

БИОФИЗИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПАТОЛОГИЧЕСКОГО И ПОСТУРАЛЬНОГО ТРЕМОРА

В.В. ПОЛУХИН, Д.К. БЕРЕСТИН, Д.Ю. ФИЛАТОВА, О.А. ГЛАЗОВА

БУ ВО «Сургутский государственный университет», проспект Ленина, 1, г. Сургут, Россия

Аннотация. Реальный стохастический и хаотический анализ двух движений (тремор считался непроизвольным движением, а теппинг – произвольным) показывает их как хаотические движения (непроизвольные по результатам испытания, а не по наличию цели). Вводятся новые критерии для разделения этих двух типов движения в виде матриц парных сравнений выборок треморограмм и теппинграмм. Выявление различий между конкретными (получаемыми непрерывно, при последовательном измерении) сравниваемыми попарно у одного испытуемого группами выполнялись при помощи критерия Вилкоксона. Увеличение количества «общих» пар выборок теппинграмм по сравнению с треморограммами говорит о частичном увеличении синхронизма за счет афферентации и привлечения мыслительной деятельности. Это свидетельствует о начале некоторого сдвига от хаотического режима к стохастическому. При этом увеличении общих пар теппинга возможно из-за изменения структуры колебаний. Предлагается новый расчёт параметров квазиаттракторов этих двух типов движений, которые обеспечивают идентификацию различий физиологического состояния испытуемых. Демонстрируются конкретные примеры изменения параметров матриц парных сравнений и квазиаттракторов. Представлен метод анализа автокорреляционных функций при разбиении интервала (-1; 1) на четыре части. Использование анализ плотности автокорреляционных функций треморограмм и теппинграмм показывает существенное различие между непроизвольным движением (тремором) и произвольным движением (теппингом).

Ключевые слова: модель, тремор, теппинг, квазиаттрактор

BIOPHYSICAL MODELS OF PATHOLOGICAL AND POSTURAL TREMOR

V.V. POLUHIN, D.K. BERESTIN, D.J. FILATOVA, O.A. GLAZOVA

Surgut State University, Lenin av., 1, Surgut, Russia

Abstract. Real chaotic and stochastic analysis of the two movements (tremor was considered as involuntary movements and tapping - arbitrary) shows them as chaotic movements (involuntary on the results of the test, not by the presence of the target). The authors introduce new criteria for separating these two types of motion in the form of matrices of pairwise comparisons of samples tremorograms and tappinggrams. Identifying differences between the concrete (obtained continuously, during the sequential measurement) that are compared in pairs in one subject groups was performed using the Wilcoxon test. The increase in the number of "common" pairs of samples of tappinggrams compared to tremorograms demonstrates a partial increase of phase-matching due to the afferentation and engaging mental activity. This indicates the beginning of a shift from the chaotic regime to stochastic. The increase in common pairs of tapping may be possible due to the change in patterns of fluctuations. The authors propose a new calculation of quasi-attractors of these two types of movements that allow the identification of the differences in the physiological state of the subject. The concrete examples of the changes in the parameters of the matrices of paired comparisons and quasi-attractors are demonstrated. The authors present a method of analysis of autocorrelation functions when partitioning the interval (-1; 1) into four parts. Using the analysis of the density autocorrelation functions and tremorograms and tappinggrams shows a significant difference between involuntary movements (tremor) and arbitrary movement (tapping).

Key words: model, tremor, tapping, quasi-attractor.

Введение. В рамках разрабатываемой сейчас *теории хаоса-самоорганизации* (ТХС) считается, что любые сложные *биологические динамические системы* (БДС), образующие организм человека, популяции животных или биосферу Земли в целом, являются уникальными и невозпроизводимыми точно системами. С точки зрения детерминистского подхода многократное повторение любого такого процесса должно обеспечивать идентификацию моделей БДС в *фазовом пространстве состояний* (ФПС) [1-5, 8-11].

Если биосистемы точно воспроизвести невозможно, то мы переходим к стохастике, т.е. к определению статистической функции распределения биопроцесса $f(x)$. При этом и стохастика всегда требует повторения начальных параметров процесса, в котором его конечный результат все-таки будет флуктуировать около среднего значения. В этом случае мы всегда имеем неравномерное распределение случайной величины в отличие от активно разрабатываемой ТХС, где принято считать, что конечное состояние системы может быть представлено равномерным распределением значений всех параметров x_i для век-

Библиографическая ссылка:

Полухин В.В., Берестин Д.К., Филатова Д.Ю., Глазова О.А. Биофизические модели патологического и постурального тремора // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2015. №4. Публикация 1-3. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-4/5292.pdf> (дата обращения: 30.11.2015). DOI: 10.12737/16779

тора состояния системы (ВСС), то есть $x=x(t) = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T$, описывающих его сложную БДС. В стохастике такой ВСС $x(t)$ должен иметь повторяющееся начальное значение $x(t_0)$ и функцию распределения $f(x)$ для всех конечных состояний $x(t_k)$. Если $x(t_0)$ воспроизвести невозможно, то стохастический подход применять нельзя (нет повторений испытаний, система уникальная и невозпроизводимая). Именно об этом говорил И.Р. Пригожин в своем обращении к потомкам («*The Die is not Cast*», I.R.Prigogine, 1999) [4-7, 13-16].

