

УДК 615.47:617-089

ПОИСК ИНФОРМАТИВНЫХ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОМИОГРАФИЧЕСКОГО СИГНАЛА. Сообщение 1

А. И. Бых¹, Т. В. Жемчужкина², Т. В. Носова³¹ ХНУРЭ, г. Харьков, Украина² ХНУРЭ, г. Харьков, Украина³ ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, bykh@kture.kharkov.ua

Работа посвящена поиску информативных количественных показателей ЭМГ-сигналов для дифференциальной диагностики состояния нервно-мышечной системы. Для исследования применяются известные методы анализа медико-биологических сигналов, в частности, методы количественного анализа вариабельности ритма сердца. В данной работе проводились исследования методом временного статистического анализа биомедицинских сигналов.

ЭЛЕКТРОМИОГРАММА, АНАЛИЗ СТАТИСТИЧЕСКИЙ, ДИАГНОСТИКА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ, НЕЙРОПАТИЯ, НЕЙРОНОПАТИЯ.

Введение

Анализ микроструктуры интерференционной электромиограммы (ЭМГ), отведенной накожными электродами, позволяет выявлять патологические изменения в периферической части двигательного аппарата — мышце, а также в нервных проводниках и передних рогах спинного мозга. Специфические изменения величины электрической активности и ее распределение отражают функциональные нарушения опорно-двигательного аппарата. Это обусловило применение электромиографии при обследовании больных с различными двигательными нарушениями для диагностики, определения степени и распространенности поражения, оценки эффективности лечения.

1. Физиологические аспекты электромиографии

При использовании накожного отведения электромиографического сигнала выявляют некоторые патологические формы электрической активности мышц — фасцикуляции, урежение ЭМГ, повышение тонуса мышцы и т. д.

Фасцикуляциями называют подергивания, которые обусловлены возбуждением группы мышечных волокон. Они регистрируются как спонтанные колебания потенциала, сходные с потенциалами действия двигательных единиц (в отличие от фибрилляций, представляющих собой возбуждение отдельного мышечного волокна и сопровождающихся регистрацией коротких потенциалов фибрилляций). Фасцикуляции могут иметь вид единичных импульсов или ряда редких иглообразных колебаний, частота следования которых 5–20 импульсов в секунду, амплитуда 100–300 мкВ и более. Они характерны для переднероговых поражений спинного мозга (боковой амиотрофической склероз, невральная амиотрофия, сирингомиелия, спинальные опухоли и др.) [1].

При парезах, вызванных поражением мотонейронов, в произвольно напряженной мышце регистрируют уреженную в разной степени ЭМГ; при крайних степенях урежения ЭМГ приобретает «частотную» форму. Вторым фактором, играющим существенную роль в формировании редких ЭМГ, является одновременность возбуждения большого количества мышечных волокон. Это может быть связано, с одной стороны, с образованием крупных двигательных единиц в результате компенсаторной реиннервации волокон погибших двигательных единиц интактными аксонами, с другой — с синхронным разрядом функционирующих мотонейронов, весьма характерным для переднероговых поражений.

При ряде заболеваний нервной системы наблюдается повышение тонуса, проявляющееся в появлении выраженной электрической активности мышцы в состоянии произвольного ее расслабления. Отводить электрическую активность тонуса целесообразно с помощью накожных электродов (которые в этом случае более чувствительны, чем игольчатые, так как суммируют потенциалы с большей площади мышцы). Повышение тонической электрической активности — типичное электромиографическое проявление спастичности у больных с пирамидными поражениями. Электрическая активность при синергическом повышении тонуса может иметь амплитуду 250 мкВ и более. Повышение тонической электрической активности наблюдается также при ригидности, характерной для паркинсонического синдрома. В этом случае повышение электрической активности «покоя» большей частью имеет форму тремора. Повышенная, по сравнению с нормой, электрическая активность «покоя» может наблюдаться и в отсутствие специфических нарушений тонуса в результате боли, эмоционального возбуждения, а также у больных с неврозами. При хорее, атетозе и т. п. на ЭМГ различных мышц

регистрируются беспорядочные залпы активности разной длительности. ЭМГ в этих случаях отражает распространенность и пассивность гиперкинеза, особенности координационных отражений разных мышц в насильственных движениях [2, 3].

При патологическом треморе ЭМГ имеет характерный прерывистый вид. Залпы активности перемежаются с периодами отсутствия активности с частотой около 5–10 колебаний в 1 с. Однако необходимо учитывать, что электрическая активность произвольного напряжения может иметь прерывистый вид, напоминая ЭМГ тремора, в связи со слабостью мышцы любого происхождения.

