

DOI: 10.12737/ 24380

НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ ДИНАМИКИ ПАРАМЕТРОВ НЕРВНО-МЫШЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Ю.В. БАШКАТОВА, А.А. ПРАСОЛОВА, Л.С. СОРОКИНА, Н.А. ЧЕРНИКОВ

БУ ВО Ханты-Мансийского автономного округа – Югры «Сургутский государственный университет», проспект Ленина, 1, г. Сургут, 628412, Россия, тел.: +79224078761, e-mail: yuliya-bashkatova@yandex.ru

Аннотация. На основе математической статистики изучалась динамика поведения параметров нервно-мышечной системы одного человека при 15-ти повторях измерений в ответ на дозированную физическую нагрузку. Прослеживается динамика уменьшения числа пар совпадений выборок после физической нагрузки в матрицах парных сравнений. На основании изучения матриц парных сравнений теппинграмм и треморограмм установлено, что доля стохастичности при повторях однотипных измерений может нарастать. В результате проведенного исследования параметров функциональных систем организма человека на основе расчета матриц парных сравнений были показаны выборки, последовательность которых очень редко «совпала». Установлено, что выборки теппинграмм и треморограмм редко можно отнести к одной генеральной совокупности. Расчет матриц парных сравнений выборок показал, что в 85-96% случаев эти пары выборок будут разными. Матрицы неповторимы и невоспроизводимы.

Ключевые слова: теппинг, тремор, физические нагрузки, нервно-мышечной система.

THE UNCERTAINTY OF DYNAMIC PARAMETERS OF THE CARDIOVASCULAR AND NEUROMUSCULAR SYSTEM

YU.V. BASHKATOVA, A.A. PRASOLOVA, L.S. SOROKINA, N.A. CHERNIKOV

Surgut State University, Lenina, 1, Surgut, 628412, Russia, Phone: +79224078761, e-mail: yuliya-bashkatova@yandex.ru

Abstract. On the basis of mathematical statistics the dynamics of the behavior of parameters of the neuromuscular systems of the 15 repetitions of the measurement in response to the dosed physical load. Dynamics of reducing the number of pairs of matching samples after exercise in matrices of pair wise comparisons. Based on the study of matrices of pair wise comparisons of teppigram and tremorogram found that the proportion of stochastics in the repetition of similar measurements can grow. As a result of the investigation of the parameters of the functional systems of the human body based on the calculation of matrices of pair wise comparisons were shown of the sample, the sequence of which very rarely "match". It is established that the sample of teppigram and tremorogram rarely can be attributed to a single population. Calculation of matrices of pair wise comparisons of the samples showed that in 85-96% of cases these pairs of samples will be different. Matrix is unique and may not be playable.

Key words: tapping, tremor, exercise, neuromuscular system.

Введение. Изучение функционального состояния организма человека, а также степени физической подготовленности представляет особый интерес в рамках теории хаоса и самоорганизации, что позволяет прогнозировать их возможные изменения и получать важную информацию о те-

кущей динамике исследуемых функций [7-13, 17-18]. Исследования показывают, что именно нарушения в нервно-мышечной и сердечно-сосудистой систем и отражают наиболее ранние метаболические и гемодинамические сдвиги, являются фактором, предопределяющим характер изменений

работоспособности и степень выраженности изменений в состоянии здоровья [8,15-18]. Кратковременные воздействия физических дозированных нагрузок на организм человека направлены на самосохранение, а после освобождения организма от физических дозированных нагрузок происходит восстановление гомеостаза.

Изучение вегетативных и моторных функций под влиянием дозированной физической нагрузки (как внешнее управляющее воздействие), является необходимым условием для выявления текущего функционального состояния человека [5-9,15-18]. Появляется возможность прогнозировать возможные изменения в параметрах нервно-мышечной системы [1-7,13-18].

Цель работы – оценка динамики поведения функциональных систем организма человека в ответ на дозированную физическую нагрузку расчетом матриц парного сравнения.

