

ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ МЫШЦ В
ОТВЕТ НА РАЗНОЕ СТАТИЧЕСКОЕ УСИЛИЕ

Т.В. ГАВРИЛЕНКО, Д.В. ГОРБУНОВ, К.А. ЭЛЬМАН, Г.А. ШАДРИН

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

Аннотация. В статье представлены методы анализа динамики биоэлектрической активности мышцы сгибателя мизинца правой руки, как реакция на разное статическое усилие при сжатии динамометра. В качестве основных методов исследования использованы детерминистско-стохастические методы и методы хаоса-самоорганизации для описания сложных биосистем. Представлен сравнительный анализ расчета параметров полученных результатов исследований. Анализ регистрируемого параметра и оценка хаотичности в регистрируемом сигнале биоэлектрической активности мышцы показал, что после увеличения статической нагрузки биоэлектрическая активность резко увеличивается. Показана высокая эффективность применения метода в теории хаоса-самоорганизации в оценке состояния нервно-мышечной системы человека. Полученные результаты позволяют определить уровень способности выполнения заданных операций под воздействием статической нагрузки. Поскольку статистический подход остается с нулевой эффективностью, то методы теории хаоса-самоорганизации имеют явное преимущество.

Ключевые слова: биоэлектрическая активность мышцы, квазиаттрактор, теория хаоса-самоорганизация.

DYNAMICS OF CHANGES IN THE PARAMETERS BIOELECTRICAL MUSCLE ACTIVITY
IN RESPONSE TO DIFFERENT STATIC FORCES

T.V. GAVRILENKO, D.V. GORBUNOV, K.A. ELMAN, G.A. SHADRIN

Surgut State University, Lenina, 1, Surgut, Russia, 628412, Phone: +79224078761, e-mail: Gorbunov.dv@mail.ru

Abstract. The article presents the methods of analysis of the dynamics of bioelectrical activity of the flexor muscles of the little finger of his right hand, as a reaction to different static compressive force dynamometer. The main research methods used deterministic and stochastic methods and methods of chaos, self-organization to describe complex biological systems. The comparative analysis of calculating the parameters of the results of research. Analysis of the recorded parameters and evaluation of randomness in the recorded signal bioelectrical activity of muscles showed that after an increase in the static load electrical activity increases dramatically. The high efficiency of the method in the theory of chaos, self-organization in the assessment of the neuromuscular system of the person. The results enable us to determine the level of ability to perform predetermined operations under the influence of static load. Since the statistical approach is a zero efficiency, the methods of chaos theory, self-organization have a clear advantage.

Key words: muscle electrical activity, quasi-attractor, chaos, self-organization criterion.

Введение. *Электромиография* (ЭМГ) – метод исследования, позволяющий регистрировать биоэлектрическую активность групп мышц в состоянии покоя и при произвольном их сокращении. Моторная единица служит окончательным общим трактом для проведения моторной активности в нервной системе, а мышца является окончательным эффекторным органом моторной единицы. Все движения человеческого тела, его положение в пространстве и рефлекторная активность – это результат интегрированных импульсов большого числа моторных единиц, опосредованных как спинально, так и супраспинально. Сила мышечного сокращения зависит от числа моторных единиц, участвующих в данном сокращении; частоты, с которой происходит разрядка импульсов в моторной единице; скорости сокращения мышечных волокон в моторной единице и от природы (характера) моторной единицы (является ли она устойчивой к утомлению или, напротив, склонной к нему). Число моторных единиц в различных мышцах различно и колеблется от 100 в мышцах кисти руки до нескольких тысяч в мышцах ног. Чтобы правильно интерпретировать результаты клинических и лабораторных исследований как нормальной, так и поврежденной мышцы, необходимо понимать организацию моторных единиц и характер их возбуждения. Моторные единицы различаются между собой как по размерам, так по биохимическим и физиологиче-

Библиографическая ссылка:

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. URL: <http://www.medsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-3/5257.pdf> (дата обращения: 30.09.2015). DOI: 10.12737/13386

ским свойствам их мышечных волокон, но в плане регуляции все они имеют сходную структуру и общую хаотическую динамику.