2. Цель и постановка задачи

Все вышеперечисленные патологические характеристики ЭМГ определяются врачом по внешним признакам, то есть носят субъективный характер (человеческий фактор). Таким образом, постановка диагноза зависит от квалификации, опыта, интуиции и физиологического и эмоционального состояния врача. На настоящий момент не существует набора количественных показателей, однозначно дифференцирующих патологии нервно-мышечной системы. Более подробное изучение и анализ ЭМГ позволит, на наш взгляд, обеспечить не только дифференцирование патологий, но и обнаруживать эти патологии на более ранних стадиях, а также сократить время диагностирования.

Таким образом, несмотря на широкое применение анализа ЭМГ в клинической медицине, остается актуальным получение информативных показателей ЭМГ-сигнала для улучшения диагностирования патологий нервно-мышечной системы.

Целью исследования является определение информативных количественных показателей ЭМГ-сигнала для дифференцирования состояний нервно-мышечной системы.

Для достижения поставленной цели необходимо исследовать различные количественные характеристики ЭМГ-сигнала и выбрать наиболее значимые.

Применяемыми методами в данной работе являются: статистический анализ временных и амплитудных характеристик ЭМГ-сигнала.

3. Количественный анализ ЭМГ

В данной работе проводится обработка ЭМГ-сигналов известными методами, применяемыми для анализа медико-биологических сигналов. В частности, в основу анализа были положены методы количественного анализа variability ритма сердца по ритмограмме. Все многообразие этих методов можно разбить на две основные группы: методы анализа во временной области и методы анализа в частотной области.

Среди методов анализа во временной области можно выделить два направления: статистические

методы, основанные на оценке различных статистических характеристик, и геометрические методы, заключающиеся в оценке формы и параметров гистограммы распределения. На первой стадии исследования остановимся на одном из направлений временных методов анализа биомедицинских сигналов — статистическом.

Динамический ряд кардиоинтервалов (ритмограмма) может быть отнесен к числу стационарных или нестационарных. Стационарными называют случайные процессы, протекающие приблизительно однородно и имеющие вид непрерывных колебаний вокруг некоторого среднего значения. Стационарные процессы характеризуются эргодичностью, то есть усреднение по времени соответствует усреднению по множеству реализаций. Иными словами, на любом участке времени мы должны получать одни и те же характеристики. Нестационарные (или переходные) процессы имеют определенную тенденцию развития во времени, и их характеристики зависят от начала отсчета. Практически в каждой кардиоинтервалограмме содержатся элементы нестационарности (фрактальные компоненты).

ЭМГ-сигнал является случайным нестационарным сигналом. Из-за временного дефицита на практике характеристики миографического процесса принято определять по данным небольшого числа реализаций. Известно, что при длительности реализации миографических процессов больше 160 с среднеквадратичное отклонение мало изменяется. Поэтому указанное значение длительности интервала реализации можно считать достаточным для вычисления по одной реализации статистически достоверных характеристик, соответствующих истинным характеристикам процесса, определенным по множеству реализаций [4].

Исходя из вышеизложенного, очевидно, что ЭМГ-сигнал и ритмограмма относятся к одному типу сигналов; следовательно, мы можем применить известные методы анализа ритмограмм для анализа ЭМГ-сигнала.

Для решения поставленной задачи были исследованы ЭМГ-сигналы, полученные с мышц нижних конечностей при различной степени нейропатологии и в норме (более 80 пациентов). На рис. 1 приведен один из исследуемых ЭМГ-сигналов.

Для получения достоверных статистических характеристик предлагается ЭМГ-сигнал пронормировать, то есть разделить все значения данного сигнала на его максимальное значение и исследовать процентное соотношение амплитуд колебаний, составляющих данный сигнал. На рис. 2 приведен фрагмент пронормированного ЭМГ-сигнала. ЭМГ-сигнал представляет собой последовательность случайных колебаний с амплитудами A_n и длительностями T_n (рис. 3).

