

УДК 615.47:617-089



ПОИСК ИНФОРМАТИВНЫХ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОМИОГРАФИЧЕСКОГО СИГНАЛА.

Сообщение 2

А. И. Бых¹, Т. В. Жемчужкина², Т. В. Носова³

^{1, 2, 3} 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 геометрическими методами 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.

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. В 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 [1,2].

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.

В сообщении 1 [3] нами были рассмотрены количественные показатели ЭМГ-сигнала, полученные методом временного статистического исследования биомедицинских сигналов. Данные показатели, по нашему мнению, могут быть использованы для дифференциальной диагностики состояния

нервно-мышечной ткани. Было показано, что предложенные нами характеристики (математическое ожидание амплитуд M_A и длительностей 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) являются статистически независимыми и несут дополнительную диагностическую информацию о состоянии нервно-мышечной ткани пациента.

1. Цель и постановка задачи

Целью настоящего 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: геометрические методы исследования функции плотности распределения различных статистических характеристик ЭМГ-сигнала.

2. Количественный анализ ЭМГ

Под геометрическими методами статистического анализа будем понимать оценку формы и параметров функции распределения плотности вероятности амплитуд и интервалов ЭМГ-сигнала. (то есть амплитудной и интервальной гистограмм ЭМГ)

Распределение вероятностей амплитуд интерференционной ЭМГ описывается функцией пуассоновского типа [4]. Из аналитического выражения для плотности распределения вероятности $p(x)$ следует, что при $x=0$ имеет место пик в распределении, который соответствует ненулевой вероятности нулевых значений интерференционной ЭМГ [4]. В частном случае, когда случайными являются только амплитуды элементарных импульсов ЭМГ-сигнала A , причем они распределены

нормально с нулевым средним и дисперсией σ_A , функция $p(x)$ содержит два слагаемых, соответствующих нормальному распределению при $x \neq 0$ и пику в форме δ -функции при $x=0$ (рис. 1). По своей форме теоретическая функция близка к экспериментально наблюдаемому закону распределения ЭМГ некоторых биологических структур (рис. 2).

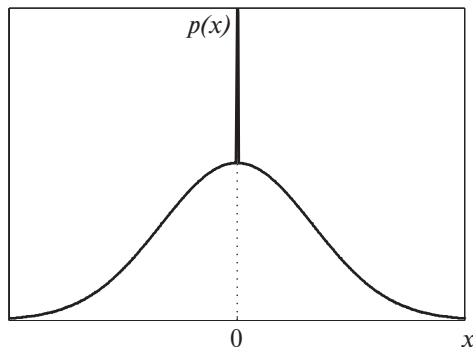


Рис. 1. Функция распределения мгновенных значений ЭМГ

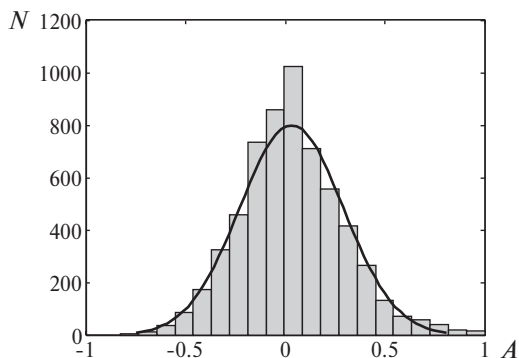


Рис. 2. Экспериментальная гистограмма распределения амплитуд ЭМГ, аппроксимированная нормальным законом распределения

Для решения поставленной задачи были исследованы ЭМГ-сигналы, полученные с мышц нижних конечностей при различной степени нейрорпатологии и в норме (более 80 пациентов). Для получения достоверных статистических характеристик предлагается ЭМГ-сигнал пронормировать относительно максимального значения, исследовать процентное соотношение амплитуд колебаний, составляющих данный сигнал. На рис. 3 приведен фрагмент пронормированного ЭМГ-сигнала. ЭМГ-сигнал представляет собой последовательность случайных колебаний с амплитудами A_n и длительностями T_n (рис. 4).