При изучении и моделировании сложных биологических объектов возникает возможность внедрения традиционных физических методов в биологические исследования. В частности, речь идет о принципе неопределенности Гейзенберга и новых методах *теории хаоса-самоорганизации* (ТХС) [1-6, 11-14]. При этом можно выполнять сравнения их эффективности [7-14] с помощью метода многомерных фазовых пространств, который активно используется в различных исследованиях [1-3, 5, 6]. В настоящей работе демонстрируется реализация такого подхода на основе метода анализа матриц парного сравнения для изучения особенностей реакции нервно-мышечной системы в ответ на дозированные статические нагрузки. Отметим, что при этом вместо традиционного понимания стационарных режимов биосистем в виде $dx/dt=0$, где $x=x(t)=(x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ является *вектором состояния системы* (ВСС), мы используем параметры *квазиаттракторов* (КА), внутри которых наблюдается движение ВСС в *фазовом пространстве состояний* (ФПС). Эти движения имеют хаотический характер, т.е. постоянно $dx/dt \neq 0$, но при этом движение ВСС ограничено в ФПС объемом такого квазиаттрактора [1-7, 11-14]. Обычно мы используем координаты $x_1=x_1(t)$ – реальная переменная у нас это *биопотенциалы мышц* (БПМ) и $x_2=dx_1/dt$ – скорость изменения фазовой координаты x_1 . Иногда используется и трехмерное ФПС, где $x_3=dx_2/dt$ – ускорение для x_1 [2, 5, 7-9].

В задачи настоящего исследования входит доказательство низкой эффективности термодинамического подхода для анализа ЭМГ. Расчет энтропии Шеннона ЭМГ не может обеспечить идентификацию изменений параметров функционального состояния мышц при слабой и сильной статической нагрузке мышцы (мышца мизинца - *musculus adductor digiti mini* (MADM)). При этом организм испытуемых представлен особым ВСС $x=x(t)$, который совершает непрерывные хаотические движения (т.е. постоянно $dx/dt \neq 0$) в пределах ограниченных КА [8, 9, 13].

Объект и методы исследования. Нами ранее уже были установлены гендерные различия – параметры КА миограмм женщин и мужчин отличаются и зависят от физиологического состояния организма испытуемых [3]. В нашем сообщении мы представляем результаты исследования группы людей (мужчин) и одного и того же человека. Для исследования была привлечена группа испытуемых из 15 мужчин в возрасте от 20 до 25 лет. У испытуемых регистрировались миограммы с частотой дискретизации $\tau=0.25$ мс. Следует отметить, что у одного и того же человека миограммы регистрировались по 15 повторений в каждом состоянии. Записи миограмм мышцы (сгибателя мизинца) обрабатывались программным комплексом для построения матриц парного сравнения, формирования вектора $x=(x_1, x_2)^T$, где $x_1=x(t)$ – динамика абсолютного значения БПМ на некотором интервале времени Δt , а x_2 – скорость изменения x_1 , т.е. $x_2=dx_1/dt$. Одновременно проводился расчет энтропии Шеннона E . На основе полученного вектора $x(t)=(x_1, x_2)^T$ строились КА динамики поведения ВСС и определялись объемы полученных *квазиаттракторов* V_G по формуле $V_G^{\max} \geq \Delta x_1 * \Delta x_2 \geq V_G^{\min}$ [1-6, 11-17], где Δx_1 – вариационный размах величины биопотенциала, а Δx_2 – размах для его скорости изменения. В конечном итоге анализ состояния мышц испытуемых при развитии различных усилий F ($F_2=2F_1$) проводился на основе матриц парного сравнения и энтропии Шеннона E . В этой связи на основе анализа значений энтропии Шеннона E , где E определяется по формуле $E(x) = -\sum_{i=1}^n p(i) \log_2 p(i)$, где p – функция вероятности, производилось сравнение значений E с особенностями функциональных состояний. Отметим, что энтропийный подход широко используется в медицине, но для миограмм мы не встретили сообщений в литературе, т.е. эта тема остается острой. Миограммы фиксировали при слабом статическом напряжении мышцы $F_1=5$ даН и при сильном напряжении $F_2=10$ даН с помощью квантования сигнала в виде фазового файла (x_1 – это величина биосигнала MADM с периодом квантования 0,25 сек). При повторях формировались файлы $x_1(t)$ для 15-ти разных выборок группы мужчин и при одинаковых повторях измерения одного испытуемого.