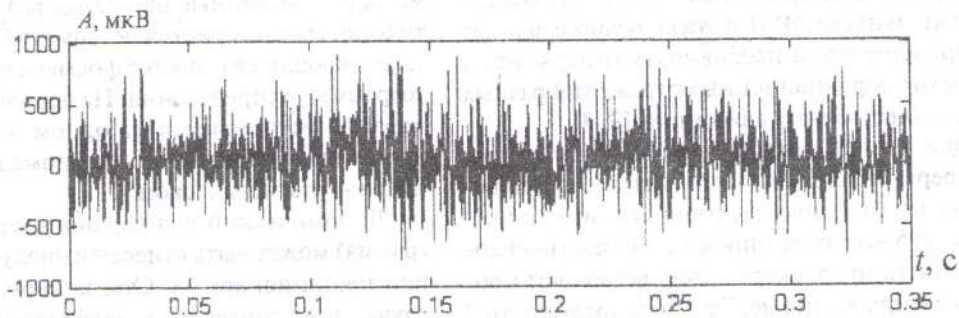


Рис. 1. Фрагмент ЭМГ-сигнала

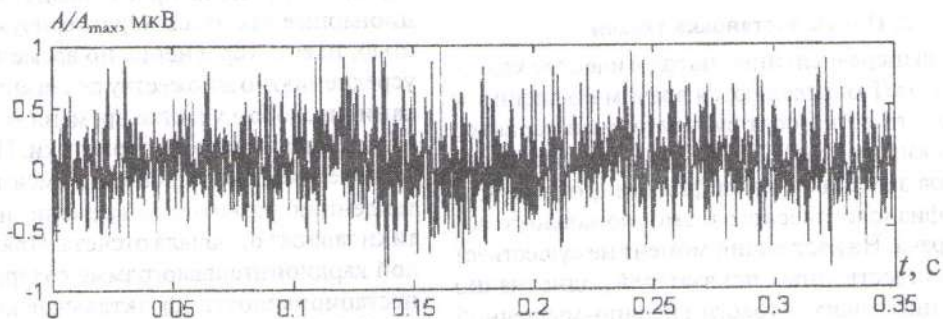


Рис. 2. Фрагмент нормированного ЭМГ-сигнала

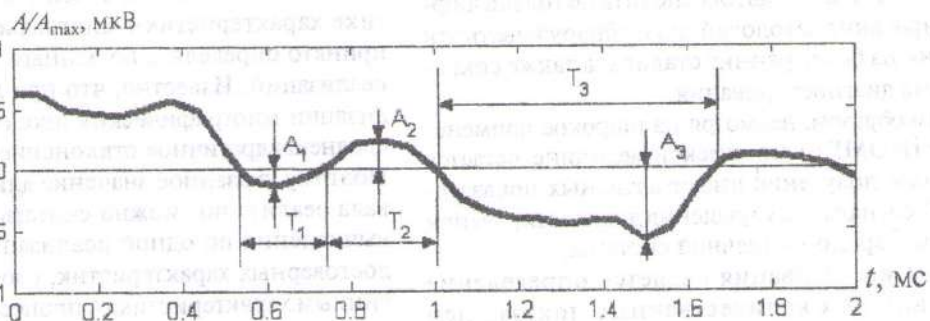


Рис. 3. Пример определения параметров ЭМГ-сигнала

Простейшими характеристиками ЭМГ являются средние значения (математическое ожидание) амплитуд M_A и длительностей M_T колебаний ЭМГ и их среднеквадратические отклонения SD_A и SD_T :

$$M_A = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N A_i, \quad M_T = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_i,$$

$$SD_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (A_i - M_A)^2}{N}}, \quad SD_T = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (T_i - M_T)^2}{N}},$$

где N — количество колебаний ЭМГ.

Для анализа ЭМГ-сигнала вычислялись также статистические характеристики более высоких порядков: асимметрия амплитуд As_A и длительностей As_T ; эксцесс амплитуд Ex_A и длительностей Ex_T :

$$As_A = \frac{\sum_{i=1}^N (A_i - M_A)^3}{N \cdot SD_A^3}, \quad As_T = \frac{\sum_{i=1}^N (T_i - M_T)^3}{N \cdot SD_T^3},$$

$$Ex_A = \frac{\sum_{i=1}^N (A_i - M_A)^4}{N \cdot SD_A^4}, \quad Ex_T = \frac{\sum_{i=1}^N (T_i - M_T)^4}{N \cdot SD_T^4}.$$

Некоторые результаты расчета основных статистических характеристик представлены в табл. 1.

В настоящее время для количественного дифференцирования состояний нервно-мышечной ткани (норма, нейропатия, нейроэнпатия и др.) в [4] предложено использовать среднеквадратическое отклонение (СКО) ЭМГ-сигнала. Из рисунка 4 видно, что при рассмотрении СКО (SD_A) значения для некоторых пациентов «выпадают» из общей картины (наличие резких «пиков» на кривой), что подтверждает изменение СКО при возникновении патоло-

