

УДК: 615.47

В.С. Топчий, Т.В. Жемчужкина, Т.В. Носова*Харьковский национальный университет радиоэлектроники***СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФАЗОВОГО ПОРТРЕТА ЭМГ-СИГНАЛА С ЦЕЛЬЮ ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЯ ЗАБОЛЕВАНИЙ ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА**

В данной статье исследуется зависимость набора параметров фазового портрета ЭМГ-сигнала от возраста, пола и диагноза обследуемых параметрическими и непараметрическими методами статистического анализа. Работа проводилась на основе результатов обследования в четырех группах пациентов: практически здоровые без жалоб; условно здоровые с жалобами на боли в спине; вертебрологические пациенты; пациенты, страдающие сколиозом.

Ключевые слова: мышца, статистика, фазовый портрет, электромиограмма, эллипс.

В.С. Топчий, Т.В. Жемчужкина, Т.В. Носова**СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ФАЗОВОГО ПОРТРЕТА ЕМГ-СИГНАЛУ З МЕТОЮ ДИФЕРЕНЦІЮВАННЯ ЗАХВОРЮВАНЬ ОПОРНО-РУХОВОГО АПАРАТУ**

В даній статті досліджується залежність набору параметрів фазового портрета ЕМГ-сигналу від віку, статі та діагнозу обстежуваних параметричними та непараметричними методами статистичного аналізу. Робота проводилася на основі результатів обстеження в чотирьох групах пацієнтів: практично здорові без скарг; умовно здорові зі скаргами на болі в спині; вертебрологічні пацієнти; пацієнти, які страждають на сколіоз.

Ключові слова: м'яз, статистика, фазовий портрет, електроміограма, еліпс.

V. Topchii, T. Zhemchuzhkina, T. Nosova**STATISTICAL ANALYSIS OF PARAMETERS OF EMG-SIGNAL PHASE PORTRAIT FOR DIFFERENTIATION OF MUSCULOSKELETAL SYSTEM DISEASES**

This article examines the dependence of the set of parameters of the phase portrait of an EMG signal on age, sex, and the diagnosis of the examined by methods of statistical analysis. The work is carried out on the basis of the results of the examination in four groups of patients: practically healthy without complaints; conditionally healthy with complaints of back pain; vertebral patients; patients with scoliosis. The studies were conducted in collaboration with the laboratory of pathophysiology of the Institute of Spine and Joint Pathology named after prof. M.I. Sitenko of National Academy of Medical Sciences of Ukraine. The study was performed with 102 people of both sexes aged 18 to 76 were examined.

Key words: muscle, statistics, phase portrait, electromyogram, ellipse.

Постановка проблеми. Опорно-двигательный аппарат человека – это комплекс, состоящий из костей, суставов, связок, сухожилий и мышц, образующих каркас, придающий форму организму, дающий ему опору, обеспечивающий защиту внутренних органов и возможность передвижения в пространстве. При этом кости и суставы составляют пассивную часть опорно-двигательного аппарата, а мышцы, способные к сокращению и изменению положения костей в пространстве, – активную [1].

Патологии опорно-двигательного аппарата имеют значительную распространенность. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) различными заболеваниями опорно-двигательного аппарата страдает почти 80% населения. Причем большинство – трудоспособного возраста от 30 до 50 лет. В различных странах частота данной патологии колеблется от 69 до 3467 случая на 100 000 населения в год. В Украине уровень заболеваемости составляет 3182 на 100 000 населения [2]. Поскольку многие из заболеваний опорно-двигательного аппарата протекают хронически и нередко приводят к полной потере трудоспособности, то их своевременная диагностика и, при необходимости, оперативное вмешательство [3] является одним из актуальных вопросов современной медицины.

Компьютерные системы, использующие специализированное программное обеспечение, существенно расширяют диагностические возможности современной медицины [4-6]. Это касается и электромиографии – метода исследования опорно-двигательного аппарата человека посредством регистрации электрических потенциалов мышц. Электромиографические исследования позволяют не только установить характер заболевания, проводить его топическую диагностику, но и объективно контролировать эффективность лечения, прогнозировать время и этапы восстановления. Поверхностная электромиография является безопасной и совершенно безболезненной. Кроме того, она не требует сложного аппаратного обеспечения, кроме электродов и персонального компьютера, снабженного специализированным программным обеспечением.