Объекты и методы исследования. Объектом настоящего исследования явился испытуемый БУ ВО «Сургутский государственный университет», проживающий на территории округа более 5 лет.

Регистрация параметров тремора осуществлялась с помощью биофизического измерительного комплекса, разработанного в лаборатории биокибернетики и биофизики сложных систем при СурГУ. Установка включает металлическую пластинку

(крепится жестко к пальцу испытуемого), токовых датчик, усилитель, аналого-цифровой преобразователь и компьютер с оригинальным программным обеспечением. В качестве фазовых координат, помимо координаты $x_1=x(t)$ перемещения, использовалась координата скорости перемещения пальца $x_2=v(t)=dx_1/dt$.

Испытуемый проходил испытание в состоянии покоя и после выполнения динамической нагрузки. Перед испытуемым стояла задача удержать палец в пределах заданной области, осознанно контролируя его неподвижность. Обработка данных и регистрация тремора конечности испытуемого проводилась на ЭВМ с использованием программы «Charts3». С помощью этой программы осуществлялся анализ данных по временным и спектральным характеристикам кинематограмм у тренированных и нетренированных испытуемых, в низко-, средне- и высокочастотном диапазоне.

Статистическая обработка данных осуществлялась при помощи программного пакета «Statistica 10». Анализ соответствия вида распределения полученных данных закону нормального распределения производился на основе вычисления критерия Колмогорова-Смирнова. Дальнейшие исследования в зависимости от распределения производились методами параметрической и непараметрической статистики (критерий Стьюдента, Вилкоксона).

Таблица 1

Матрица парного сравнения теппинграмм испытуемого БЮВ (число повторов $N=15$), использовался критерий Вилкоксона (значимость $p>0,05$, число совпадений $k=17$) до нагрузки

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		0,36	0,43	0,00	0,00	0,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,92	0,00	0,00	0,00
2	0,36		0,48	0,00	0,08	0,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,35	0,00	0,00	0,00
3	0,43	0,48		0,00	0,16	0,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,08	0,16	0,00		0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,47	0,69	0,98	0,00	0,06		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,89	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,78		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,57	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,70	0,00	0,00	0,00	0,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,70		0,00	0,00	0,00	0,01
12	0,92	0,35	0,29	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,89	0,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	

Результаты и их обсуждение. Для набора выборок, получаемых от одного человека при регистрации тремора и теппинга были построены матрицы парного сравнения, что наглядно представлено в табл. 1,2.

Почти все статистические функции состояний $f(x)$ у одного человека при повторных (подряд) измерениях параметров $x(t)$ были разными.

После физической нагрузки при регистрации тремора и теппинга наблюдалось незначительное уменьшение пар совпадения полученных

выборок. Мыполучили последовательность выборок, которые очень редко «совпадают», т.е. их редко можно отнести к одной генеральной совокупности, что и представлено для теппинграмм и треморограмм одного человека при 15-ти повторях измерений. В табл. 1,2 обычно все выборки разные. Использовать методы на основе математической статистики в разовом испытании для изучения динамики поведения параметров нервно-мышечной системы весьма затруднительно. Нет устойчивых повторений функций распределения $f(x)$.

испытуемого (регистрация этих 15-ти выборок производилась подряд, в спокойном состоянии). Небольшое число пар совпадения выборок ($k=5$), которые демонстрируют возможность их отнесения ($p>0,05$) к общей генеральной совокупности. Остальные пары выборок разные (от одного человека).

Любая матрица вида табл. 1,2 неповторима и невоспроизводима. Такие матрицы для одного испытуемого неповторимы. Имеются также и некоторые закономерности. Например, после физической нагрузки для теппинга наблюдалось уменьшение числа пар «совпадений» и составило (9% $k=10$) из 105 пар сравнения. Для тремора число пар «совпадений» незначительно уменьшилось после дозированной нагрузки и составило 4% $k=4$. Расчёт матриц парных сравнений выборки треморограмм и теппинграмм, полученных в экспериментах при регистрациях подряд 15-ти выборок от одного испытуемого (находящегося в одном гомеостазе) всегда показывает число пар совпадений менее 20%.