Для построения гистограммы распределения амплитуд ЭМГ-сигнала разбиваем весь диапазон изменения амплитуд нормированной ЭМГ на 20 непересекающихся интервалов, каждому из которых ставим в соответствие количество амплитуд, попавших в этот интервал. По оси абсцисс откладываем значения амплитуд (A) для рассчитанных

интервалов, по оси ординат – количество амплитуд в интервале (N).

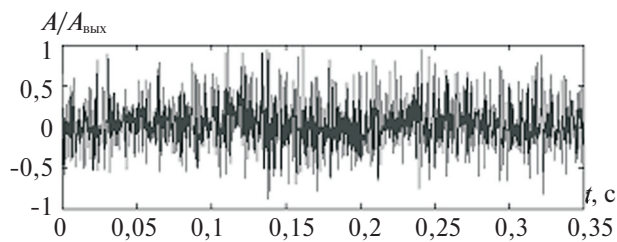


Рис. 3. Фрагмент нормированного ЭМГ-сигнала

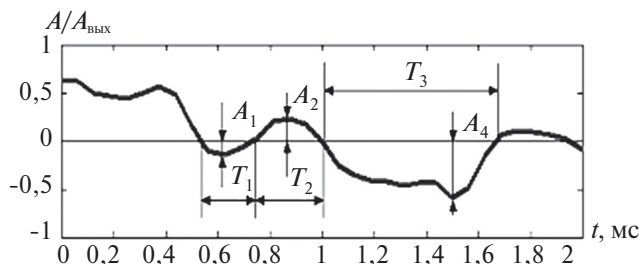


Рис. 4. Пример определения параметров ЭМГ-сигнала

Для оценки формы и параметров функции распределения используем следующие стандартные количественные показатели:

- мода (Mo) – наиболее часто встречающееся значение амплитуды, соответствует максимуму гистограммы;
- амплитуда моды (AMo) – количество амплитуд, соответствующих значению моды, и $AMo\%$ – AMo в процентном отношении к общему их количеству;
- вариационный размах (Δ) – ширина основания гистограммы.

Зарубежные исследователи используют аппроксимацию кривой распределения кардиоинтервалов треугольником и вычисляют так называемый триангулярный индекс – интеграл плотности распределения (общее количество кардиоинтервалов), отнесенный к максимуму плотности распределения [5]. Мы также используем параметры, полученные из аппроксимации гистограммы треугольником:

- триангулярный индекс ($ТИ$) – отношение общего количества амплитуд ЭМГ-сигнала к амплитуде моды (AMo), то есть отношение площади треугольника к его высоте;
- параметр наклона (H), вычисляемый по следующей формуле:

$$H = \frac{Mo - Min}{Max - Mo},$$

где Min – минимальное значение амплитуды ЭМГ-сигнала; Max – максимальное значение амплитуды ЭМГ-сигнала.

Параметр наклона гистограммы (H) характеризует направление и степень наклона гистограммы (рис. 5).

Для определения соответствия экспериментальной гистограммы распределения амплитуд ЭМГ-

сигнала нормальному закону вычислим параметр отклонения экспериментальной гистограммы от теоретической $\Delta S_{\text{норм}}$ (%):

$$\Delta S_{\text{норм}} = \frac{\sum (H_A(X_A) - N(X_A))^2}{\sum N(X_A)^2} \cdot 100\%,$$

где H_A — значения экспериментальной гистограммы распределения амплитуд ЭМГ сигнала; X_A — значения амплитуд ЭМГ в интервалах, рассчитанных для экспериментальной гистограммы; N — значения теоретической нормальной гистограммы.