Постуральный тремор и теппинг всегда рассматривались как примеры произвольных и произвольных движений соответственно. Однако, с позиций биомеханики и ТХС оба этих движения не могут числиться произвольными движениями, т.к. они с механической точки зрения и с позиций ТХС выполняются произвольно, их характеристики (тремограмм и теппинграмм) уникальны и неповторимы [9-14].

Для моделирования таких сложных систем мы сейчас применяем *компартиментно-кластерную теорию биосистем* (ККТБ). Существенно, что моделей описывающих процессы перехода от нормогенеза к патогенезу, в медицинской кибернетике имеется сравнительно не большое число по отношению к биологии и экологии. В этой связи настоящая работа призвана дополнить класс моделей патологических форм движения, которые изучаются в клинике нервных болезней. Отсюда следует выделить формализацию патологического тремора при болезни Паркинсона, что и составило предмет настоящего сообщения [7-13].

Результаты и их обсуждение: 1. Хаотическая динамика произвольных и непроизвольных движений человека. Существуют различия между участками тремограмм в аспекте усеченного нормального распределения $f(x)$ или непараметрического распределения. Между короткими отрезками измерений, к примеру, в пределах 1-й сек. (или 1-й минуты) для одной тремограммы общей длительности в 5 сек (или 5 минут), различия настолько существенны, что использование традиционного стохастического подхода не дает значительного эффекта в сравнение с методами ТХС. В этом случае получается непрерывное изменение функций распределения: параметрические законы переходят в непараметрические распределения, но между собой они (функции $f(x)$) все разные [3-8, 15-23].

В наших экспериментах регистрировались тремор и теппинг для одного и того же испытуемого (без изменения его функционального состояния) с многократным повторением регистрации тремора (в каждом, одном эксперименте $T=5$ сек или $T=1$ минута). Парное сравнение полученных выборок тремограмм для каждого испытуемого на предмет принадлежности всех этих выборок к общей генеральной совокупности у одного и того же испытуемого демонстрирует различия $f(x)$. Это представлено в табл. 1 и табл. 2 в виде матриц парных сравнений выборок.

Стохастическая обработка результатов осуществлялась с использованием программных пакетов – «*ExcelMSOffice-2003*» и «*Statistica 6.1*». Соответствие структуры данных закону усеченного нормального распределения оценивалось на основе вычисления критерия Колмогорова-Смирнова и критерия Лиллиефорса (для больших выборок). Изучаемые распределения отличаются от усеченного нормального, если уровень значимости (p) будет меньше, чем критический (принимаемый за $p=0,05$).

В случае, если исследуемые параметры не описываются законом усеченного нормального распределения при $p<0,05$, то дальнейшие исследования зависимостей производились с использованием методов непараметрической статистики. Выявление различий между конкретными (получаемыми непрерывно, при последовательном измерении) сравниваемыми попарно у одного испытуемого группами выполнялись при помощи критерия Вилкоксона. Если $p<0,05$, то тогда справедлива гипотеза о том, что выборки принадлежат разным генеральным совокупностям. Надежность используемых статистических оценок принималась не менее 95%.

В целом, результаты статистической проверки на усеченное нормальное распределение параметров тремограмм по трем критериям показывают, что большинство выборок – непараметрические. Полученные параметры тремограмм не описываются законом усеченного нормального распределения, поэтому дальнейшие исследования производились методами непараметрической статистики. Для выявления различий параметров тремограмм использовался критерий Вилкоксона при попарном сравнении 15-ти выборок тремограмм одного человека при последовательном измерении (по $T=5$ сек.). Это представлено в табл. 1 и 2 в виде матриц парных сравнений выборок (от одного испытуемого, регистрация подряд, или от 15-ти разных испытуемых – табл. 2).

Очевидно, что у многих пар $p<0,05$, и это говорит о наличии существенных различий полученных пар для всех сравниваемых 15 выборок с использованием стохастического анализа. Таким образом, получается, что многие используемые выборки не принадлежат одной генеральной совокупности (за исключением $k=6$ пар!). Из представленной табл. 1 только пары: 9_6, 11_6, 13_1, 14_8, 15_8 и 15_14 не имеют существенных различий, но остальные пары выборок имеют существенные различия. Значит, они принадлежат разным генеральным совокупностям. Биологически это можно интерпретировать как непрерывную перенастройку системы регуляции тремора у каждого человека. При этом $f(x)$ непрерывно изменяется и произвольно получить две «похожие» выборки невозможно. Возникает вопрос об эффективности стохастического подхода в оценке тремора или теппинга.