Использование методов нелинейной динамики является перспективным путем создания нового программного обеспечения компьютерных систем, позволяющего расширить диагностические возможности оценки биомедицинских сигналов. Метод фазовых портретов является существенным дополнением к традиционным методам, которые рассматривают сигналы как линейные стационарные, а потому не дают возможности детально проследить и численно охарактеризовать динамику изменения структуры сигнала во времени. Поэтому актуальной является проблема получения информативных параметров фазового портрета электромиографического сигнала, характеризующих состояние мышечной системы в норме и при развитии патологии.

Анализ последних исследований и публикаций. Боль в области поясничного отдела позвоночника является мультифакториальной проблемой, включающей патоанатомические, нейрофизиологические, соматические и психосоциальные аспекты. Потенциальным источником боли считается первичное микрповреждение элемента позвоночного двигательного сегмента (межпозвоночного диска, замыкательной пластинки или сухожилия), которое продуцирует микрповреждение связочных коллагеновых структур и рефлекторную повышенную возбудимость многораздельных мышц, направленную на защитную фиксацию сегмента и, таким образом, ускорение репаративных процессов. В то же время чрезмерная жесткость многораздельных мышц изменяет уровень стимуляции их мышечных механорецепторов, что уменьшает амплитуду мышечной активации во время свободного сокращения. В результате развивается мышечная дисфункция, приводящая в конечном итоге к ухудшению физического состояния мышц, т. е. к снижению их силы, выносливости и нарушению контроля активных движений с изменением амплитуды и частоты мышечного сокращения [7].

Поверхностная электромиография является относительно простым и недорогим, но при этом достаточно эффективным методом диагностики заболеваний у пациентов с жалобами на боли в спине [8]. Результаты теста на выносливость при исследовании различий электромиографических сигналов здоровых людей и пациентов, страдающих хроническими болями в спине, показали у вторых менее выраженные признаки усталости относительно сигнала ЭМГ в состоянии покоя [9].

На сегодняшний день классификацию заболеваний по результатам поверхностной электромиографии производят преимущественно с помощью методов спектрально-корреляционного анализа. Важным критерием для их применения является стационарность сигнала. С помощью теста Дики-Фуллера было установлено, что методы спектрально-корреляционного анализа целесообразно применять лишь на определенных коротких сегментах сигнала, которые являются стационарными, но полностью зарегистрированный сигнал ЭМГ является нестационарным. С учетом этого для диагностики заболеваний по результатам поверхностной электромиографии рекомендуется применять методы нелинейной динамики [10-11].

Постановка задачи. Цель работы заключается в том, чтобы на основе данных геометрического анализа фазовых портретов поверхностных электромиограмм выявить статистически достоверно различающиеся параметры фазовых портретов для следующих групп обследуемых:

- практически здоровые добровольцы без жалоб;
- условно здоровые с жалобами на боль в спине;
- вертебрологические пациенты;
- пациенты, страдающие сколиозом.

Задачами исследования являются:

- расчет параметров фазовых портретов ЭМГ-сигналов, полученных в указанных выше группах, и формирование на их основе выборки;
- анализ вероятности различий параметров фазового портрета ЭМГ-сигнала исследуемых групп относительно возрастного признака;
- анализ вероятности различий параметров фазового портрета ЭМГ-сигнала исследуемых групп относительно полового признака;
- анализ вероятности различий параметров фазового портрета ЭМГ-сигнала между группами здоровых, условно здоровых, вертебрологических пациентов и пациентов, страдающих сколиозом.

Изложение основного материала. Исследования проводились в сотрудничестве с лабораторией патофизиологии Института патологии позвоночника и суставов им. М.И. Ситенко НАМН Украины. Для выполнения поставленных задач было обследовано 102 человека обоих

полов в возрасте от 18 до 76 лет. Регистрация электромиограмм проводилась на 4-канальном компьютерном электромиографе Нейро-ЭМГ (Нейрософт). Поверхностные электроды размещали на разгибателе туловища на 2-3 см вправо и влево от срединной линии спины, на уровне пятого поясничного позвонка тела человека. Для дальнейшей обработки и анализа сигнал передавался на персональный компьютер в виде звукового файла (формат .wave) [12].

ЭМГ-сигнал представляет собой объемный процесс, то есть обладает вектором, который меняет свое направление во времени и пространстве. Построение фазового портрета позволяет восстановить траектории данного вектора и анализировать его нелинейные характеристики. При построении фазового портрета используется система координат, в которой по оси абсцисс откладываются значения переменной, а по оси ординат значения той же переменной с некоторой задержкой. Величина задержки τ выбирается равной времени первого спада автокорреляционной функции сигнала до нуля.