Результаты и их обсуждение. С помощью ЭВМ производилась визуализация данных, полученных с помощью миографа, строилась временная развертка сигнала (рис. 1-А), которая преобразовывалась дискретизацией сигнала в некоторые числовые ряды (выборки БПМ). Анализом полученных временных рядов по данным с миографии было доказано, что получаемый сигнал всегда уникален для каждого интервала регистрации испытуемого. Однако, при этом сохраняется некоторая закономерность, которая связана с объемом КА V_G в фазовом пространстве x_1 и x_2 (рис. 1-В и 2-В).

Каждый из векторов перемещения по осям (x_1 и x_2) может образовывать фазовую плоскость, описывающую динамику поведения двумерного ВСС $x=(x_1, x_2)^T$, которая представлена на рис. 1-В. Из этих рисунков видно, что миограммы имеют некоторое подобие с $A(t)$, которая представлена на рис. 1-С.

Библиографическая ссылка:

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. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-3/5257.pdf> (дата обращения: 30.09.2015). DOI: 10.12737/13386

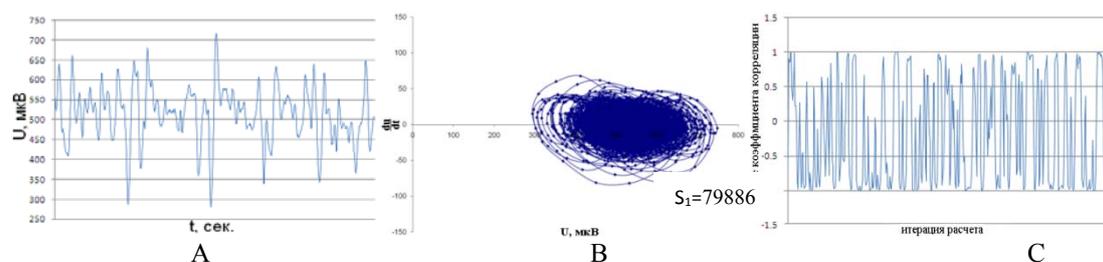


Рис. 1. Результаты обработки данных, полученных при слабом напряжении мышцы ($F_1=5$ даН); испытуемый КАЕ как типичный пример всей группы: А – временная развертка сигнала; В – фазовые траектории КА с площадью $S_1=79886$ у.е.; С – автокорреляционная функция сигнала $A(t)$.

Поскольку для многих параметров гомеостаза функции распределения $f(x)$ не могут показывать устойчивость ($f(x)$ непрерывно изменяются), то возникает вопрос о целесообразности использования функций распределения $f(x)$ для ЭМГ. Мы наблюдаем их непрерывное изменение при сравнении выборок ЭМГ и любая ЭМГ имеет свой особый закон распределения и $f(x)$ для каждого интервала Δt . Мы составили матрицы парных сравнений выборок ЭМГ для всех 15-ти испытуемых при 2-х силах сжатия динамометра ($F_2=2F_1$) и установили определенную закономерность изменения числа «совпадений» пар выборок k , получаемых параметров ЭМГ. Оказалось, что в первом случае (для F_1) матрица 15×15 (она дает 105 разных пар сравнений) при усилии $F_1=5$ даН показывает $k_1=8$, что представлено в табл. 1. При увеличении усилия (напряжения) до $F_2=10$ даН наблюдается и увеличение числа совпадений до $k_2=18$. Вид такой матрицы для F_1 представлен в табл. 1, а для $F_2=2F_1$ в табл. 2.