Библиографическая ссылка:

Полухин В.В., Берестин Д.К., Филатова Д.Ю., Глазова О.А. Биофизические модели патологического и постурального тремора // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2015. №4. Публикация 1-3. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-4/5292.pdf> (дата обращения: 30.11.2015). DOI: 10.12737/16779

Таблица 1

**Результаты попарного сравнения по критерию Вилкоксона треморограмм
одного испытуемого (ЧНА) при повторных измерениях (поряд) за короткое время ($T=5$ сек)
(число «совпадений» пар $k=6$)**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,96	,00	,00
2	,00		,00	,00	,01	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
3	,00	,00		,00	,00	,01	,00	,00	,02	,04	,00	,00	,00	,01	,00
4	,00	,00	,00		,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,01	,00
5	,00	,01	,00	,00		,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
6	,00	,00	,01	,00	,00		,00	,00	,47	,00	,96	,00	,00	,00	,00
7	,00	,00	,00	,00	,00	,00		,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
8	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00		,00	,00	,00	,00	,00	,21	,19
9	,00	,00	,02	,00	,00	,47	,00	,00		,00	,02	,00	,00	,00	,00
10	,00	,00	,04	,00	,00	,00	,00	,00	,00		,00	,00	,00	,00	,00
11	,00	,00	,00	,00	,00	,96	,00	,00	,02	,00		,00	,00	,00	,00
12	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00		,00	,00	,00
13	,96	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00		,00	,00
14	,00	,00	,01	,01	,00	,00	,00	,21	,00	,00	,00	,00	,00		0,79
15	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,19	,00	,00	,00	,00	,00	,79	

Примечание: p – достигнутый уровень значимости (критическим уровнем принят $p<0,05$)

В итоге для 105 разных пар сравнения в табл. 1 только 6 пар не имеют существенных различий (это около 6 %) между собой, а остальные 99 пар принадлежат разным генеральным совокупностям (нет «совпадений») и различия между ними существенные. Наблюдается непрерывный калейдоскоп внутренних перестроек в нервно-мышечной системе одного человека, якобы находящегося в гомеостазе. И тогда возникает вопрос: что такое гомеостаз?

Характерно, что сходные результаты получаем и от разных испытуемых, что доказывает сходство (имеются возрастные и половые различия и тремор зависит от функционального (психического) состояния человека) в организации системы регуляции движений (тремора) у всех испытуемых. Для примера приведем табл. 2 результаты экспериментов с 15-ю разными испытуемыми, где тоже $k=6$. Очевидно, что с позиций стохастики можно говорить об одинаковом гомеостазе у испытуемого ЧНА и всех 15-ти испытуемых, т.к. $k=6$ для табл. 1 и табл. 2.

Таблица 2

**Результаты попарного сравнения по критерию Ньюмена – Кейлса треморограмм
для 15-ти различных испытуемых (число «совпадений» $k=6$)**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	R:1484,6	R:830,20	R:3982,8	R:1979,7	R:5906,4	R:4762,2	R:2256,1	R:7217,9	R:5572,5	:336,95	:3433,2	:6094,1	:2623,4	:6402,0	:3411,5
1		,00	,00	,03	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
2	,00		,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,03	,00	,00	,00	,00	,00
3	,00	,00		,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,04	,00	,00	,00	,02
4	,03	,00	,00		,00	,00	1,0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
5	,00	,00	,00	,00		,00	,00	,00	1,0	,00	,00	1,0	,00	,03	,00
6	,00	,00	,00	,00	,00		,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
7	,00	,00	,00	1,0	,00	,00		,00	,00	,00	,00	,00	,77	,00	,00
8	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00		,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
9	,00	,00	,00	,00	1,0	,00	,00	,00		,00	,00	,01	,00	,00	,00
10	,00	,03	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00		,00	,00	,00	,00	,00
11	,00	,00	,04	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00		,00	,00	,00	1,0
12	,00	,00	,00	,00	1,0	,00	,00	,00	,01	,00	,00		,00	1,0	,00
13	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,77	,00	,00	,00	,00	,00		,00	,00
14	,00	,00	,00	,00	,03	,00	,00	,00	,00	,00	,00	1,0	,00		,00
15	,00	,00	,02	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	1,0	,00	,00	,00	

Примечание: p – достигнутый уровень значимости (критическим уровнем принят $p<0,05$)

Библиографическая ссылка:

Полухин В.В., Берестин Д.К., Филатова Д.Ю., Глазова О.А. Биофизические модели патологического и постурального тремора // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2015. №4. Публикация 1-3. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-4/5292.pdf> (дата обращения: 30.11.2015). DOI: 10.12737/16779

Как видно из табл. 2 у многих пар $p < 0,05$, что говорит о наличии существенных различий для этих разных 15-ти выборок. Получается, что большинство выборок не принадлежат одной генеральной совокупности (за исключением $k=6$ пар!). Таким образом, на основе стохастической обработки многих подобных повторений получаем матрицы парных сравнений выборок (треморограмм) как от одного человека, так и от разных людей. Для всех этих треморограмм мы установили, что существенных различий (по числу «совпадений» пар) между треморограмми одного человека (при 15-ти повторях) и 15-ти разных испытуемых (в разных измерениях) не имеется. Вывод: механизм регуляции постурального тремора имеет общую природу хаоса – самоорганизации, и он у всех людей приблизительно одинаков (если они находятся в исходных физиологических условиях), т.е. имеем некоторую инвариантность в работе системы регуляции движений.