Геометрический метод анализа позволяет получить количественные показатели фазового портрета путем его аппроксимации какой-либо геометрической фигурой. В данной работе полученный фазовый портрет ЭМГ-сигнала аппроксимируется эллипсом, а затем производится расчет его параметров:

- площадь эллипса S ;
- размер большой полуоси a ;
- размер малой полуоси b ;
- коэффициент эксцентриситета e ;
- угол наклона большой полуоси относительно оси абсцисс ϕ ;
- сдвиг центра эллипса относительно начала координат r .

При построении эллипса по крайним точкам фазового портрета часть эллипса охватывает пустое фазовое пространство. Для решения этой проблемы выполняется построение второго эллипса, охватывающего заданный процент точек фазового портрета (рис. 1). Затем так же производится расчет его параметров:

- площадь эллипса $S1$;
- размер большой полуоси $a1$;
- размер малой полуоси $b1$;
- коэффициент эксцентриситета $e1$ [13].

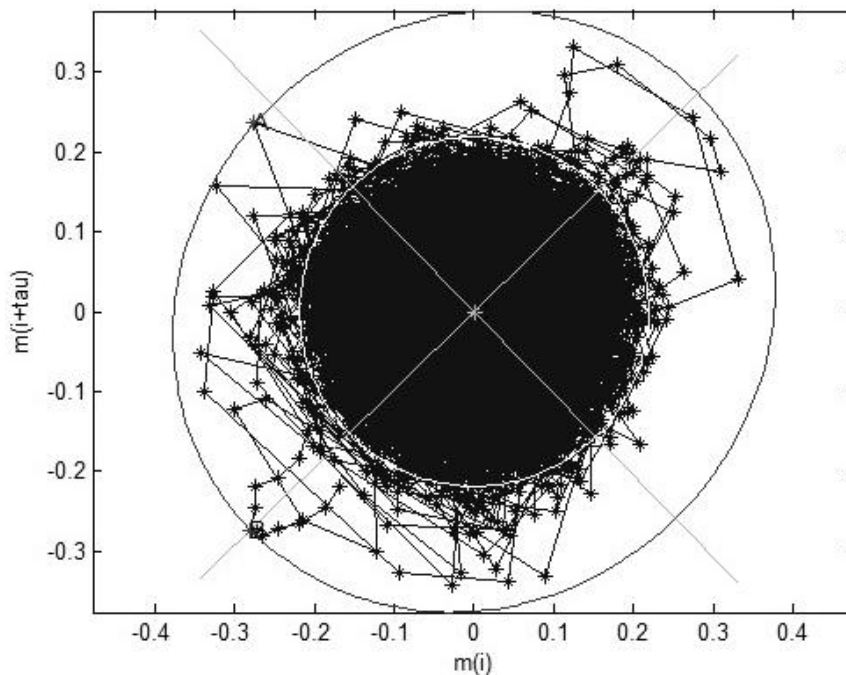


Рис. 1. Фазовый портрет ЭМГ-сигнала с двумя аппроксимирующими эллипсами: полным и процентным (99,9% точек)

Таким образом, состояние каждого обследуемого в группе характеризовалось десятью параметрами фазового портрета: $\phi_i, r, a, b, S, e, a1, b1, S1, e1$.

Геометрический метод анализа фазового портрета ЭМГ-сигнала был реализован в программной среде MatLab. После получения параметров фазового портрета электромиограмм были сформированы выборки для статистической обработки и выявления статистически значимых связей между группой, к которой относится пациент, и каждым показателем фазового портрета, а также половым и возрастным признаком. Расчеты проводились с помощью пакета SPSS Statistics 21.0.

Среди методов оценки достоверности различают параметрические и непараметрические методы. Параметрические критерии применяются для числовых данных, когда закон распределения нормальный. Для статистического анализа достоверности различия показателей фазового портрета ЭМГ-сигнала в соответствии с диагнозом, полом и возрастом обследуемых были выбраны критерий Колмогорова-Смирнова, параметрический t-критерий Стьюдента, а также непараметрический U-критерий Манна-Уитни.

Критерий Колмогорова-Смирнова основан на сравнении рядов накопленных частот двух независимых выборок. Он включает в себя проверку всех видов различия распределений, в особенности различия средних положений (среднее значение, медиана), рассеяния, асимметрии и эксцесса, т.е. любых различий, любых параметров, без конкретизации каких именно. Нулевая гипотеза однородности говорит об идентичности двух функций распределения. Принятие этой гипотезы автоматически означает и равенство всех соответствующих параметров этих распределений. Однако отклонение нулевой гипотезы и принятие альтернативной гипотезы не отвечает на вопрос о том, какие именно параметры не равны в сравниваемых распределениях.

