

ISSN 0365-9615
Электронная версия
ISSN 2413-1008

БЮЛЛЕТЕНЬ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ БИОЛОГИИ И МЕДИЦИНЫ

4

2018

ФИЗИОЛОГИЯ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАОТИЧЕСКОЙ ДИНАМИКИ БИОПОТЕНЦИАЛОВ МЫШЦ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СТАТИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ

В.Г.Зилов, А.А.Хадарцев*, Л.К.Иляшенко**, В.В.Еськов***, И.А.Миненко

*ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М.Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва; *ФГБОУ ВО Тульский государственный университет, Тула, РФ; **Сургутский институт нефти и газа — филиал ФГБОУ ВО Тюменского индустриального университета, Сургут, РФ; ***ФБУ ВО Сургутский государственный университет Ханты-Мансийского автономного округа — Югры, Сургут, РФ*

Изучали произвольные и непроизвольные движения с позиции новой теории хаоса — самоорганизации. Изучение особенностей организации теппинграмм и треморограмм в рамках гипотезы Н.А.Бернштейна о “повторении без повторений” приводит к эффекту Еськова — Зинченко. В этом случае отсутствует статистическая устойчивость для выборок параметров электромиограмм любых движений, получаемых подряд, т.е. $f_j(x_i) \neq f_{j+1}(x_i)$ с вероятностью $p \geq 0.97$. В данной работе решена базовая проблема физиологии движений установления механизмов стохастической неустойчивости при анализе параметров электромиограмм мышц, находящихся в неизменном статическом усилии. Доказана статистическая неустойчивость электромиограмм в рамках эффекта Еськова — Зинченко.

Ключевые слова: электромиограмма, неустойчивость, эффект Еськова — Зинченко, динамика биопотенциалов, треморограмма и теппинграмма

Гипотеза Н.А.Бернштейна о “повторении без повторений” в биомеханике приобрела точные количественные интерпретации в эффекте Еськова — Зинченко [1-7]. Этот эффект обусловлен отсутствием статистической повторяемости в биомеханике и за последние 25-30 лет детально изучен; разработаны методы математического моделирования треморограмм (ТМГ) и теппинграмм (ТПГ), получаемых у испытуемого в одном (неизменном) гомеостатическом состоянии [10,12]. Доказано, что при многократных сериях экспериментов (с одним испытуемым) по 15 выборок ТМГ или ТПГ в каждой серии экспериментов (всего 15 серий, 225 выборки для каждого испытуемого) статистическую устойчивость демонстрируют только небольшое число k пар выборок, которые можно отнести к одной генеральной совокупности. В этом случае получить равенство для двух соседних (j -й и $j+1$ -й)

выборок ТМГ или ТПГ, т.е. $f_j(x_i) = f_{j+1}(x_i)$, где x — номер выборки, крайне затруднительно.

Вероятность статистического равенства соседних выборок x_i для ТМГ имеет значение $p_1 \leq 0.01$, а для ТПГ $p_2 \leq 0.05$. Это крайне малые величины и они доказывают статистическую неустойчивость выборок x_i в биомеханике, получаемых подряд. Современная физиология движений оперирует с уникальными, единичными выборками, которые невозможно статистически повторить (данные имеют исторический, а не научный характер), и возникает проблема описания механизмов такой статистической неустойчивости биомеханических систем. Поскольку любые движения определяются биоэлектрической активностью мышц с помощью электромиограмм (ЭМГ), то возникает закономерный вопрос: имеется ли хаос в динамике ЭМГ, если мышца находится в стационарном состоянии?

Цель данной работы — рассмотреть динамику ЭМГ, которая сопровождает каждое движение мышцы, находящейся в статистическом напряжении.

Адрес для корреспонденции: medins@tsu.tula.ru. Хадарцев А.А.

Очевидно, что биопотенциалы мышц являются результатом управления со стороны нейросетей мозга (моторная зона коры), а организация любых движений без влияния ЦНС невозможна в принципе. Изучение ЭМГ — это первый шаг к пониманию особой (хаотической) работы мозга, высшей нервной деятельности, которая обеспечивает организацию движений, но особым (хаотическим) образом [8-14].