Подобное мы имеем и для теппинграмм, хотя теппинг – произвольное движение. Анализ выборок координат x_i по критериям Колмогорова – Смирнова, Лиллиефорса и Шапиро - Уилка для теппинграмм показывает еще более низкие показатели, чем у тремора по возможности их отнесения к усеченному нормальному закону распределения. Все значения теппинграмм демонстрируют уровень значимости $p < 0,01$. Таким образом можно говорить, что наши значения распределения отличаются от усеченного нормального еще более существенно, чем для треморограмм. При этом мы говорим об управлении со стороны ЦНС, т.е. о произвольности, которая как-то должна проявляться в нормализации выборок (в технике это реализуется однозначно: чем более жесткое регулирование, тем меньше дисперсия). Следовательно, БДС существенно отличается от технических систем, это уникальные биосистемы.

Были представлены результаты попарного сравнения выборок теппинграмм для одного испытуемого ($k=19$), которые оценивались в виде матрицы по критерию Вилкоксона. Их тоже можно сравнить с тремором, т.е. с табл. 1, где число совпадений ($k=6$) меньше.

В итоге для 105 пар сравнения для теппинга (для тремора $k=6$) только 19 пар не имеют существенных различий между собой, а остальные 86 пар принадлежат разным генеральным совокупностям и различия между ними существенные. Это уже около 18%, что больше, чем для тремора. В этом, очевидно, и заключено статистическое различие между тремором и теппингом, т.е. между «непроизвольным» и «произвольным» движением. Однако, и там, и там мы имеем хаос и неповторяемость в движениях, а усеченное нормальное распределение даже чаще встречается у тремора, чем у теппинга. Нечто подобное мы имеем и для случая 15-ти теппинграмм от 15-ти различных испытуемых, где k изменяются в пределах 13-19 по большим выборкам (для тремора k от 3 до 9).

Увеличение количества «общих» пар выборок теппинграмм по сравнению с треморограммами говорит о частичном увеличении синхронизма за счет афферентации и привлечения мыслительной деятельности. Это свидетельствует о начале некоторого сдвига от хаотического режима к стохастическому. При этом увеличение общих пар теппинга возможно из-за изменения структуры колебаний. Как видно из полученных результатов стохастической обработки, получается, что любой интервал регистрации тремора и теппинга будет уникальным и неповторимым, даже в случае, если испытуемый находится в комфортном состоянии т.е. его гомеостаз не изменяется.

Эти изменения наблюдаются нами непрерывно у любого испытуемого (регистрация подряд) и у разных испытуемых (разовая регистрация). Следовательно, любые результаты стохастического анализа будут иметь характер изменения только для данного интервала времени. Это значит, что для другого интервала времени параметры (k) будут другими и будут другие $f(x)$. В этом случае достоверность стохастических методов обработки подобных сигналов остается под вопросом. Таким образом, можно высказать предположение: гомеостаз – это непрерывное хаотическое движение вектора состояния системы в ФПС в пределах квазиаттракторов (КА), параметры которых почти неизменны.

2. Квазиаттракторы и автокорреляции у БДС. Аналогичная картина у нас получается при анализе автокорреляционных функций $A(t)$ и амплитудно-частотных характеристик (АЧХ). Иными словами стохастика демонстрирует непрерывные изменения параметров функций распределения $f(x)$, автокорреляционных функций $A(t)$, АЧХ теппинграмм и треморограмм. Отсюда следует, что требуется другой подход в анализе теппинга и тремора, на основе параметров КА.

Отметим, что всегда для биосистем в гомеостазе можно определить объемы V_G фазовых пространств, внутри которых происходит непрерывное хаотическое движение вектора состояния конкретной биосистемы. И если в физике компонентами этого вектора могут быть сопряженные величины (например, координата положения частицы $x_1=x(t)$ и ее скорость $x_2=dx_1/dt$ при условии, что массу конкретной частицы гипотетически мы нормируем, т.е. $m=1$), то для биологических систем мы имеем множество примеров такого же фазового пространства с координатами x и dx/dt . В частности, для треморограмм мы вводим $x(t)=(x_1, x_2)^T$ в виде аналогий обобщенных координат в физике (x_1 и скорости (x_2)) [16-17]. Для многих других типов фазового пространства мы повышаем размерность ФПС ($m > 2$) и получаем некоторый критический (ограничивающий) объем граничного квазиаттрактора в виде произведений Δx_i :

Библиографическая ссылка:

Полухин В.В., Берестин Д.К., Филатова Д.Ю., Глазова О.А. Биофизические модели патологического и постурального тремора // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2015. №4. Публикация 1-3. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-4/5292.pdf> (дата обращения: 30.11.2015). DOI: 10.12737/16779

$$V_G = \prod_{i=1}^m \Delta x_i, \quad (1)$$

где Δx_i – вариационные размахи по каждой i -й координате всего ВСС в виде $x(t)$ [1-2, 14-17].