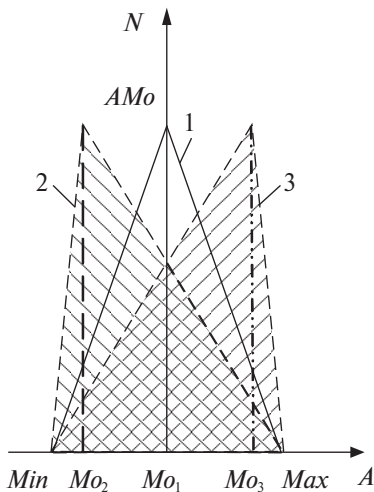


Рис. 5. Аппроксимация гистограммы распределения амплитуд треугольником:

- 1 — параметр наклона $H = 1$;
- 2 — параметр наклона $H < 1$;
- 3 — параметр наклона $H > 1$

На рис. 6–9 представлены результаты аппроксимации гистограмм распределения амплитуд ЭМГ-сигнала нормальным законом с указанием значения параметра отклонения экспериментальной гистограммы распределения амплитуд ЭМГ-сигнала от нормального закона $\Delta S_{\text{норм}}$. На рис. 10 — 13 представлены результаты аппроксимации гистограмм распределения амплитуд ЭМГ-сигнала треугольником с указанием параметра наклона H .

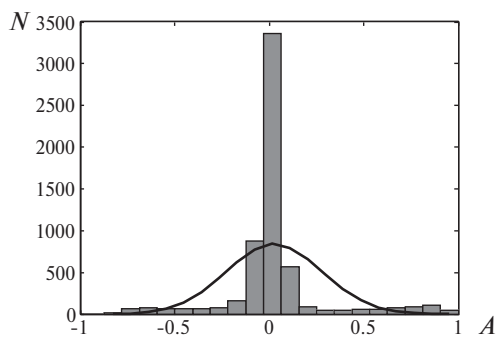


Рис. 6. Аппроксимация нормальным законом гистограммы распределения амплитуд ЭМГ-сигнала с патологией ($\Delta S_{\text{норм}} = 218,9\%$)

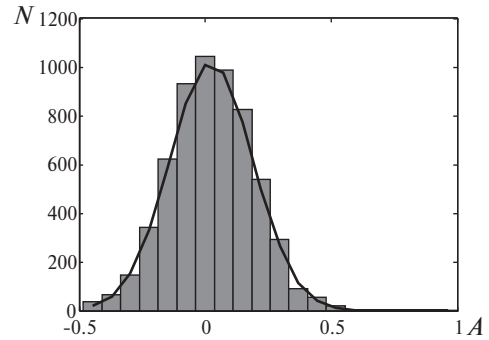


Рис. 7. Аппроксимация нормальным законом гистограммы распределения амплитуд низкочастотного ЭМГ-сигнала ($\Delta S_{\text{норм}} = 0,39\%$)

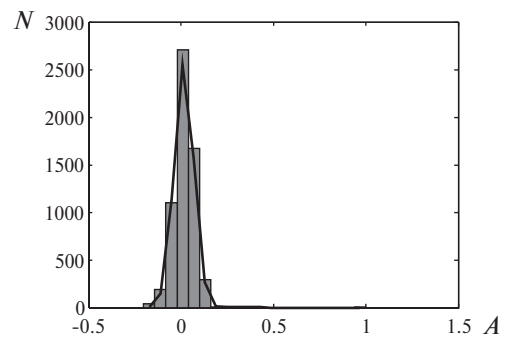


Рис. 8. Аппроксимация нормальным законом гистограммы распределения амплитуд низкочастотного ЭМГ-сигнала ($\Delta S_{\text{норм}} = 0,38\%$)

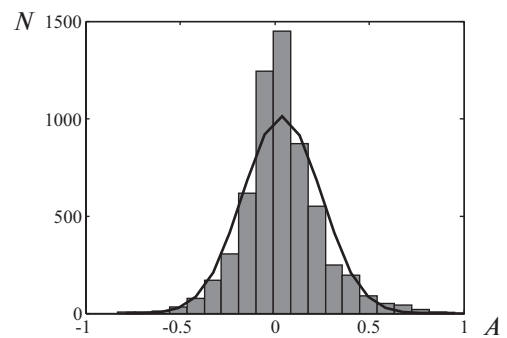


Рис. 9. Аппроксимация нормальным законом гистограммы распределения амплитуд высокочастотного ЭМГ-сигнала ($\Delta S_{\text{норм}} = 9,01\%$)