Таблица 1

№	M_A	$SD_A, \%$	As_A	Ex_A	M_T	$SD_T, \%$	As_T	Ex_T
1	0,04	512,1	0,58	4,06	7,79	173,47	10,93	199,37
2	0,09	234,95	-0,05	3,86	7,74	888,88	-26,14	711,76
3	0,01	1597,98	-1,04	21,37	7,78	1396,59	-17,84	346,53
4	0,02	688,35	1,24	7,4	7,78	406,98	-24,4	650,92
5	0,03	955,29	0,8	7,61	7,72	602,69	-17,58	335,25
6	0,03	406,48	0,59	6,9	7,47	116,7	4,22	34,85
7	0,08	257,58	0,3	3,52	7,45	789,86	-25,48	700,02
8	0,02	961,83	0,24	10,75	7,46	876,24	-20,74	486,56
9	0,03	773,16	0,17	3,98	7,37	892,33	-20,57	476,58
10	0,05	401,98	0,37	3,64	7,45	887,12	-20,2	465,52
11	0,01	1127,86	0,82	6,05	7,47	221,81	-20,01	511,83
12	0,03	531,24	0,54	8,05	7,4	101,82	1,96	8,47
13	0,01	4197,74	-0,11	6,77	7,41	769	-26,61	741,58
14	0,01	1682,21	-0,11	6,61	7,4	847,33	-21,9	527,77
15	0,02	964,04	-0,67	5,71	7,41	405,34	-24,87	679,37
16	0,03	669,21	0,58	8,17	7,41	409,51	-24,15	652,13
17	0,03	703,74	-0,25	4,19	7,41	1098,83	-23,56	597,99
18	0,13	173,65	0,36	3,44	7,41	660	-13,89	281,31
19	0,02	763,47	0,41	7,03	7,34	530,64	-18,23	361,14
20	0,02	992,09	0,45	4,56	7,39	920,07	-18,76	393,72

гических отклонений в ЭМГ, так как в исследуемой выборке сигналов присутствовали ЭМГ в норме и с различной степенью патологии. Такие же феномены мы наблюдаем и на графиках (рис. 4–5) для математического ожидания (M_A , M_T), СКО (SD_T), асимметрии (As_A , As_T) и, особенно, эксцесса (Ex_A , Ex_T), что дает возможность для предположения статистической связи между значениями этих характеристик и состоянием нервно-мышечной ткани. Дальнейшие исследования в этом направлении необходимы для получения количественных значений интервалов изменения каждой из этих характеристик для каждого из возможных патологических состояний нервно-мышечной ткани, т. е. позволят проводить более точную дифференциальную диагностику.

4. Анализ распределения статистических показателей

На рис. 6–7 представлены распределения каждой из исследуемых статистических характеристик, по которым можно определить диапазоны измене-

ния данных характеристик и интервальное изменение этих характеристик для исследуемой выборки пациентов.

Все исследуемые электромиографические сигналы по результатам статистической обработки были поделены с использованием диагностики по СКО на две группы: ЭМГ-сигналы с $SD_A > 1000\%$ (различная степень патологии нервно-мышечной ткани) и ЭМГ-сигналы с $SD_A < 1000\%$ (условная норма). На рис. 8–9 представлены значения статистических характеристик следующим образом: в первом столбце треугольными маркерами обозначены значения характеристик для пациентов с $SD_A > 1000\%$, во втором столбце круглыми маркерами — значения характеристик для пациентов с $SD_A < 1000\%$. Из способа разделения исходных сигналов очевидно, что треугольные и круглые маркеры для SD_A группируются в два отдельных класса (рис. 8). Маркеры для других статистических характеристик группируются иначе. Изучив результаты данного исследования, можно дифференцировать ЭМГ-сигналы в отдельные группы по плотности, не