С математической точки зрения мы определяем *квазиаттрактор* в виде не нулевого подмножества фазового m -мерного пространства $D \in \overline{1, m}$ динамической биологической системы, являющегося объединением всех значений $f(t_i)$ состояния БДС на конечном отрезке времени $[t_j, \dots, t_e]$ ($j \ll e$, где t_j – начальный момент времени, а t_e – конечный момент времени состояний БДС):

$$Q = \bigcup_{l=1}^m \bigcup_{i=j}^e f^l(t_i), \quad Q \neq 0; Q \in D, \quad (2)$$

где m – количество координат x_i пространственных измерений.

В качестве основной меры КА используется объем (V_G) области Q -мерного пространства, внутри которого заключены все значения $f(t_i)$ состояния БДС на промежутке времени $[t_j, \dots, t_e]$

$$V_G = \text{mes}(Q) = \prod_{i=1}^m (\max(f^i(t_j), \dots, f^i(t_e)) - \min(f^i(t_j), \dots, f^i(t_e))) \quad (3)$$

Следует отметить, что стохастическая обработка треморограмм в виде суперпозиции $A(t)$ отличается от хаотической обработки параметров теппинграмм испытуемого. Суперпозиция КА, даёт некоторое V_G , однако $A(t)$ заполняет равномерно всю область [16-23].

На рис. 1 представлена гистограмма (при разбиении всего интервала (-1, 1) на 4-е равномерных отрезка) суперпозиции 15-ти $A(t)$. При таких повторах мы наблюдаем некоторые колебания столбцов около средней линии (1/4 в у.е.), т.е. рис. 1 не является типичным, но он отражает тенденцию: высота столбцов колеблется около средней линии.

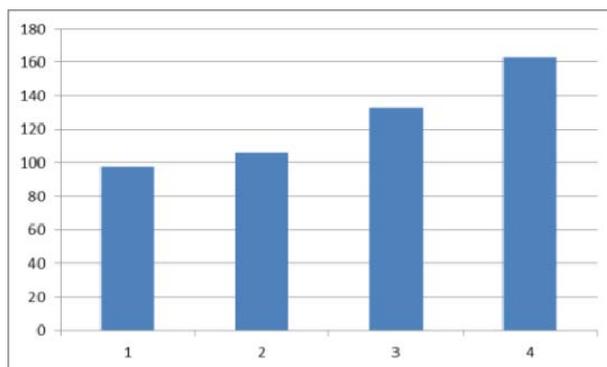


Рис. 1. Гистограмма распределения корреляционных функций $A(t)$ при разбиении интервала (-1; +1) на 4-е равные части

Аналогично можно выполнить представление стохастической обработки теппинграмм в виде суперпозиции $A(t)$ и хаотической обработки этих же параметров теппинграмм испытуемого в виде суперпозиции квазиаттракторов, для конкретного испытуемого при 15-ти повторах испытаний (регистрация теппинграмм).

При делении на четыре интервала изменения $A(t)$ в общем интервале изменения этой функции в уже известных пределах от -1 до +1 т.е. при $A(t) \in (-1; +1)$ мы получим явно выраженную асимметричную гистограмму (рис. 2). Гистограмма $A(t)$ показывает, фактически, экспоненциальное убывание $A(i)$ при переходе от 1-го интервала (-1;-0,5) к последнему (0,5;1).

Библиографическая ссылка:

Полухин В.В., Берестин Д.К., Филатова Д.Ю., Глазова О.А. Биофизические модели патологического и постурального тремора // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2015. №4. Публикация 1-3. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-4/5292.pdf> (дата обращения: 30.11.2015). DOI: 10.12737/16779

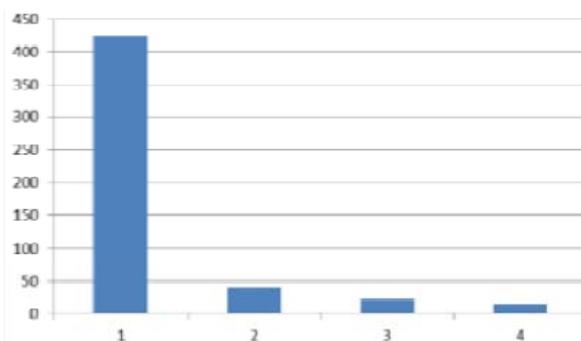


Рис. 2. Гистограмма для одного и того же испытуемого его распределения автокорреляционной функции $A(i)$ по четырем ($i=1, 2, 3, 4$) интервалам от всего интервала $(-1; +1)$