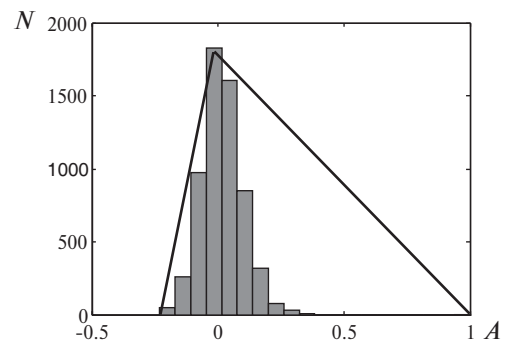


Рис. 10. Аппроксимация треугольником гистограммы распределения амплитуд низкочастотного ЭМГ-сигнала ($H = 0,21$)

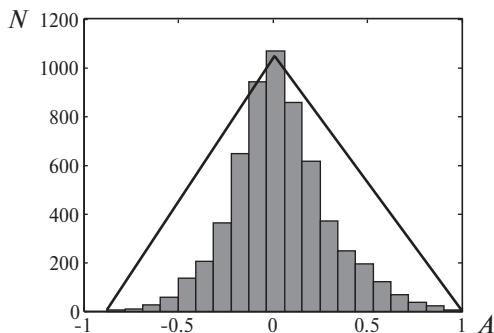


Рис. 11. Аппроксимация треугольником гистограммы распределения амплитуд низкочастотного ЭМГ-сигнала ($H = 0,9$)

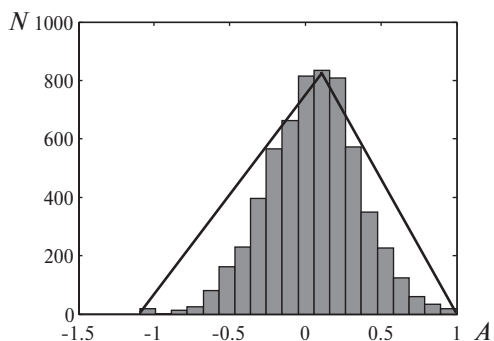


Рис. 12. Аппроксимация треугольником гистограммы распределения амплитуд низкочастотного ЭМГ-сигнала ($H = 1,35$)

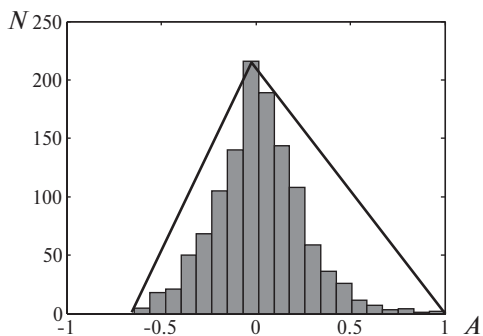


Рис. 13. Аппроксимация треугольником гистограммы распределения амплитуд высокочастотного ЭМГ-сигнала ($H = 0,6$)

Для построения интервальной гистограммы, то есть гистограммы распределения длительностей полувольт ЭМГ-сигнала (см. рис. 4), разбиваем весь диапазон изменения длительностей нормированной ЭМГ на 20 непересекающихся интервалов, каждому из которых ставим в соответствие количество длительностей, попавших в этот интервал. По оси абсцисс откладываем значения длительностей (T) для рассчитанных интервалов, по оси ординат — количество длительностей в интервале (N). Экспериментальный характер гистограммы предлагается аппроксимировать теоретической функцией плотности вероятности для экспоненциального распределения с тем же значением математического ожидания, что и в эксперименте. Для определения отклонения экспериментальной

гистограммы распределения от экспоненциального закона вычислим параметр $\Delta S_{\text{эксп}}$ (%):

$$\Delta S_{\text{эксп}} = \frac{\sum (H_T(X_T) - E(X_T))^2}{\sum E(X_T)^2} \cdot 100\%,$$

где H_T — значения экспериментальной гистограммы распределения длительностей полувольт ЭМГ-сигнала; X_T — значения длительностей полувольт ЭМГ в интервалах, рассчитанных для экспериментальной гистограммы; E — значения теоретической экспоненциальной гистограммы.