Таблица 1

Матрица парного сравнения выборок ЭМГ группы из 15 мужчин при слабом напряжении мышцы ($F_1=5$ даН). Здесь использовался критерий Ньюмана-Келсо (значимость $p<0.05$, число совпадений $k=8$)

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|----|------|------|------|------|------|-------------|------|------|-------------|------|-------------|-------------|-------------|------|------|
| 1 | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 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 | 0.00 | 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 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 4 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | 0.00 | 0.41 | 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 | 0.02 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 6 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.41 | 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 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.21 | 1.00 | 0.00 | 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 | 1.00 | 0.00 | | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 1.00 | 0.00 | 0.00 |
| 10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | 0.24 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 11 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.24 | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 12 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.21 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | | 1.00 | 0.00 | 0.00 |
| 13 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | | 0.00 | 0.00 |
| 14 | 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 |
| 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 | |

Таким образом, и для одного испытуемого (при повторях опытов) и для группы разных испытуемых (табл. 2), мы предлагаем использовать подобные матрицы парных сравнений ЭМГ (и их функций распределения $f(x)$) для оценки физиологического состояния мышцы, выявления особенностей ее регуляции. Разовые же измерения и сравнения $f(x)$, которые сейчас в физиологии широко используются, не имеют информационного смысла. Появления $p<0.05$ в таких матрицах совершенно хаотично, имеет значение только число «совпадений» k . Оно зависит от функционального состояния мышцы (величины усилия F , от охлаждения мышцы, введения миорелаксанта, утомления и т.д.). Величина k реально может быть использована в физиологических или психофизиологических исследованиях, т.к. является новой количественной мерой получаемых выборок ЭМГ (т.е. отнесения их к одной генеральной совокупности), которая описывает функциональное состояние мышцы.

Библиографическая ссылка:

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. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-3/5257.pdf> (дата обращения: 30.09.2015). DOI: 10.12737/13386

Матрица парного сравнения выборок ЭМГ группы из 15 мужчин при сильном напряжении мышцы ($F_1=10$ даН). Здесь использовался критерий Ньюмана-Келсо (значимость $p<0.05$, число совпадений $k=18$)

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|------|------|------|------|-------------|------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 1 | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.52 | 1.00 | 0.87 | 0.00 | 0.00 | 0.88 | 0.00 |
| 2 | 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 |
| 3 | 0.00 | 0.00 | | 0.00 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.05 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 4 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.20 | 0.00 | 0.00 |
| 5 | 0.00 | 0.00 | 0.03 | 1.00 | | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.03 | 0.00 | 0.00 |
| 6 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 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 | 0.00 | 1.00 |
| 8 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 |
| 9 | 0.52 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | 0.02 | 1.00 | 0.00 | 0.13 | 1.00 | 0.00 |
| 10 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.03 | 0.00 |
| 11 | 0.87 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0.03 | | 0.00 | 0.07 | 1.00 | 0.00 |
| 12 | 0.00 | 0.00 | 0.05 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 13 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.20 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0.13 | 0.00 | 0.07 | 0.00 | | 0.07 | 0.00 |
| 14 | 0.88 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0.03 | 1.00 | 0.00 | 0.07 | | 0.00 |
| 15 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |

Аналогичным образом были построены матрицы парного сравнения 15x15 для одного испытуемого. Как оказалось, что матрицы парного сравнения для одного человека (число повторов 15) демонстрируют схожий результат с группой испытуемых (15 человек) в первом случае (для F_1) матрица 15x15 при усилии $F_1=5$ даН показывает $k_1=6$. При двукратном увеличении напряжения ($F_2=2F_1$) наблюдается и увеличение числа совпадений до $k_2=20$. Подчеркнем, что для разных испытуемых и для одного испытуемого наблюдается такая же закономерность (k_2 больше k_1 в 2-3 раза по большим выборкам). Фактически, такие матрицы являются некоторой моделью особых (уникальных) систем (у нас это система регуляции ЭМГ), а k – обобщенный параметр этой модели. Матрицы определяют особенность регуляции параметров ЭМГ при разных состояниях организма.

Одновременно мы проверили значимость и эффективность критерия термодинамического типа, который используется в стохастике (и термодинамике) в виде расчета энтропии Шэннона E для этих же выборок ЭМГ для группы испытуемых и одного и того же человека. Результаты расчетов по всей группе показали, что распределения E_1 (для F_1) и E_2 (для F_2) будут параметрическими, их средние значения ($\langle E_1 \rangle = 2.58$, $\langle E_2 \rangle = 2.6$) и значения Т-критерия ($p=0.7$) значительно больше 0.05, они статистически не различаются при критерии значимости различий для этих двух выборок E_1 и E_2 в виде $p=0.70$.