Существенно, что анализ плотности $A(t)$ треморограмм и теппинграмм показывает выраженное различие между произвольным движением (тремором) и произвольным движением (теппингом)! Для сравнения представлены рис. 1 и 2. Важно, что в настоящее время в мировой науке отсутствуют формальные модели, которые бы могли имитировать динамику нормального или патологического тремора в режиме непрерывного изменения функций распределения выборок (табл. 1-2), или в режиме хаотической вариации параметров колебаний. Обычно такие процессы имитируют за счет введения флуктуирующего слагаемого генератора случайных чисел в правую часть систем дифференциальных уравнений. В компартментно-кластерных моделях это достигается за счет особой вариации параметров самой модели, без хаотичного слагаемого и это является принципиально новым подходом в моделировании «мерцающих систем» (*glimmering systems*).

Выводы:

1. При сравнении квазиаттракторов тремора и теппинга установлено, что их площади для тремора всегдакратно меньше, чем для теппинга. Существенно, что в рамках расчетов КА и тремора, и теппинга одного человека (при повторях) результаты не отличаются существенно от группы разных испытуемых. Тремор и теппинг в этом отношении идентичны (в отношении хаотической динамики в целом), но механизмы хаотической организации и произвольных движений (теппинг), и не произвольных движений (тремор) – имеют принципы хаотической самоорганизации.

2. В целом, разработанные методы оценки хаотической динамики тремора и теппинга (с помощью параметров КА, матриц парных сравнений и скорости v изменения КА) могут быть использованы для изучения произвольности (или непроизвольности) в организации движений и для оценки эффектов физических воздействий на организм человека (звуковые воздействия, действие низких температур на организм – охлаждение).

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ р_урал_а 15-41-00034

Литература

1. Аушева Ф.И., Добрынина И.Ю., Мишина Е.А., Полухин В.В., Хадарцева К.А. Системный анализ суточной динамики показателей сердечно-сосудистой системы у больных при артериальной гипертензии // Вестник новых медицинских технологий. 2008. Т. 15, № 4. С. 208–210.
2. Берестин Д.К., Черников Н.А., Григоренко В.В., Горбунов Д.В. Математическое моделирование возрастных изменений сердечно-сосудистой системы аборигенов и пришлого населения Севера РФ // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2015. № 3. С. 77–84.
3. Ведясова О.А., Еськов В.М., Филатова О.Е. Системный компартментно-кластерный анализ механизмов устойчивости дыхательной ритмики млекопитающих. Монография; Российская акад. наук, Науч. совет по проблемам биологической физики. Самара, 2005. 198 с.
4. Ведясова О.А., Еськов В.М., Живогляд Р.Н., Зуевская Т.В., Попов Ю.М. Соотношение между детерминистскими и хаотическими подходами в моделировании синергизма и устойчивости работы дыхательного центра млекопитающих // Вестник новых медицинских технологий. 2005. Т. 12, № 2. С. 23–24.
5. Вохмина Ю.В., Еськов В.М., Гавриленко Т.В., Филатова О.Е. Измерение параметров порядка на основе нейросетевых технологий // Измерительная техника. 2015. № 4. С. 65–68.
6. Гавриленко Т.В., Горбунов Д.В., Эльман К.А., Григоренко В.В. Возможности стохастики и теории хаоса в обработке миограмм // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2015. № 1. С. 48–53.

Библиографическая ссылка:

Полухин В.В., Берестин Д.К., Филатова Д.Ю., Глазова О.А. Биофизические модели патологического и постурального тремора // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2015. №4. Публикация 1-3. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-4/5292.pdf> (дата обращения: 30.11.2015). DOI: 10.12737/16779