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводили на 12 мужчинах (средний возраст — 26 лет), находившихся в спокойном состоянии, сидя за столом. К отводящей мышце мизинца правой руки прикрепляли биполярные хлор-серебряные электроды и регистрировали ЭМГ с помощью электромиографа “НЕЙРО-ЭМГ-Микро” (“Нейрософт”) при развитии усилия сжатия кисти (регистрация усилий с помощью динамометра) в двух разных статических состояниях. Испытуемый задавал первоначальное усилие сжатия динамометра $F_1=50$ Н (удержание не менее $t=3$ с), а затем $F_2=100$ Н (с тем же $t=3$ с). Регистрируемая ЭМГ квантовалась аналого-цифровым преобразователем (период квантования $\tau=0.25$ мс) и записывалась в виде файлов в ЭВМ. Длительность записи каждого файла 1 с, т.е. в каждом файле имелись не менее 4000 точек (параметров ЭМГ). Опыт повторяли для каждого испытуемого 15 раз и полученные выборки ЭМГ попарно сравнивали по критерию Вилкоксона $p \leq 0.05$ при различии выборок. По специальной программе ЭВМ рассчитывала и строила 15 матриц парного сравнения выборок ЭМГ для каждого испытуемого первоначально (т.е. 15 раз) для $F_1=50$ Н, а затем (15 раз) для $F_2=100$ Н. Таким образом, каждый испытуемый представлялся в виде набора 15 матриц парного сравнения выборок ЭМГ для F_1 , а затем в виде набора 15 матриц сравнения ЭМГ для $F_2=200$ Н. Серии экспериментов (из 30 таблиц) для каждого испытуемого обеспечивали проверку статистической устойчивости ЭМГ при двух состояниях гомеостаза нервно-мышечной системы: при F_1-G_1 и при F_2-G_2 . Наша задача заключалась в выявлении различий между этими двумя состояниями G_1 и G_2 для нервно-мышечной системы у всех 12 испытуемых.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Отметим, что эффект Еськова—Зинченко в биомеханике показывает отсутствие статистической устойчивости для получаемых подряд выборок ТМГ, являющихся условно произвольным движением, и ТПГ (условно произвольного движения).

При построении матриц парного сравнения выборок ТМГ из 105 независимых пар сравнения выборок мы получали всего $k_1=4$ пары, которые можно было отнести к одной генеральной совокупности. Для ТПГ эта величина $k_2 \approx 15$, что почти в 4 раза больше k_1 , но это крайне низкие значения, которые доказывают отсутствие статистической устойчивости выборок ТМГ и ТПГ [2,4-9,14].

Построение 15 матриц парного сравнения выборок ЭМГ для каждого из 12 испытуемых в режиме удержания динамометра (при слабом усилии в $F_1=50$ Н) показало число k_3 пар сравнения выборок ЭМГ (статистически одинаковых), которые несколько больше, чем число k_1 для ТМГ. Пример представлен в таблице 1, где это число $k_3=9$ (это одна серия из всех 180 серий при F_1). Это доказывает статистическую неустойчивость выборок и для ЭМГ. Одновременно такие данные доказывают факт хаотической неустойчивости в организации генерации интерференционных ЭМГ. Тогда становится очевидным и хаос самих движений (если ЭМГ генерируются хаотически) в неизменном гомеостазе.

Возникает закономерный вопрос: как тогда вообще работать с биопотенциалами мышц, если выборки ЭМГ хаотически изменяются, но при этом нервно-мышечная система находится в неизменном состоянии, испытуемый удерживает динамометр в одном положении — $F_1=50$ Н? Подчеркнем, что такой же статистический хаос (неустойчивость выборок) мы регистрируем не только для нативных ЭМГ, но и для их спектральных плотностей сигнала, автокорреляций $A(t)$ (анализ спектральных плотностей сигналов и $A(t)$) [2,5,10-14].

Одновременно возникает и другая проблема: как регистрировать различия в гомеостазе нервно-мышечных сил, если в одном (неизменном) гомеостазе G_1 мы имеем хаотическое распределение статистических функций выборок ЭМГ $f(x)$. Если мы не можем подряд произвольно получить совпадение двух выборок (т.е. $f_j(x_i) \neq f_{j+1}(x_i)$ с вероятностью $p > 0.97$ для ЭМГ в наших многочисленных расчетах), то предлагаем сравнивать матрицы (подобные таблицам 1 и 2), полученные при различных гомеостазах G_1 и G_2 . В таблице 2 представлен пример такой матрицы (тот же испытуемый), но при $F_2=100$ Н (т.е. имеем G_2). Очевидно, что число $k_2=20$ существенно отличается от $k_1=9$. Именно различие ($k_2 > k_1$) показывает и различие в гомеостазе НМС одного и того же испытуемого, находящегося в G_1 (табл. 1) и в G_2 (табл. 2).

Для ЭМГ мы имеем аналогичную статистическую неустойчивость выборок параметров x_i , как и в биомеханике для тремора и теппинга [10-14]. Эта неустойчивость показывает ограничения на применение стохастики в изучении биопотенциалов