Подобный результат расчета энтропии Шеннона E мы получили и для выборок ЭМГ от одного и того же испытуемого (табл. 4), в которых имеется параметрическое распределение для E_1 и E_2 , среднее значение не отличается ($\langle E_1 \rangle = 2.59$, $\langle E_2 \rangle = 2.59$). Полученные результаты значений энтропии Шеннона статистически не различаются, для этих двух выборок E_1 и E_2 в критерий значимости $p=0.23$.

Таким образом, термодинамический (энтропийный) подход в оценке выборок ЭМГ (для мышц) в двух состояниях испытуемых ($F_2=2F_1$) совершенно ничего не дает. Получается, что ЭМГ по данным E одинаковы в этих 2-х состояниях, хотя матрицы парных сравнений выборок все-таки показывают разное число совпадений как для группы испытуемых ($k_1=8$, $k_2=18$), так и для 15-ти повторных выборок от одного испытуемого ($k_1=6$, $k_2=20$). С позиций расчета энтропии с мышцей ничего не происходит, она находится в стационарном состоянии. Это является яркой демонстрацией условности стационарности, что представлено в табл. 3 и табл. 4 в виде Т-критерия для значений энтропии E .

Библиографическая ссылка:

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. URL: <http://www.medsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-3/5257.pdf> (дата обращения: 30.09.2015). DOI: 10.12737/13386

Значения энтропии Шеннона для ЭМГ группы из 15 мужчин при слабом напряжении мышцы ($F_1=5$ даН) и сильном напряжении мышцы ($F_2=10$ даН)

| | $E_1, 5$ даН | $E_2, 10$ даН |
|---------|--|---------------|
| 1 | 2.361 | 2.134 |
| 2 | 2.688 | 2.737 |
| 3 | 2.520 | 2.758 |
| 4 | 2.793 | 2.685 |
| 5 | 2.834 | 2.705 |
| 6 | 2.484 | 2.732 |
| 7 | 2.474 | 2.868 |
| 8 | 2.607 | 2.344 |
| 9 | 2.607 | 2.344 |
| 10 | 2.731 | 2.854 |
| 11 | 2.257 | 2.428 |
| 12 | 2.642 | 2.855 |
| 13 | 2.640 | 2.596 |
| 14 | 2.700 | 2.537 |
| 15 | 2.353 | 2.432 |
| среднее | 2.579 | 2.601 |
| | Нормальное распределение, Т-критерий, критерий значимости $p=0.70$ | |

Таблица 4

Значения энтропии Шеннона для ЭМГ для одного и того же мужчины при слабом напряжении мышцы ($F_1=5$ даН) и сильном напряжении мышцы ($F_2=10$ даН)

| | $E_1, 5$ даН | $E_2, 10$ даН |
|---------|--|---------------|
| 1 | 2.663 | 2.546 |
| 2 | 2.499 | 2.579 |
| 3 | 2.614 | 2.619 |
| 4 | 2.467 | 2.617 |
| 5 | 2.599 | 2.627 |
| 6 | 2.563 | 2.611 |
| 7 | 2.602 | 2.610 |
| 8 | 2.587 | 2.569 |
| 9 | 2.587 | 2.569 |
| 10 | 2.594 | 2.516 |
| 11 | 2.662 | 2.595 |
| 12 | 2.573 | 2.634 |
| 13 | 2.571 | 2.621 |
| 14 | 2.675 | 2.543 |
| 15 | 2.675 | 2.604 |
| среднее | 2.595 | 2.591 |
| | нормальное распределение, Т-критерий, критерий значимости $p=0.23$ | |

Мы высказываем утверждение, что других способов количественного описания параметров изменения БПМ при увеличении силы напряжения мышцы (при $F_2=2F_1$) на сегодня в рамках детерминизма или стохастичности нет. Сейчас можно говорить о том, что квазиаттракторы ЭМГ в ФПС являются определенными моделями состояния электрической активности мышц. В рамках стохастичности ($AЧХ, A(t), f(x)$) и

Библиографическая ссылка:

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. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-3/5257.pdf> (дата обращения: 30.09.2015). DOI: 10.12737/13386

др.) мы не можем получить модели, которые бы существенно различали эти два состояния мышцы (ЭМГ при F_1 и F_2).