7. Гавриленко Т.В., Горбунов Д.В., Эльман К.А., Шадрин Г.А. Динамика изменения параметров биоэлектрической активности мышц в ответ на разное статическое усилие // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2015. №3. Публикация 1-8. Режим доступа: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-3/5257.pdf> (дата обращения: 30.09.2015). DOI: 10.12737/13386
8. Добрынина И.Ю., Еськов В.М., Живогляд Р.Н., Чантурия С.М., Шипилова Т.Н. Особенности гестозов и нарушений углеводного обмена // Вестник новых медицинских технологий. 2006. Т. 13, № 3. С. 14–16.
9. Еськов В.М., Филатова О.Е., Фудин Н.А., Хадарцев А.А. Новые методы изучения интервалов устойчивости биологических динамических систем в рамках компартментно-кластерного подхода // Вестник новых медицинских технологий. 2004. Т. 11. № 3. С. 5–6.
10. Еськов В.М., Филатова О.Е., Фудин Н.А., Хадарцев А.А. Проблема выбора оптимальных математических моделей в теории идентификации биологических динамических систем // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2004. Т. 3, № 2. С. 150–152.
11. Еськов В.М., Майстренко В.И., Майстренко Е.В., Филатов М.А., Филатова М.Ю. Исследование корреляции показателей функциональной асимметрии полушарий головного мозга с результатами учебной деятельности учащихся // Вестник новых медицинских технологий. 2007. Т. 14, № 3. С. 205–207.
12. Еськов В.М., Филатов М.А., Буров И.В., Филатова Д.Ю. Возрастная динамика изменений параметров квазиаттракторов психофизиологических функций учащихся школ Югры с профильным и непрофильным обучением // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2010. Т. 9, № 3. С. 599–603.
13. Еськов В.М., Еськов В.В., Хадарцев А.А., Филатов М.А., Филатова Д.Ю. Метод системного синтеза на основе расчета межаттракторных расстояний в гипотезе равномерного и неравномерного распределения при изучении эффективности кинезитерапии // Вестник новых медицинских технологий. 2010. Т. 17, № 3. С. 106–110.
14. Еськов В.М. Третья парадигма Российская академия наук, Научно-проблемный совет по биофизике. Самара, 2011. 295 с.
15. Еськов В.М., Хадарцев А.А., Филатова О.Е., Хадарцева К.А. Околосуточные ритмы показателей кардиореспираторной системы и биологического возраста человека // Терапевт. 2012. № 8. С. 36–43.
16. Еськов В.М., Хадарцев А.А., Еськов В.В., Гавриленко Т.В., Филатов М.А. Complexity - особый тип биомедицинских и социальных систем // Вестник новых медицинских технологий. 2013. Т. 20, № 1. С. 17–22.
17. Измерение хаотической динамики двух видов теппинга как произвольных движений / Еськов В.М., Гавриленко Т.В., Вохмина Ю.В. [и др.] // Метрология. 2014. № 6. С. 28–35.
18. Еськов В.М., Еськов В.В., Гавриленко Т.В., Вохмина Ю.В. Кинематика биосистем как эволюция: стационарные режимы и скорость движения сложных систем – complexity // Вестник Московского университета. Серия 3: Физика. Астрономия. 2015. № 2. С. 62–73.
19. Еськов В.М., Филатова О.Е., Проворова О.В., Химикова О.И. Нейроэмуляторы при идентификации параметров порядка в экологии человека // Экология человека. 2015. № 5. С. 57–60.
20. Филатова О.Е., Проворова О.В., Волохова М.А. Оценка вегетативного статуса работников нефтегазодобывающей промышленности с позиции теории хаоса и самоорганизации // Экология человека. 2014. № 6. С. 16–19.
21. Eskov V.M., Filatova O.E. Problem of identity of functional states in neuronal networks // Biophysics. 2003. Vol. 48, No. 3. P. 497–505.
22. Eskov V.M., Papshev V.A., Eskov V.V., Zharkov D.A. Measuring biomedical parameters of human extremity tremor // Measurement Techniques. 2003. Vol. 46, No 1. P. 93.
23. Eskov V.M. Evolution of the emergent properties of three types of societies: The basic law of human development // E:CO Emergence: Complexity and Organization. 2014. Vol. 16, No. 2. P. 107–115.

References

1. Ausheva FI, Dobrynina IYu, Mishina EA, Polukhin VV, Khadartseva KA. Sistemnyy analiz sutochnoy dinamiki pokazateley serdechno-sosudistoy sistemy u bol'nykh pri arterial'noy gipertenzii. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2008;15(4):208-10. Russian.
2. Berestin DK, Chernikov NA, Grigorenko VV, Gorbunov DV. Matematicheskoe Modelirovanie Vozrastnykh Izmeneniy Serdechno-Sosudistoy Sistemy Aborigenov I Prishlogo Naseleniya Severa RF. Slozhnost'. Razum. Postneklassika. 2015;3:77-84. Russian.
3. Vedyasova OA, Es'kov VM, Filatova OE. Sistemnyy kompartmentno-klasternyy analiz mekhanizmov ustoychivosti dykhatel'noy ritniki mlekopitayushchikh. Monografiya; Rossiyskaya akad. nauk, Nauch. sovet po problemam biologicheskoy fiziki. Samara; 2005. Russian.

Библиографическая ссылка:

Полухин В.В., Берестин Д.К., Филатова Д.Ю., Глазова О.А. Биофизические модели патологического и постурального тремора // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2015. №4. Публикация 1-3. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-4/5292.pdf> (дата обращения: 30.11.2015). DOI: 10.12737/16779