На рис. 14–17 представлены результаты аппроксимации гистограмм распределения длительностей полувольт ЭМГ-сигнала экспоненциальным законом с указанием значения параметра отклонения экспериментальной гистограммы распределения длительностей полувольт ЭМГ-сигнала от экспоненциального закона $\Delta S_{\text{эксп}}$.

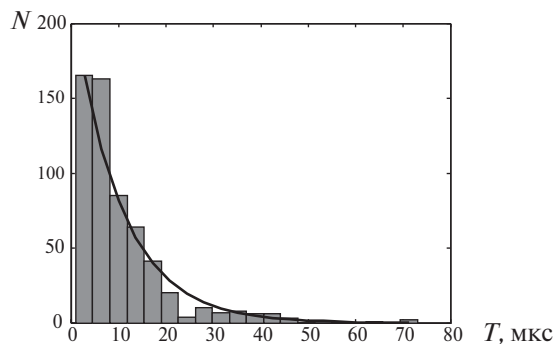


Рис. 14. Аппроксимация экспоненциальным законом распределения гистограммы распределения длительностей полувольт ЭМГ-сигнала с патологией ($\Delta S_{\text{эксп}} = 4,9\%$)

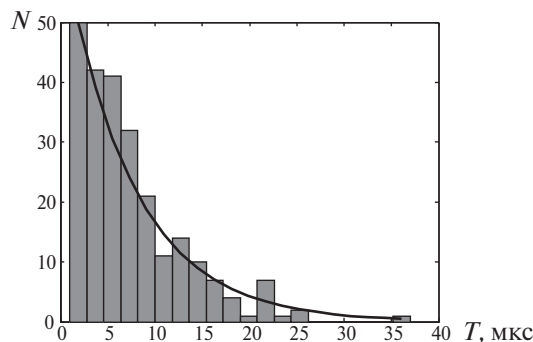


Рис. 15. Аппроксимация экспоненциальным законом распределения гистограммы распределения длительностей полувольт высокочастотного ЭМГ-сигнала ($\Delta S_{\text{эксп}} = 3,74\%$)

Некоторые результаты расчета геометрических статистических характеристик представлены в табл. 1. Все исследуемые электромиографические сигналы по результатам статистической обработки были разделены с использованием диагностики по среднеквадратическому отклонению (СКО) на две группы: различная степень патологии нервно-мышечной ткани и условная норма [3].

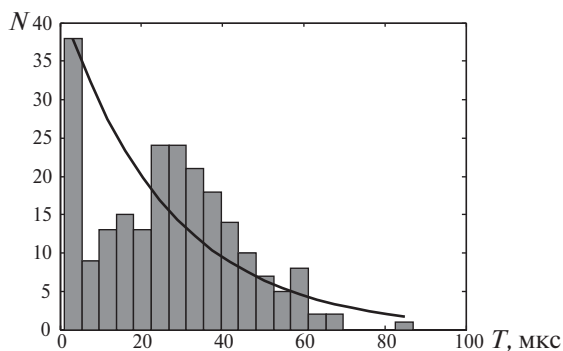


Рис. 16. Аппроксимация экспоненциальным законом распределения гистограммы распределения длительностей полуволн низкочастотного ЭМГ-сигнала ($\Delta S_{\text{эксп}} = 23,38\%$)