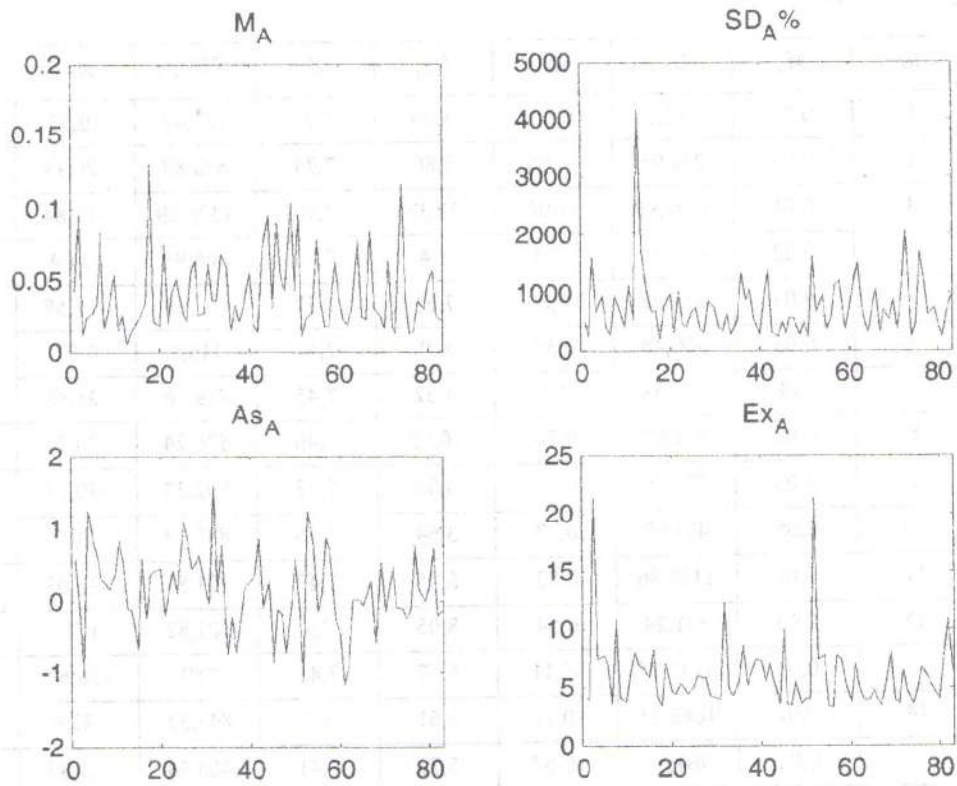


Рис. 4. Значения амплитудных статистических характеристик миографических сигналов для 83 пациентов

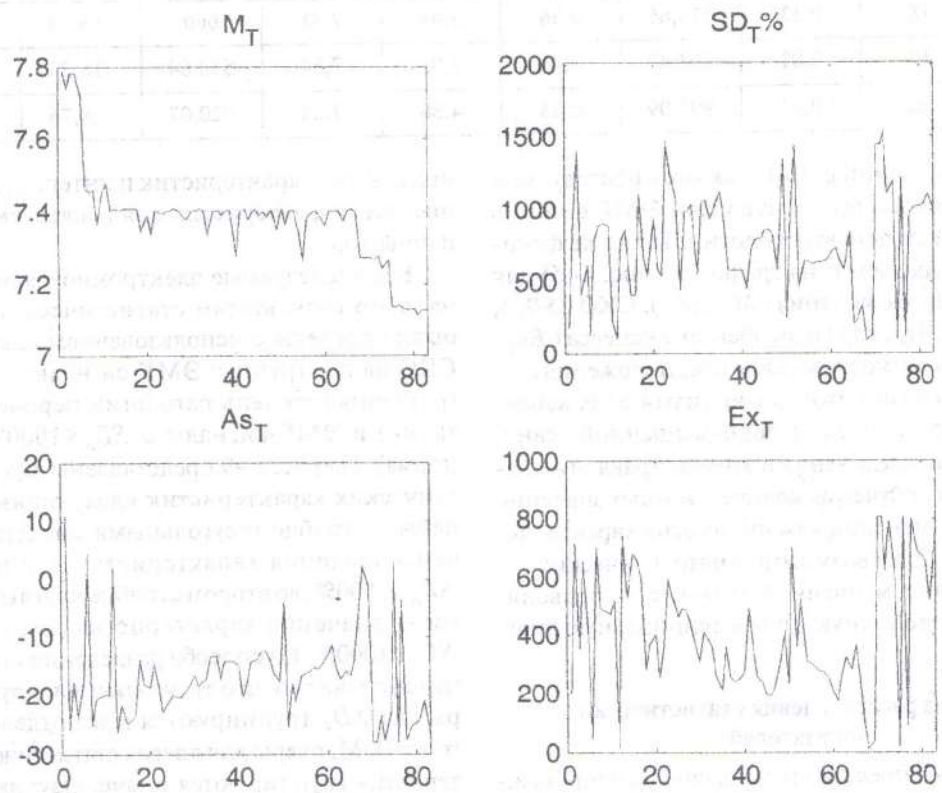


Рис. 5. Значения временных статистических характеристик миографических сигналов для 83 пациентов