4. Vedyasova OA, Es'kov VM, Zhivoglyad RN, Zuevskaya TV, Popov YuM. Sootnoshenie mezhdur terministskimi i khaoticheskimi podkhodami v modelirovanii sinergizma i ustoychivosti raboty dykhatel'nogo tsentra mlekopitayushchikh. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2005;12(2):23-4. Russian.
5. Vokhmina YuV, Es'kov VM, Gavrilenko TV, Filatova OE. Izmerenie parametrov poryadka na osnove neyrosetevykh tekhnologiy. Izmeritel'naya tekhnika. 2015;4:65-8. Russian.
6. Gavrilenko TV, Gorbunov DV, El'man KA, Grigorenko VV. Vozmozhnosti stokhastiki i teorii khaosa v obrabotke miogramm. Slozhnost'. Razum. Postneklassika. 2015;1:48-53. Russian.
7. Gavrilenko TV, Gorbunov DV, El'man KA, Shadrin GA. Dinamika izmeneniya parametrov bioelektricheskoy aktivnosti myshts v otvet na raznoe staticheskoe usilie. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. Elektronnoe izdanie [internet]. 2015 [cited 2015 Aug 30];3:[about 5 p.]. Russian. Available from: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-3/5257.pdf>. DOI: 10.12737/13386
8. Dobrynina IYu, Es'kov VM, Zhivoglyad RN, Chanturiya SM, Shipilova TN. Osobennosti gestozov i narusheniy uglevodnogo obmena. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2006;13(3):14-6. Russian.
9. Es'kov VM, Filatova OE, Fudin NA, Khadartsev AA. Novye metody izucheniya intervalov ustoychivosti biologicheskikh dinamicheskikh sistem v ramkakh kompartmentno-klasternogo podkhoda. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2004;11(3):5-6. Russian.
10. Es'kov VM, Filatova OE, Fudin NA, Khadartsev AA. Problema vybora optimal'nykh matematicheskikh modeley v teorii identifikatsii biologicheskikh dinamicheskikh sistem. Sistemnyy analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh. 2004;3(2):150-2. Russian.
11. Es'kov V.M., Maystrenko V.I., Maystrenko E.V., Filatov M.A., Filatova M.Yu. Issledovanie korrelyatsii pokazateley funktsional'noy asimmetrii polushariy golovnogo mozga s rezul'tatami uchebnoy deyatel'nosti uchashchikhsya // Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2007. T. 14, № 3. S. 205–207.
12. Es'kov VM, Filatov MA, Burov IV, Filatova DYu. Vozrastnaya dinamika izmeneniy parametrov kvaziattraktorov psikhofiziologicheskikh funktsiy uchashchikhsya shkol Yugry s profil'nym i neprofil'nym obucheniem. Sistemnyy analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh. 2010;9(3):599-603. Russian.
13. Es'kov VM, Es'kov VV, Khadartsev AA, Filatov MA, Filatova DYu. Metod sistemnogo sinteza na osnove rascheta mezhattraktornykh rasstoyaniy v gipoteze ravnomernogo i neravnomernogo raspredeleniya pri izuchenii effektivnosti kineziterapii. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2010;17(3):106-10. Russian.
14. Es'kov VM. Tret'ya paradigma Rossiyskaya akademiya nauk, Nauchno-problemnyy sovet po biofizike. Samara; 2011. Russian.
15. Es'kov VM, Khadartsev AA, Filatova OE, Khadartseva KA. Okolosutochnye ritmy pokazateley kardiorespiratornoy sistemy i biologicheskogo vozrasta cheloveka. Terapevt. 2012;8:36-43. Russian.
16. Es'kov VM, Khadartsev AA, Es'kov VV, Gavrilenko TV, Filatov MA. Complexity - osoby tip biomeditsinskikh i sotsial'nykh sistem. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2013;20(1):17-22. Russian.
17. Es'kov VM, Gavrilenko TV, Vokhmina YuV, et al. Izmerenie khaoticheskoy dinamiki dvukh vidov teppinga kak proizvol'nykh dvizheniy. Metrologiya. 2014;6:28-35. Russian.
18. Es'kov VM, Es'kov VV, Gavrilenko TV, Vokhmina YuV. Kinematika biosistem kak evolyutsiya: stacionarnye rezhimy i skorost' dvizheniya slozhnykh sistem – complexity. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 3: Fizika. Astronomiya. 2015;2:62-73. Russian.
19. Es'kov VM, Filatova OE, Provorova OV, Khimikova OI. Neyroemulyatory pri identifikatsii parametrov poryadka v ekologii cheloveka. Ekologiya cheloveka. 2015;5:57-60. Russian.
20. Filatova OE, Provorova OV, Volokhova MA. Otsenka vegetativnogo statusa rabotnikov neftegazodobyvayushchey promyshlennosti s pozitsii teorii khaosa i samoorganizatsii. Ekologiya cheloveka. 2014;6:16-9. Russian.
21. Es'kov VM, Filatova OE. Problem of identity of functional states in neuronal networks. Biophysics. 2003;48(3):497-505.
22. Es'kov VM, Papshev VA, Es'kov VV, Zharkov DA. Measuring biomedical parameters of human extremity tremor. Measurement Techniques. 2003;46(1):93.
23. Es'kov VM. Evolution of the emergent properties of three types of societies: The basic law of human development. E:CO Emergence: Complexity and Organization. 2014;16(2):107-15.

Библиографическая ссылка:

Полухин В.В., Берестин Д.К., Филатова Д.Ю., Глазова О.А. Биофизические модели патологического и постурального тремора // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2015. №4. Публикация 1-3. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-4/5292.pdf> (дата обращения: 30.11.2015). DOI: 10.12737/16779