Таблица 2

Матрица парного сравнения треморограмм испытуемого БЮВ (число повторов $N=15$), использовался критерий Вилкоксона (значимость $p>0,05$, число совпадений $k=5$) до нагрузки

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,56	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,41	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00
12	0,00	0,56	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Установлено, что при регистрации треморограммы и теппинграммы подряд у одного и того же человека для любых интервалов времени регистрации t_i будут свои (индивидуальные) наборы функций $f_i(x)$. В редких случаях они могут совпадать статистически. Имеется неопределенность 2-го типа при изучении их динамики поведения, когда при регистрации $x_i(t)$ для всего $x(t)$ мы наблюдали многообразие изменений статистических функций состояний $f(x)$. Характерный пример таких хаотических изменений $f(x)$ представлен в табл. 1,2.

В табл. 2 мы представляем матрицу парного сравнения 15-ти выборок (треморограмм – положение пальца испытуемого при поструральном треморе), которые получаются за 5 сек. регистрации для тремора одного

Заключение. Дозированная физическая нагрузка изменяет значения параметров нервно-мышечной системы об этом свидетельствуют изменение количества пар совпадений выборок матриц парного сравнения. Значение k после физической нагрузки незначительно уменьшается для треморограмм и теппинграмм у одного и того же человека. Расчет матриц парных сравнений выборок показал, что в 4-15% случаев мы получили некоторые пары выборок, которые можно отнести к одной генеральной совокупности, а в 85-96% эти пары будут разными. Это позволяет объективно оценивать динамику параметров нервно-мышечной системы, последовательность выборок которых очень редко «совпадают». Невозможен прогноз динамики на основе анализа предыдущих состояний и начального значения $x(t_0)$. Только при

условии искусственного создания человеком внешних управляющих (например, дозированная физическая нагрузка) воздейст-

вий возможно попытаться сделать прогноз в динамике поведения параметров нервно-мышечной системы.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №15-41-00034 p_урал_a «Разработка новых информационных моделей и вычислительных алгоритмов для идентификации параметров порядка в описании и прогнозах сложных медико-биологических систем»