В рамках ТХС мы можем использовать фазовую плоскость при повторении опытов (получать выборки с повторением) и для них строить КА выборки ЭМГ. Однако, полностью уходить от стохастичности пока не следует. Необходимы модификации, внедрение новых методов в комплексе с методами ТХС [3-8, 9-12].

Выводы:

1. Сравнение традиционных методов обработки электромиограмм и методов ТХС показывает низкую эффективность моделей в рамках расчета энтропий E , расчета АЧХ, автокорреляционных функций $A(t)$. ЭМГ испытуемых, находящихся в разных физиологических состояниях (напряжениях мышц), весьма затруднительно с позиций стохастичности.

2. Новые методы расчета ЭМГ на основе стохастичности, которые используют двумерное фазовое пространство с координатами ЭМГ x_1 и x_2 , и метод расчёта матриц парных сравнений выборки ЭМГ (расчет числа k пар «совпадений» выборки ЭМГ) реально может характеризовать интегральные значения параметров ЭМГ при разных состояниях мышц.

3. Аналог принципа Гейзенберга является наиболее эффективным и значимым методом оценки состояния ЭМГ испытуемых. Он эффективен, когда используются фазовые координаты $x_1 = x_1(t)$ - реальные значения биопотенциалов мышц и $x_2 = dx_1/dt$ - скорость изменения x_1 во времени. В этом двумерном (а в общем случае мы использовали и $x_3 = dx_2/dt$, то есть трёхмерное ФПС) фазовом пространстве можно рассчитывать параметры квазиаттракторов (у нас площади S или объёмы $V = \Delta x_1 \Delta x_2 \Delta x_3$, где Δx_i - вариационные размахи координаты x_i), которые являются моделями физиологического состояния мышцы. Очевидно, что хаотическая динамика ЭМГ не может описываться в рамках стохастичности или современной теории хаоса, но модели ЭМГ всё-таки можно построить в рамках ТХС (в виде квазиаттракторов).

Литература

1. Башкатова Ю.В., Карпин В.А., Попов Ю.М., Рассадина Ю.В., Шияева О.С. Оценка состояния параметров нервно-мышечного кластера в условиях дозированной физической нагрузки // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2014. № 1. Публикация 2-18. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2014-1/4772.pdf> (Дата обращения: 30.04.2014). DOI: 10.12737/3860
2. Бурькин Ю.Г., Химикова О.И., Эльман К.А., Проворова О.В. Сравнительная характеристика параметров variability сердечного ритма школьников Югры // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2015. № 2. С. 11–20.
3. Гавриленко Т.В., Горбунов Д.В., Эльман К.А., Григоренко В.В. Возможности стохастичности и теории хаоса в обработке миограмм // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2015. № 1. С. 48–53.
4. Гараева Г.Р., Еськов В.М., Еськов В.В., Гудков А.Б., Филатова О.Е., Химикова О.И. Хаотическая динамика кардиоинтервалов трёх возрастных групп представителей коренного населения Югры // Экология человека. 2015. № 09. С. 50–55.
5. Даянова Д.Д., Гавриленко Т.В., Берестин Д.К., Химиков А.Е. Параметры квазиаттракторов сердечно-сосудистой системы в оценке воздействия малых доз алкоголя на человека // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2013. Т. 12, № 3. С. 683–688.
6. Добрынина И.Ю., Горбунов Д.В., Козлова В.В., Синенко Д.В., Филатова Д.Ю. Особенности кардиоинтервалов: хаос и стохастичность в описании сложных биосистем // Вестник новых медицинских технологий. 2015. Т. 22, № 2. С. 19–26.
7. Еськов В.В., Еськов В.М., Карпин В.А., Филатов М.А. Синергетика как третья парадигма, или понятие парадигмы в философии и науке // Философия науки. 2011. № 4 (51). С. 126–128.
8. Еськов В.В., Вохмина Ю.В., Гавриленко Т.В., Зимин М.И. Модели хаоса в физике и теории хаоса-самоорганизации // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2013. № 2. С. 42–56.
9. Еськов В.В., Гараева Г.Р., Эльман К.А., Горбунов Д.В., Третьяков С.А. Физиотерапия при гипертонической болезни с позиций хаотической динамики параметров ССС у пациентов // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2014. №1. Публикация 1-12. URL: <http://medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2014-1/5030.pdf> (Дата обращения: 16.12.2014). DOI: 10.12737/7242
10. Еськов В.В., Филатова О.Е., Гавриленко Т.В., Химикова О.И. Прогнозирование долгожительства у российской народности ханты по хаотической динамике параметров сердечно-сосудистой системы // Экология человека. 2014. № 11. С. 3–8.
11. Еськов В.М., Нанченко Е.А., Козлова В.В., Климов О.В., Майстренко Е.В. Параметры квазиаттракторов поведения вектора состояния организма пловцов // Вестник новых медицинских технологий. 2009. Т. 16, № 4. С. 24–26.