Параметрический t-критерий Стьюдента используется для определения статистической значимости различий средних величин. Может применяться как в случаях сравнения независимых выборок, так и при сравнении связанных совокупностей. Для применения t-критерия Стьюдента необходимо, чтобы исходные данные имели нормальное распределение. В случае применения двухвыборочного критерия для независимых выборок также необходимо соблюдение условия равенства дисперсий. Если рассчитанное значение t-критерия Стьюдента равно или больше критического, делаем вывод о статистической значимости различий между сравниваемыми величинами. Если значение рассчитанного t-критерия Стьюдента меньше критического, значит, различия сравниваемых величин статистически не значимы.

Непараметрический U-критерий Манна-Уитни используется для сравнения двух независимых выборок по уровню какого-либо признака, измеренного количественно. Метод основан на определении того, достаточно ли мала зона перекрещивающихся значений между двумя вариационными рядами (ранжированным рядом значений параметра в первой выборке и таким же во второй выборке). Чем меньше значение критерия, тем вероятнее, что различия между значениями параметра в выборках достоверны.

Каждый критерий значимости различий проходит следующие этапы:

- определение используемой статистической модели. Здесь выдвигают некоторый набор предпосылок относительно закона распределения случайной величины и его параметров;
- выбор критерия, который подходит к выдвинутой статистической гипотезе;
- выбор уровня значимости α в зависимости от требуемой надежности выводов;
- определение критической области для проверки нулевой гипотезы. Если значение критерия превышает эту область, то гипотеза отклоняется;
- расчет значения выбранного критерия для имеющихся данных;
- рассчитанное значение критерия сравнивается с критическим и принимается решение о принятии или отклонении нулевой гипотезы.

Анализ показателей фазового портрета ЭМГ-сигнала в зависимости от возраста проводили в четырех группах обследуемых согласно классификации ВОЗ:

- A1 – молодой возраст (18-44 года);
- A2 – средний возраст (45-59 лет);
- A3 – пожилой возраст (60-74 года);
- A4 – старческий возраст (75-90 лет).

Проведенные расчеты вероятности различия между показателями фазового портрета ЭМГ-сигнала и возрастом пациента для групп A1, A2, A3, A4 показали, что разница показателей между возрастными группами от 18 до 76 лет не является статистически значимой для всех

исследуемых параметров ($p > 0,05$) во всех группах обследуемых. Это позволяет проводить дальнейший анализ электромиограмм, не учитывая возрастной принадлежности обследуемого.

Анализ показателей фазового портрета ЭМГ-сигнала в зависимости от пола проводили в четырех группах обследуемых:

- B1 – практически здоровые добровольцы без жалоб (16 женщин; 16 мужчин);
- B2 – условно здоровые с жалобами на боль в спине (9 женщин; 11 мужчин);
- B3 – вертебрологические пациенты (9 женщины; 11 мужчин);
- B4 – пациенты, страдающие сколиозом (16 женщин; 14 мужчин).

Проведенные расчеты вероятности различия между показателями фазового портрета ЭМГ-сигнала и полом пациента для группы B1, B2, B3 и B4 показали, что разница показателей ЭМГ-сигналов между женщинами и мужчинами не является статистически значимой для всех исследуемых параметров ($p > 0,05$) во всех группах. Это позволяет проводить дальнейший анализ электромиограмм, не учитывая половой принадлежности обследуемого.

Анализ показателей фазового портрета ЭМГ-сигнала в зависимости от диагноза проводили в четырех группах обследуемых:

- B1 – практически здоровые добровольцы без жалоб (32 миограммы);
- B2 – условно здоровые с жалобами на боль в спине (20 миограмм);
- B3 – вертебрологические пациенты (20 миограмм);
- B4 – пациенты, страдающие сколиозом (30 миограмм).

При определении различий среди показателей фазового портрета ЭМГ-сигнала между пациентами без патологий и с патологиями опорно-двигательного аппарата, получили следующие результаты:

- разница показателей ЭМГ-сигнала между группами B1 и B2 не является статистически значимой ($p > 0,05$);
- разница показателей ЭМГ-сигнала между группами B1 и B3, B1 и B4 является статистически значимой ($p < 0,05$), кроме показателей r , e и $e1$ ($p > 0,05$);
- разница показателей ЭМГ-сигнала между группами B2 и B3, B2 и B4 является статистически значимой ($p < 0,05$), кроме показателей r , e и $e1$ ($p > 0,05$);
- разница показателей ЭМГ-сигнала между группами B3 и B4 является статистически значимой ($p < 0,05$), кроме показателей r , e и $e1$ ($p > 0,05$).