Литература

References

1. Веракса А.Н., Филатова Д.Ю., Поскина Т.Ю., Клюс Л.Г. Термодинамика в эффекте Еськова – Зинченко при изучении стационарных состояний сложных биомедицинских систем // Вестник новых медицинских технологий. 2016. Т. 23, №2. С. 18–25.
 2. Вохмина Ю.В., Бuryкин Ю.Г., Филатова Д.Ю., Шумилов С.П. Стохастические и хаотические оценки произвольных движений человека // Вестник новых медицинских технологий. 2014. Т. 21, № 2. С. 10–15.
 3. Гавриленко Т.В., Вохмина Ю.В., Зимин М.И., Попов Ю.М. Математические основы глобальной неустойчивости биосистем // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2014. № 1. С. 49–62.
 4. Гавриленко Т.В., Майстренко Е.В., Горбунов Д.В., Черников Н.А., Берестин Д.К. Влияние статической нагрузки мышц на параметры энтропии электромиограмм // Вестник новых медицинских технологий. 2015. Т. 22, № 4. С. 7–12.
 5. Еськов В.В., Горбунов Д.В., Григоренко В.В., Шадрин Г.А. Анализ миограмм с позиций стохастики и теории хаоса – самоорганизации // Вестник новых медицинских технологий. 2015. Т. 22, № 2. С. 32–38.
 6. Еськов В.В., Филатов М.А., Филатова Д.Ю., Прасолова А.А. Границы детерминизма и стохастики в изучении биосистем – complexity // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2016. №1. С. 83–91.
 7. Еськов В.М., Попов Ю.М., Вохмина Ю.В. Синергетика – завершающая стадия развития общей теории систем (ОТС) // Слож-
- Veraksa AN, Filatova DYU, Poskina TYu, Klyus LG. Termodinamika v effekte Es'kova – Zinchenko pri izuchenii statsionarnykh sostoyaniy slozhnykh biomeditsinskikh sistem [Thermodynamics in the effect Of eskova – Zinchenko during the study of the steady states of the complex biomedical systems]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2016;23(2):18-25. Russian.
- Vokhmina YuV, Burykin YuG, Filatova DYu, Shumilov SP. Stokhasticheskie i khaoticheskie otsenki neproizvol'nykh dvizheniy cheloveka [Stochastic and chaotic assessment of human involuntary movements]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2014;21(2):10-5. Russian.
- Gavrilenko TV, Vokhmina YuV, Zimin MI, Popov YuM. Matematicheskie osnovy global'noy nestabil'nosti biosistem [The mathematical bases of the global instability of the biosystems]. Slozhnost'. Razum. Postneklassika. 2014;1:49-62. Russian.
- Gavrilenko TV, Maystrenko EV, Gorbunov DV, Chernikov NA, Berestin DK. Vliyanie staticheskoy nagruzki myshts na parametry entropii elektromiogramm [Thermodynamic method in analyzing the parameters bioelectrical muscles at different static loads]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2015;22(4):7-12. Russian.
- Es'kov VV, Gorbunov DV, Grigorenko VV, Shadrin GA. Analiz miogramm s pozitsiy stokhastiki i teorii khaosa – samoorganizatsii [Analysis of myograms acording to the stochastics and the chaos theory – self-organization]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2015;22(2):32-8. Russian.
- Es'kov VV, Filatov MA, Filatova DYu, Prasolova AA. Granitsy determinizma i stokhastiki v izuchenii biosistem – complexity [The boundaries of determinism and statistics in the study of ecosystems - complexity]. Slozhnost'. Razum. Postneklassika. 2016;1:83-91. Russian.
- Es'kov VM, Popov YuM, Vokhmina YuV. Sinergitika – zavershayushchaya stadiya razvitiya obshchey teorii sistem (OTS) [Synergetics is – the com-