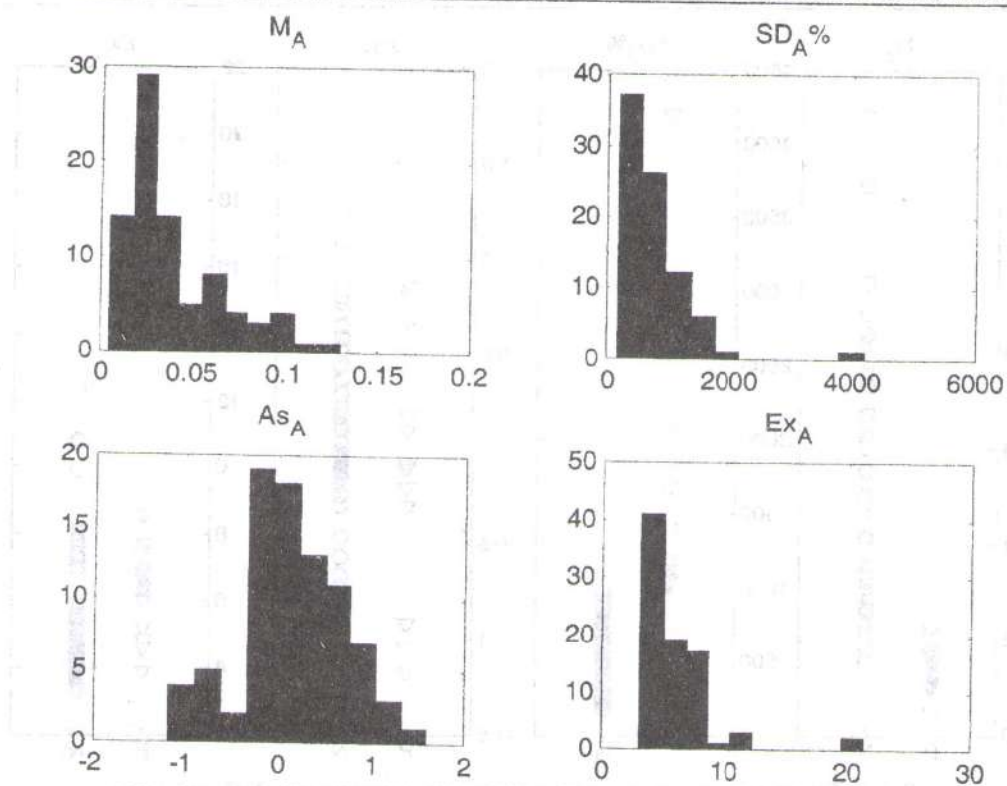


Рис. 6. Распределения амплитудных статистических характеристик

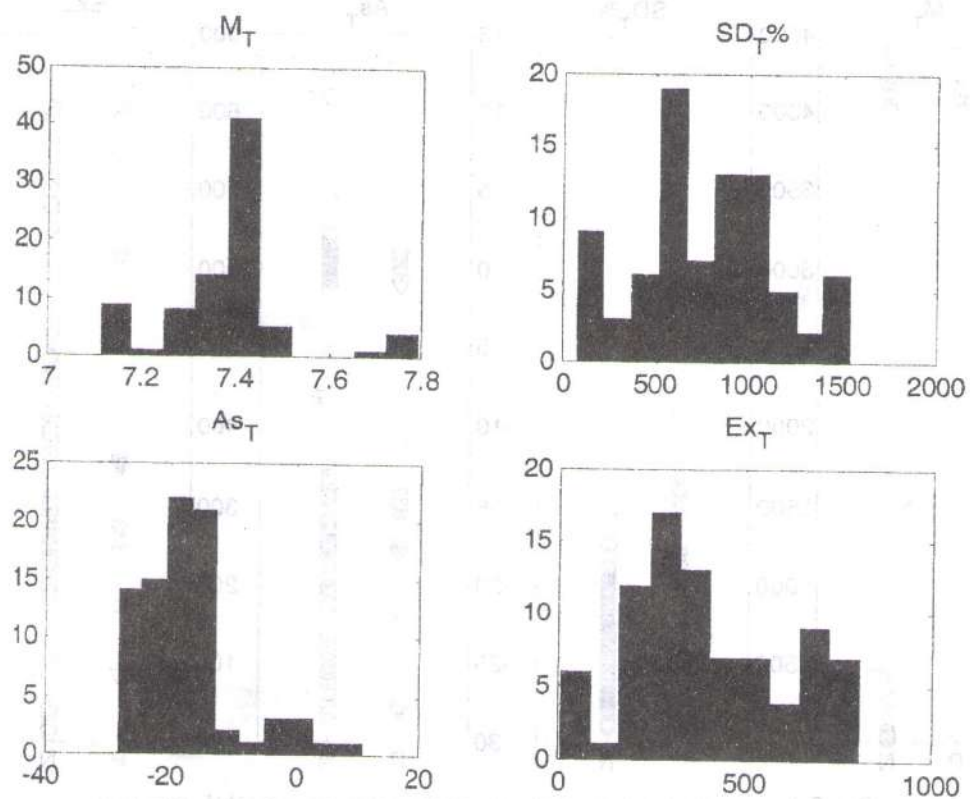


Рис. 7. Распределения временных статистических характеристик

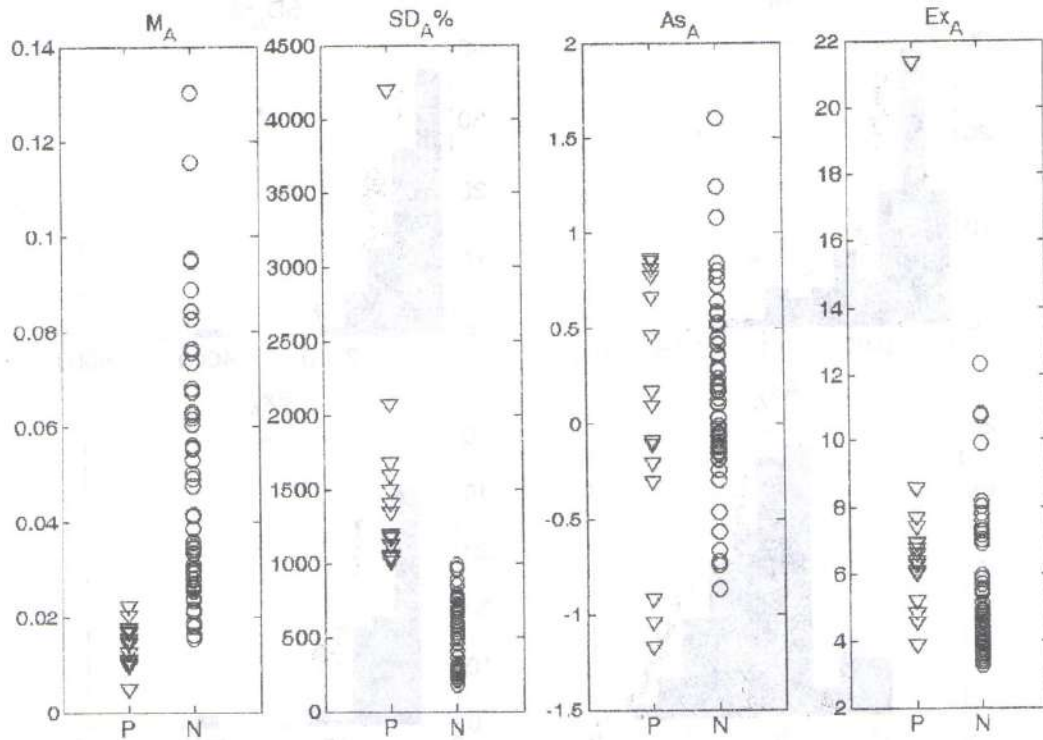


Рис. 8. Группы амплитудных статистических характеристик ЭМГ-сигналов (треугольный маркер — значения характеристик для пациентов с патологией по СКО; круглый маркер — значения характеристик для пациентов с нормой)