Библиографическая ссылка:

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. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-3/5257.pdf> (дата обращения: 30.09.2015). DOI: 10.12737/13386

12. Еськов В.М., Хадарцев А.А., Еськов В.В., Филатова О.Е. Флуктуации и эволюции биосистем - их базовые свойства и характеристики при описании в рамках синергетической парадигмы // Вестник новых медицинских технологий. 2010. Т. 17, № 1. С. 17–19.

13. 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.

14. Еськов В.М., Еськов В.В., Гавриленко Т.В., Зимин М.И. Неопределенность в квантовой механике и биофизике сложных систем // Вестник Московского университета. Серия 3: Физика. Астрономия. 2014. № 5. С. 41–46.

15. 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.

16. Карпин В.А., Башкатова Ю.В., Коваленко Л.В., Филатова Д.Ю. Состояние сердечно-сосудистой системы тренированных и нетренированных студентов с позиции стохастики и теории хаоса // Теория и практика физической культуры. 2015. № 3. С. 83–85.

17. Русак С.Н., Еськов В.В., Молягов Д.И., Филатова О.Е. Годовая динамика погодноклиматических факторов и здоровье населения ханты-мансийского автономного округа // Экология человека. 2013. № 11. С. 19–24.

18. Eskov V.M., Khadartsev A.A., Eskov V.V., Filatova O.E., Filatova D.U. Chaotic approach in biomedicine: individualized medical treatment // Journal of Biomedical Science and Engineering. 2013. Т. 6. С. 847.

19. Eskov V.M., Eskov V.V., Filatova O.E. Characteristic features of measurements and modeling for biosystems in phase spaces of states // Measurement Techniques. 2010. Т. 53, № 12. С. 1404.

References

1. Bashkatova YuV, Karpin VA, Popov YuM, Rassadina YuV, Shilyaeva OS. Otsenka sostoyaniya parametrov nervno-myshechnogo klastera v usloviyakh dozirovannoy fizicheskoy nagruzki. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. Elektronnoe izdanie [internet]. 2014[cited 2014 Apr 30];1:[about 6 p.]. Russian. Available from: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2014-1/4772.pdf>. DOI: 10.12737/3860

2. Burykin YuG, Khimikova OI, El'man KA, Provorova OV. Sravnitel'naya kharakteristika parametrov variabel'nosti serdechnogo ritma shkol'nikov Yugry. Slozhnost'. Razum. Postneklassika. 2015;2:11-20. Russian.

3. 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.

4. Garaeva GR, Es'kov VM, Es'kov VV, Gudkov AB, Filatova OE, Khimikova OI. Khaoticheskaya dinamika kardiointervalov trekh vozrastnykh grupp predstaviteley koren'nogo naseleniya Yugry. Ekologiya cheloveka. 2015;09:50-5. Russian.

5. Dayanova DD, Gavrilenko TV, Berestin DK, Khimikov AE. Parametry kvaziatraktorov serdechno-sosudistoy sistemy v otsenke vozdeystviya mal'nykh doz alkogolya na cheloveka. Sistemnyy analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh. 2013;12(3):683-8. Russian.