- ность. Разум. Постнеклассика. 2013. № 2. С. 29–41.
8. Еськов В.М., Филатова О.Е. Другой мир, другая наука, другие модели в описании complexity // Вестник новых медицинских технологий. 2014. Т. 21, № 1. С. 138–141. Es'kov VM, Filatova OE. Drugoy mir, drugaya nauka, drugie modeli v opisani complexity [Other world, other science, other models in complexity description]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2014;21(1):138-41. Russian.
 9. Еськов В.М., Хадарцев А.А., Козлова В.В., Филатова О.Е. Использование статистических методов и методов многомерных фазовых пространств при оценке хаотической динамики параметров нервно-мышечной системы человека в условиях акустических воздействий // Вестник новых медицинских технологий. 2014. Т. 21, № 2. С. 6–10. Es'kov VM, Khadartsev AA, Kozlova VV, Filatova OE. Ispol'zovanie statisticheskikh metodov i metodov mnogomernykh fazovykh prostranstv pri otsenke khao-ticheskoy dinamiki parametrov nervno-myshechnoy sistemy cheloveka v usloviyakh akusticheskikh vozdeystviy. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2014;21(2):6-10. Russian.
 10. Еськов В.М., Еськов В.В., Джумагалиева Л.Б., Гудкова С.В. Медицина и теория хаоса в описании единичного и случайного // Вестник новых медицинских технологий. 2014. Т. 21, № 3. С. 27–34. Es'kov VM, Es'kov VV, Dzhumagalieva LB, Gudkova SV. Meditsina i teoriya khaosa v opisani edi-nichnogo i sluchaynogo [Medicine and the chaos theory in description of individual and particular]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2014;21(3):27-34. Russian.
 11. Еськов В.М., Полухин В.В., Дерпак В.Ю., Пашнин А.С. Математическое моделирование произвольных движений в норме и при патологии // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2015. № 2. С. 75–86. Es'kov VM, Polukhin VV, Derpak VYu, Pashnin AS. Matematicheskoe modelirovani neproizvol'nykh dvizheniy v norme i pri patologii. Slozhnost'. Razum. Postneklassika. 2015;2:75-86. Russian.
 12. Еськов В.М., Вохмина Ю.В., Шерстюк Е.С. Групповая и индивидуальная динамика биопотенциалов мышц // Вестник новых медицинских технологий. 2016. Т. 23, №2. С. 26–33. Es'kov VM, Vokhmina YuV, Sherstyuk ES. Gruppovaya i individual'naya dinamika biopotentsialov myshts [Group and individual dynamics of the biopotentials of the muscles]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2016;23(2):26-33. Russian.
 13. Еськов В.М., Зинченко Ю.П., Филатова О.Е., Веракса А.Н. Биофизические проблемы в организации движений с позиций теории хаоса – самоорганизации // Вестник новых медицинских технологий. 2016. Т. 23, №2. С. 182–188. Es'kov VM, Zinchenko YP, Filatova OE, Veraksa AN. Biofizicheskiye problemy v organizatsii dvizheniy s pozitsiy teorii khaosa – samoorganizatsii [Biophysical problems in the organization of movements from the positions of the theory of chaos – of self-organizing]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2016;23(2):182-8. Russian.
 14. Филатов М.А., Веракса А.Н., Филатова Д.Ю., Поскина Т.Ю. Понятие произвольных движений с позиций эффекта Еськова-Зинченко в психофизиологии движений // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2016. №1. С. 24–32. Filatov MA, Veraksa AN, Filatova DYU, Poskina TYU. Ponyatie proizvol'nykh dvizheniy s pozitsiy effekta Es'kova-Zinchenko v psikhofiziologii dvizheniy [The concept of voluntary movements with positions Eskova-Zinchenko effect in psychophysiology of movements]. Slozhnost'. Razum. Postneklassika. 2016;1:24-32. Russian.
 15. Филатова Д.Ю., Вохмина Ю.В., Гараева Г.Р., Синенко Д.В., Третьяков С.А. Неопределенность 1-го рода в восстановительной медицине // Вестник новых медицинских технологий. 2015. Т. 22, № 1. С. 136–143. Filatova DYU, Vokhmina YuV, Garaeva GR, Sinenko DV, Tret'yakov SA. Neopredelennost' 1-go roda v vosstanovitel'noy meditsine [Uncertainty of the 1-st kind in regenerative medicine]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2015;22(1):136-43. Russian.
 16. Филатова Д.Ю., Поскина Т.Ю., Алиев

- Н.Ш., Клюс Л.Г. Хаотический анализ биопотенциалов // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2016. № 2. С. 19–26.
17. Филатова О.Е., Еськов В.В., Вохмина Ю.В., Зимин М.И. Принцип относительности покоя и движения гомеостатических систем или является ли биомеханика разделом физической механики и термодинамики? // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2015. №3. С. 66–76.
18. Филатова О.Е., Хадарцева К.А., Филатова Д.Ю., Живаева Н.В. Биофизика сложных систем – complexity // Вестник новых медицинских технологий. 2016. Т. 23, №2. С. 9–17.
- Khaoticheskiy analiz biopotentsialov [Chaotic analysis of the biopotentials]. Slozhnost'. Razum. Postneklassika. 2016;2:19-26. Russian.
- Filatova OE, Es'kov VV, Vokhmina YuV, Zimin MI. Printsip otnositel'nosti pokoya i dvizhe-niya gomeostaticeskikh sistem ili yavlyaetsya li biomekhanika razdelom fizicheskoy mekhaniki i termodinamiki? [The law of relativity of rest and motion of homeostatic systems or is biomechanics the division of physical mechanics and thermodynamics?]. Slozhnost'. Razum. Postneklassika. 2015;3:66-76. Russian.
- Filatova OE, Khadartseva KA, Filatova DYU, Zhivaeva NV. Biofizika slozhnykh sistem – complexity [Biophysics of the complex systems – complexity]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2016;23(2):9-17. Russian.