Выводы. Провели статистическую обработку выборок для выявления статистически значимых связей параметров фазового портрета ЭМГ-сигнала с возрастом и полом обследуемого. Статистически достоверных различий не выявлено.

Провели статистическую обработку выборки для выявления статистически значимых связей между группой, к которой относится пациент, и каждым показателем фазового портрета. Группы практически здоровых пациентов без жалоб и условно здоровых с жалобами на боль в спине по каждому параметру фазового портрета статистически достоверно не различаются. Однако между пациентами без патологий, вертебрологическими пациентами и пациентами, страдающими сколиозом, выявлено статистически достоверное различие по семи параметрам фазового портрета: phi , a , b , S , $a1$, $b1$, $S1$.

Перспективой работы является построение моделей для классификации пациентов по параметрам фазовых портретов данных поверхностной электромиографии.

Список использованных источников:

1. Платонов И. В. Мышцы и суставы. Опорно-двигательный аппарат / И. В. Платонов. – СПб.: Амфора, 2012. – 62 с.
2. Число выбывших из стационара с диагнозом болезни опорно-двигательного аппарата [Электронный ресурс] / Атлас здоровья в Европе. – Режим доступа: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0012/97599/E91713R.pdf/ 01.10.2018 г. – Загл. с экрана.
3. Аврунин О. Г. Принципы компьютерного планирования функциональных оперативных вмешательств / О. Г. Аврунин // Технічна електродинаміка. – 2011. – Ч 2. – С. 293-298.
4. Шамраева Е. О. Выбор метода сегментации костных структур на томографических изображениях / Е. О. Шамраева, О. Г. Аврунин // Бионика интеллекта: информация, язык, интеллект. – 2006. – № 2 (65). – С. 83-87.
5. Аврунин О. Г. Опыт разработки биомедицинской системы цифровой микроскопии / О. Г. Аврунин // Прикладная радиоэлектроника. – 2009. – Т.8. – № 1. – С. 46-52.

6. Шамраева Е. О. Построение моделей черепных имплантов по рентгенографическим данным / Е. О. Шамраева, О. Г. Аврунин // Прикладная радиоэлектроника. – 2005. – Т. 4, С. 441-443.
7. Спектральный анализ электромиограмм мышц спины при дегенеративных заболеваниях позвоночника / А. Г. Скиданов, Д. Р. Дуплий, В. А. Колесниченко, В. А. Радченко. // Ортопедия, травматология и протезирование. – 2015. – №1. – С. 98–105.
8. Geisser M. E. Surface electromyography and low back pain / M. E. Geisser // Biofeedback. – 2007. – Vol. 35 (1). – P. 13-16.
9. Surface electromyography of the paravertebral muscles in patients with chronic low back pain / M. Kramer, V. Ebert, L. Kinzl [et al.]. // Arch. Phys. Med. Rehabil. – 2005. – Vol. 86. – P. 31-36.
10. Classification of back muscle impairment based on the surface electromyographic signal / S. H. Roy, C. J. De Luca, M. S. Emley [et al.]. // Journal of rehabilitation research and development. – 1997. – Vol. 34 (4). – P. 405-414.
11. Щодо застосовності методів аналізу електроміографічних сигналів / Ю. С. Шпакович, Т. В. Жемчужкіна, Т. В. Носова // Сучасний стан та перспективи біомедичної інженерії: матеріали першої міжуніверситетської науково-практичної конференції з міжнародною участю, 26-27 квіт. 2017 р. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – С. 85-86.
12. Статистический анализ спектральных характеристик ЭМГ-сигнала с целью дифференцирования поясничных болей / Т. В. Жемчужкина, Т. В. Носова, Я. В. Носова [и др.]. // Бионика интеллекта. – 2015. – №2 (85). – С. 105-108.
13. Компьютерная система анализа состояния опорно-двигательного аппарата на основе фазовых портретов ЭМГ / В. С. Топчий, Т. В. Жемчужкина, Т. В. Носова // Физические процессы и поля технических и биологических объектов: материалы XVI Международной научно-технической конференции, 3-5 ноя. 2017 г. – Кременчуг: КрНУ, 2017. – С. 87-89.

Рецензенты:

Аврунин О.Г., заведующий кафедрой Биомедицинской инженерии Харьковского национального университета радиоэлектроники, д.т.н., профессор;

Мустецов Н.П., профессор кафедры Физической и биомедицинской электроники и комплексных информационных технологий Харьковского национального университета им. В. Н. Каразина, к.т.н, профессор.

Стаття надійшла до редакції 07.11.2018