемещений увеличились до 60 у.е.

против 38 у.е. до нагрузки. Увеличилась амплитуда колебаний в диапазоне средних частот по сравнению с АЧХ до нагрузки как в вертикальном, так и в горизонтальном перемещениях. Это объяснимо тем, что при удержании груза происходит дополнительное напряжения пальцев кисти руки, требующее дополнительных усилий и дополнительной регуляции позы.

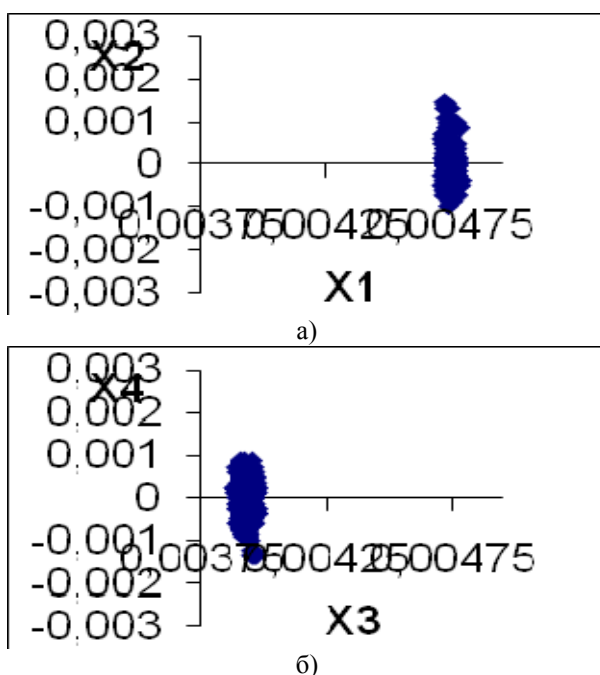


Рис.2. Фазовые траектории движения пальца руки испытуемого А, в условиях действия нагрузки 1,5 кг: а) по оси Y (x_1, x_2); б) по оси X (x_3, x_4)

На рис. 2 представлено уменьшение параметров КА вертикальных и горизонтальных перемещений пальца руки испытуемого А, под действием груза в 1,5 кг, в сравнении с таковыми без нагрузки. Разница между объемами КА представлена в табл. 3.

По сравнению с числовыми данными у всех испытуемых без нагрузки, площади уменьшились. Но, аналогично, как и в случае без нагрузки, площадь КА для вертикальных перемещений остается меньше горизонтальных. Подобная динамика наблюдалась и в работе при анализе произвольных движений. Корреляционная связь между сигналами x_1 и x_3 очень мала [4].

Таблица 3

Площади квазиаттракторов в условиях действия нагрузки 1,5 кг у испытуемого А

	Y (x_1, x_2)	X (x_3, x_4)
Площади квазиаттрактора	$1,82 \cdot 10^{-7}$	$2,09 \cdot 10^{-7}$

Таблица 4

Корреляционная матрица между сигналами x_1 и x_3 испытуемого А в условиях действия нагрузки 1,5 кг

	x1	x3
x1	1	-0,21584
x3	-0,21584	1

Заключение. Исследование подтвердило эффективность применения методов многомерных фазовых пространств в качестве меры динамики изменения постурального тремора. Нагрузка в 1,5 кг смещает АЧХ в область средних частот, что подтверждается графическими представлениями и количественными данными. Площадь КА вертикальных перемещений без нагрузки и в условиях действия нагрузки 1,5 кг несколько меньше площади КА горизонтальных перемещений, однако, в любом случае действие нагрузки приводит к уменьшению КА тремора.

Литература

1. *Еськов, В.М.* Основы биоинформационного анализа динамики микрохаотического поведения биосистем / В.М.Еськов, И.В.Буров, О.Е.Филатова, А.А. Хадарцев // Вестник новых медицинских технологий.– 2012.– Т.19.– №1.– С.15–18.
2. *Гавриленко, Т.В.* Хаотическая динамика произвольных движений конечности человека в 4-мерном фазовом пространстве / Т.В. Гавриленко, А.А. Балтикова, Д.А. Дегтярев, В.В. Еськов, А.С. Пашнин // Сложность. Разум. Постнеклассика.– 2012.– №1.– С. 85–93.
3. *Филатов, М.А.* Метод матриц межаттракторных расстояний в идентификации психофизиологических функций человека / М.А. Филатов, Д.Ю. Филатова, О.И. Химикова, Ю.В. Романова // Сложность. Разум. Постнеклассика.– 2012.– №1.– С. 20–24.
4. Neural population dynamics during reaching / М.М. Churchland [et al.] // Nature.– 2012.– v.487.– P.51–56.