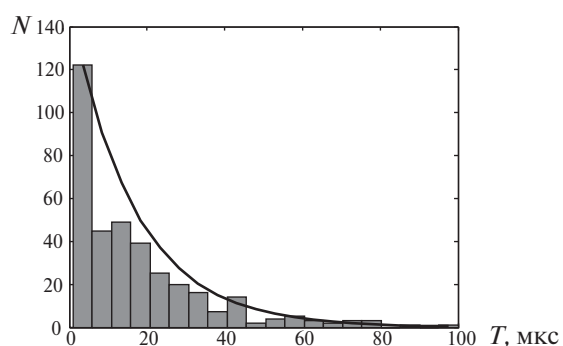


Рис. 17. Аппроксимация экспоненциальным законом распределения гистограммы распределения длительностей полуволн низкочастотного ЭМГ-сигнала ($\Delta S_{\text{эксп}} = 8,64\%$)

На рис. 18 представлены значения геометрических статистических характеристик следующим образом: в первом столбце маркерами «звездочка» обозначены значения характеристик для пациентов с патологией (*P*), во втором столбце треугольными маркерами — значения характеристик для пациентов с условной нормой (*N*). Из способа разделения исходных сигналов очевидно, что звездочки и треугольники для всех характеристик не группируются в два отдельных класса, как это было для СКО [3]. Изучив результаты данного исследования, можно дифференцировать ЭМГ-сигналы в отдельные группы по плотности не 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 рис. 18, поскольку значения различных характеристик группируются различным образом.

3. Перспективы работы

Перспективой работы авторы видят дальнейшее проведение исследований по выявлению из приведенного набора количественных показателей ЭМГ-сигнала информативных параметров для дифференцирования различных патологических состояний нервно-мышечной ткани. Такие пара-

Таблица 1

№	Δ	Mo	AMo	$AMo\%$	TI	H	$\Delta S_{\text{норм}}$	$\Delta S_{\text{эксп}}$
1	1,61	-0,005	1095	18,25	5,48	0,6	3,96	0,52
2	1,78	0,065	1044	17,4	5,75	0,9	1,78	20,36
3	2,02	0,042	4262	71,03	1,41	1,11	181,48	16,99
4	1,56	0,027	1518	25,3	3,95	0,6	14,09	12,96
5	1,87	0,016	3335	55,58	1,8	0,9	214,86	6,22
6	1,54	0,04	1618	26,97	3,71	0,6	5,05	2,004
7	1,56	0,026	939	15,65	6,39	0,6	1,37	2,44
8	1,88	0,011	3317	55,28	1,81	0,9	70,69	0,33
9	1,86	0,024	1293	21,55	4,64	0,9	3,58	6,92
10	1,68	0,033	1058	17,63	5,67	0,74	3,73	16,86
11	1,61	-0,004	1966	32,77	3,05	0,6	23,15	3,27
12	1,73	0,003	2456	40,93	2,44	0,74	20,75	5,55
13	2,1	0,005	2609	43,48	2,3	1,11	75,24	3,56
14	1,9	0,001	2688	44,8	2,23	0,9	68,28	6,96
15	2,18	0,075	1711	28,52	3,51	1,35	11,84	2,429
16	1,97	-0,036	2160	36	2,78	0,9	32,41	11,76
17	2,14	0,089	1170	19,5	5,13	1,35	2,42	11,06
18	1,59	0,083	1003	16,72	5,98	0,74	4,24	0,156
19	1,82	0,046	2196	36,6	2,73	0,9	25,21	0,16
20	1,51	-0,023	1276	21,27	4,7	0,48	4,03	8,50