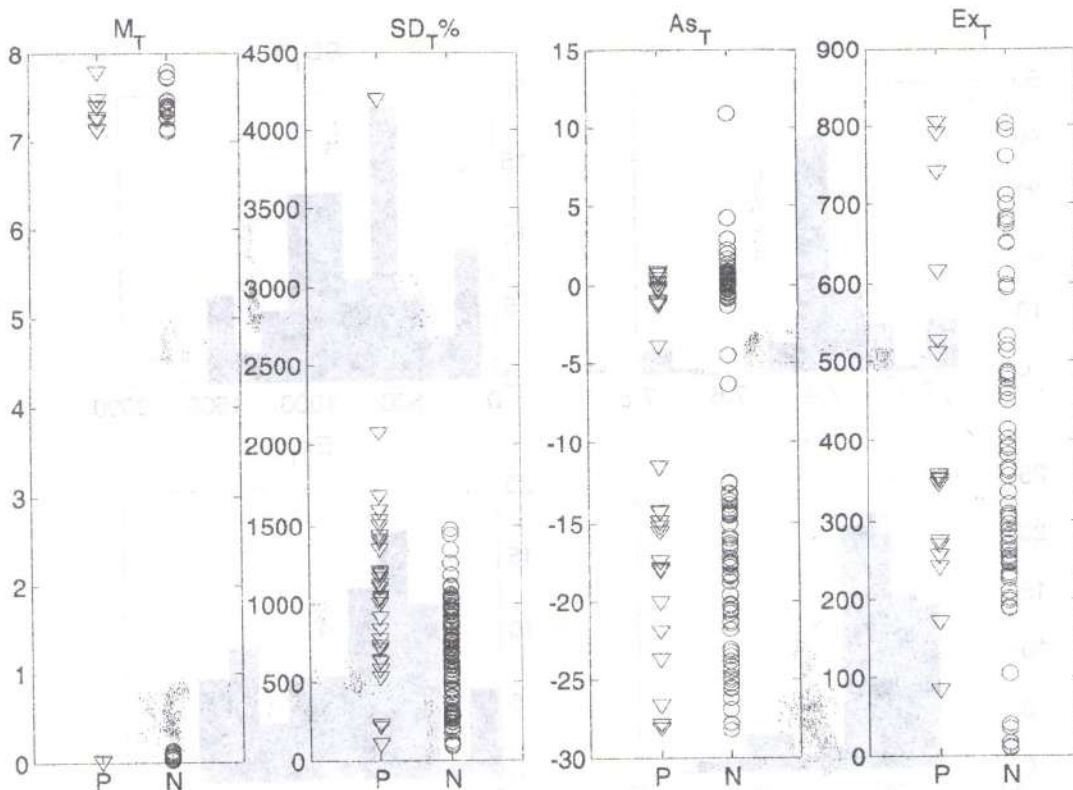


Рис. 9. Группы временных статистических характеристик ЭМГ-сигналов (треугольный маркер — значения характеристик для пациентов с патологией по СКО; круглый маркер — значения характеристик для пациентов с нормой)

только по СКО, но и по другим статистическим характеристикам. Данные исследования позволяют утверждать, что статистическая связь между этими характеристиками отсутствует, поскольку маркеры для каждой из характеристик сгруппировались особым образом, то есть они не являются взаимозаменяемыми, а могут быть взаимодополняющими и нести новую информацию о состоянии нервно-мышечной ткани пациента, что явно видно из рисунков 8–9, поскольку значения различных характеристик группируются различным образом.

Выводы

В данной работе был проведен поиск новых информативных количественных показателей ЭМГ-сигнала, которые могут быть использованы для дифференциальной диагностики состояния нервно-мышечной ткани. Предложены характеристики: математическое ожидание амплитуд M_A и длитель-

ностей M_T , их среднеквадратические отклонения SD_A и SD_T , асимметрия амплитуд As_A и длительностей As_T , эксцесс амплитуд Ex_A и длительностей Ex_T . Показано, что данные характеристики являются статистически независимыми и несут дополнительную диагностическую информацию о состоянии нервно-мышечной ткани пациента.

Список литературы: 1. Зенков Л.Р., Ронкин М.А. Функциональная диагностика нервных болезней. — М.: Медицина, 1991. — 623 с. 2. Румянцева М.Ф., Лосева Т.Н., Бунина Т.П. Руководство к практическим занятиям по физиологии с основами анатомии человека. — М.: Медицина, 1986. — 301 с. 3. Гаусманова-Петрусевич Я. Мышечные заболевания. — Варшава: Польское гос. мед. изд-во, 1971. — 440 с. 4. Носова Т.В., Радченко В.И., Семенец В.В. Способ обработки миографической информации // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних сил. — 2005. — Випуск 5 (5). — С. 78–83.

Поступила в редколлегию 02.04.07

Вісник Харківського національного університету Повітряних Сил і космонавтики, 2007, № 11, с. 85–90. **Поиск информативных количественных показателей ЭМГ-сигнала. Сообщение 1** / В.В. Семенец, Т.В. Носова, В.И. Радченко, Л.С. Мухоморова, М.А. Ронкин, Л.Р. Зенков. — Харьков: ХНУПС, 2007. — 6 с. — (Серия «Научные труды»). — ISSN 1726-7501. — URL: <http://www.airbase.kharkiv.ua>.
 В даній роботі було проведено пошук нових інформативних кількісних показувачів ЕМГ-сигнала, які можуть бути використані для диференціальної діагностики стану нервно-м'язової тканини пацієнта. Предложено характеристики: математичне очікування амплітуд M_A і тривалостей M_T , їх середнькватратичні відхилення SD_A і SD_T , асиметрія амплітуд As_A і тривалостей As_T , ексцес амплітуд Ex_A і тривалостей Ex_T . Показано, що дані характеристики є статистично незалежними і несуть додаткову діагностичну інформацію про стан нервно-м'язової тканини пацієнта.

Ключевые слова:

ЭМГ-сигнал, информативные количественные показатели, математическое ожидание амплитуд, длительностей, среднеквадратические отклонения, асимметрия амплитуд, длительностей, эксцесс амплитуд, длительностей.

Таким образом, эмпирически установлено, что предложенные характеристики являются информативными и могут использоваться для дифференциальной диагностики состояния нервно-мышечной ткани пациента.