6. Dobrynina IYu, Gorbunov DV, Kozlova VV, Sinenko DV, Filatova DYU. Osobennosti kardiointervalov: khaos i stokhastika v opisaniy slozhnykh biosistem. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2015;22(2):19-26. Russian.

7. Es'kov VV, Es'kov VM, Karpin VA, Filatov MA. Sinergetika kak tret'ya paradigma, ili po-nyatie paradigmy v filosofii i nauke. Filosofiya nauki. 2011;4(51):126-8. Russian.

8. Es'kov VV, Vokhmina YuV, Gavrilenko TV, Zimin MI. Modeli khaosa v fizike i teorii khaosamoorganizatsii. Slozhnost'. Razum. Postneklassika. 2013;2:42-56. Russian.

9. Es'kov VV, Garaeva GR, El'man KA, Gorbunov DV, Tret'yakov SA. Fizioterapiya pri gipertonicheskoy bolezni s pozitsiy khaoticheskoy dinamiki parametrov SSS u patsientov. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. Elektronnoe izdanie [internet]. 2014[cited 2014 Dec 16];1:[about 8 p.]. Russian. Available from: <http://medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2014-1/5030.pdf>. DOI: 10.12737/7242

10. Es'kov VV, Filatova OE, Gavrilenko TV, Khimikova OI. Prognozirovaniye dolgozhitel'stva u rossiyskoy narodnosti khanty po khaoticheskoy dinamike parametrov serdechno-sosudistoy sistemy. Ekologiya cheloveka. 2014;11:3-8. Russian.

11. Es'kov VM, Nanchenko EA, Kozlova VV, Klimov OV, Maystrenko EV. Parametry kvaziatraktorov povedeniya vektora sostoyaniya organizma plovtsov. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2009;16(4):24-6. Russian.

12. Es'kov VM, Khadartsev AA, Es'kov VV, Filatova OE. Fluktuatsii i evolyutsii biosistem - ikh bazovye svoystva i kharakteristiki pri opisaniy v ramkakh sinergeticheskoy paradigmy. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2010;17(1):17-9. Russian.

Библиографическая ссылка:

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. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-3/5257.pdf> (дата обращения: 30.09.2015). DOI: 10.12737/13386

13. Es'kov VM, Khadartsev AA, Filatova OE, Khadartseva KA. Okolosutochnye ritmy pokazately kardiorespiratornoy sistemy i biologicheskogo vozrasta cheloveka. *Terapevt.* 2012;8:36-43. Russian.
14. Es'kov VM, Es'kov VV, Gavrilenko TV, Zimin MI. Neopredelennost' v kvantovoy mekhanike i biofizike slozhnykh sistem. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 3: Fizika. Astronomiya.* 2014;5:41-6. Russian.
15. Es'kov VM, Es'kov VV, Gavrilenko TV, Vokhmina YuV. Kinematika biosistem kak evolyutsiya: statsionarnye rezhimy i skorost' dvizheniya slozhnykh sistem – complexity. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 3: Fizika. Astronomiya.* 2015;2:62-73. Russian.
16. Karpin VA, Bashkatova YuV, Kovalenko LV, Filatova DYU. Sostoyanie serdechno-sosudistoy sistemy trenirovannykh i netrenirovannykh studentov s pozitsii stokhastiki i teorii khaosa. *Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury.* 2015;3:83-5. Russian.
17. Rusak SN, Es'kov VV, Molyagov DI, Filatova OE. Godovaya dinamika pogodno-klimaticheskikh faktorov i zdorov'e naseleniya khanty-mansiyskogo avtonomnogo okruga. *Ekologiya cheloveka.* 2013;11:19-24. Russian.
18. Eskov VM, Khadartsev AA, Eskov VV, Filatova OE, Filatova DU. Chaotic approach in biomedicine: individualized medical treatment. *Journal of Biomedical Science and Engineering.* 2013;6:847.
19. Eskov VM, Eskov VV, Filatova OE. Characteristic features of measurements and modeling for biosystems in phase spaces of states. *Measurement Techniques.* 2010;53(12):1404.

Библиографическая ссылка:

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. URL: <http://www.medsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-3/5257.pdf> (дата обращения: 30.09.2015). DOI: 10.12737/13386