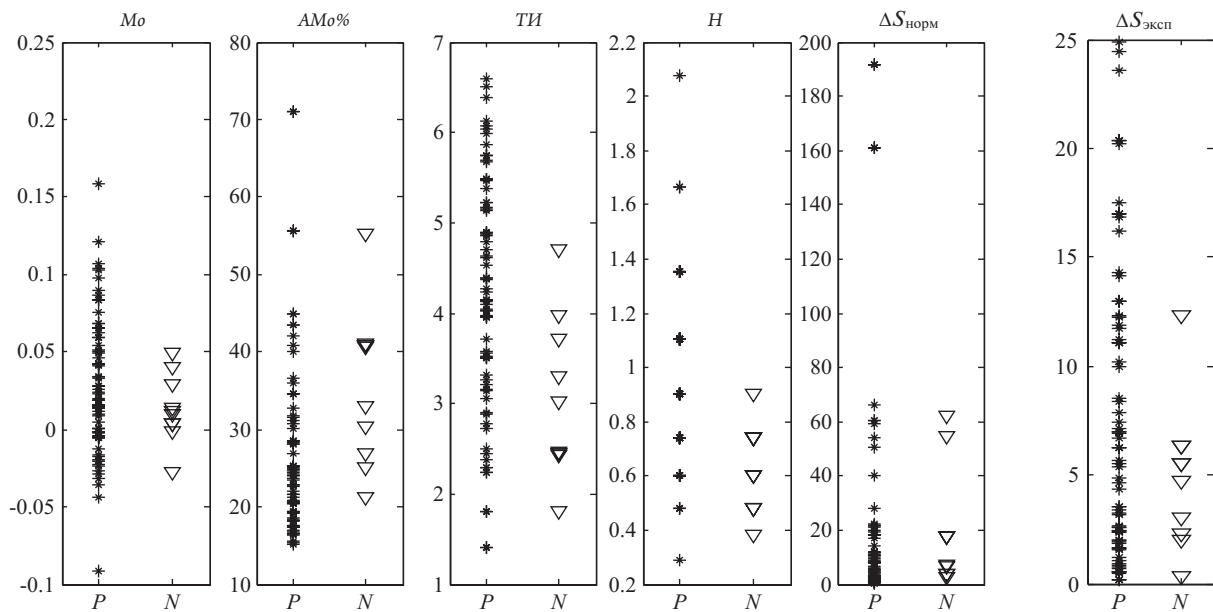


Рис. 18. Группы геометрических статистических характеристик ЭМГ-сигналов (маркер «звездочка» — значения характеристик для пациентов с патологией по СКО (P), треугольный маркер — значения характеристик для пациентов с нормой (N))

метры могут использоваться для создания баз данных пациентов при скрининговых исследованиях и выявления патологических изменений в нервно-мышечной ткани на ранних стадиях.

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 — мода Mo , амплитуда моды AMo и амплитуда моды в процентном отношении к общему количеству амплитуд $AMo\%$, вариационный размах Δ , триангулярный индекс TI , параметр наклона H , параметр отклонения экспериментальной гистограммы распределения амплитуд ЭМГ-сигнала от нормального закона $\Delta S_{норм}$, параметр отклонения экспериментальной гистограммы распре-

ления длительностей полувольт ЭМГ-сигнала от экспоненциального закона $\Delta S_{эксп}$. Показано, что данные характеристики являются статистически независимыми и несут дополнительную диагностическую информацию о состоянии нервно-мышечной ткани пациента (табл. 1).

Список литературы: 1. *Зенков Л.Р., Ронкин М.А.* Функциональная диагностика нервных болезней. — М.: Медицина, 1991. — 623 с. 2. *Гаусманова-Петрусевич Я.* Мышечные заболевания. — Варшава: Польское гос. мед. изд-во, 1971. — 440 с. 3. *Бых А.И., Жемчужкина Т.В., Носова Т.В.* Поиск информативных количественных показателей электромиографического сигнала. Сообщение 1 // Бионика интеллекта. — 2007. — 1(66). — С. 118-125. 4. *Бакалов В.П.* Методы биотелеметрии. — Л.: Наука, 1983. — 176 с. 5. Вариабельность сердечного ритма. Стандарты измерения, физиологической интерпретации и клинического использования // Вестник аритмологии. — 1999. — № 11. — С. 53-78.

Поступила в редколлегию 10.04.2008