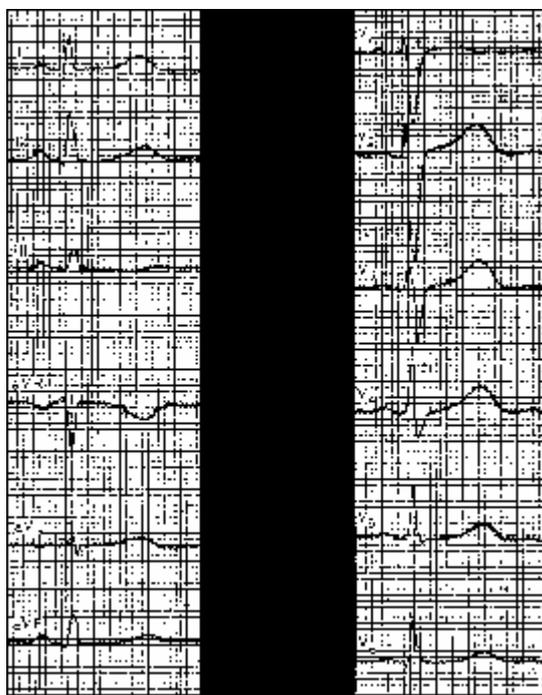


**В. Р. Цибульский, О. И. Сергейчик,  
А. Ю. Рычков, Л. Н. Копылова**

### **Спектральный анализ нормальных электрокардиограмм в отведениях**

*В статье предлагается использовать в спектральном анализе кардиологических временных рядов нормальные ЭКГ в отведениях. Предпринята попытка ввести в практику исследований идеализированную нормальную ЭКГ в отведениях. Показано, что основные статистики и амплитудные спектры последних и здорового пациента отличаются не значительно.*

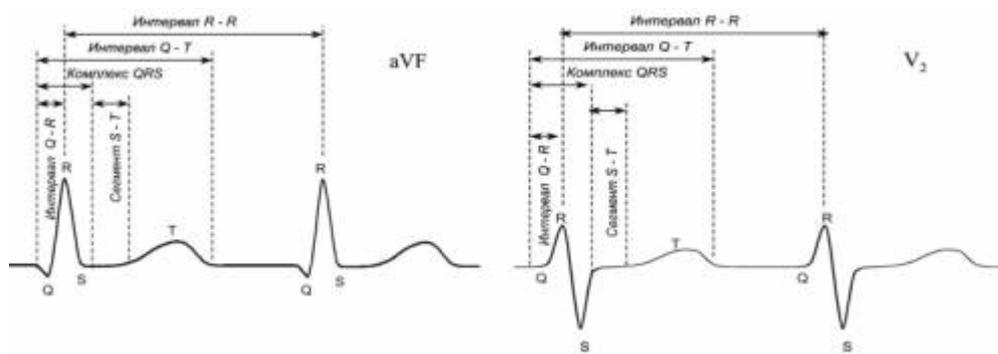
Исследование спектральных характеристик нормальной электрокардиограммы (ЭКГ) [1] опирается на временной кардиологический ряд, представляющий собой изменение суммарного вектора электрических токов или электродвижущей силы (ЭДС) сердца. Однако в практике клинического анализа часто применяются отведения нормальной ЭКГ, являющиеся проекциями суммарного вектора ЭДС сердца на ортогональные фронтальную, горизонтальную и сагиттальную плоскости [2–6]. В практике чаще всего используются проекции на фронтальную плоскость — отведения I, II, III, aVR, aVL и aVF и горизонтальную плоскость — однополюсные грудные отведения V<sub>1-6</sub>. Примеры ЭКГ в отведениях, приведенные на рис. 1, взяты из монографии В. Л. Дощицина [2] и отражают проекции вектора ЭДС здоровой женщины в возрасте 42 лет.



**Рис. 1.** ЭКГ в различных отведениях здоровой женщины 42 лет

Существует научное мнение, подтвержденное практикой, что вышеозначенные проекции помогают более четко и точно выделить отдельные диагностические элементы, такие как комплекс QRS, сегмент ST, зубец T и др., и тем самым увеличить точность и достоверность диагноза заболевания [2, 5–9]. Таким образом, суммируя возможности спектрального анализа, наличия нормальных (эталонных) ЭКГ, регистрируемых в 12 общепринятых отведениях, можно достичь заметных результатов в решении этой задачи. Рассмотрим возможность реализации предлагаемой методики. Прежде всего исследуем наличие понятия «нормальная ЭКГ в различных отведениях».

У ряда авторов отмечены попытки обосновать, как должны выглядеть нормальные ЭКГ в отведениях. Например, у Дощицина В. Л. есть таблица, в которой представлены изменения комплекса QRS в зависимости от записи ЭКГ в различных отведениях. В справочнике для врачей-практиков [3] дана качественная модель нормальной ЭКГ в 12 отведениях, определяющая наличие или отсутствие в них отдельных элементов ЭКГ. У Хана М. Г. [4] приведены различные трансформации всех параметров ЭКГ, в том числе и нормальные. Проведя анализ источников по нормальным ЭКГ в различных отведениях и используя ЭКГ здоровых пациентов [2], сделаем попытку отобразить на рис. 2 несколько идеализированных нормальных ЭКГ в отведениях.



**Рис. 2.** Примеры идеализированной нормальной ЭКГ в отведениях aVF и V<sub>2</sub>

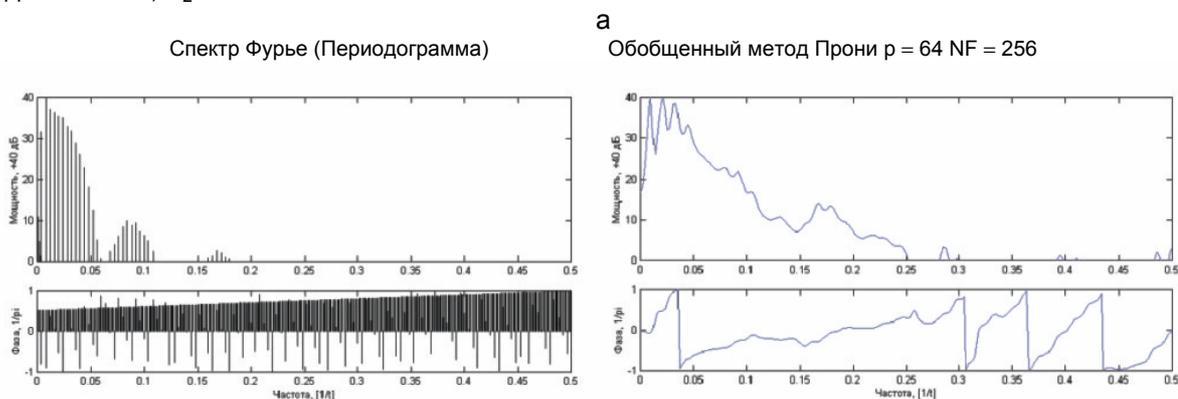
Проведем спектральный анализ ЭКГ указанных отведений у здоровой женщины [2] и идеализированных вариантов. В табл. 1 приведены соответствующие статистики кардиологических временных рядов, составленных на основе этих отведений.

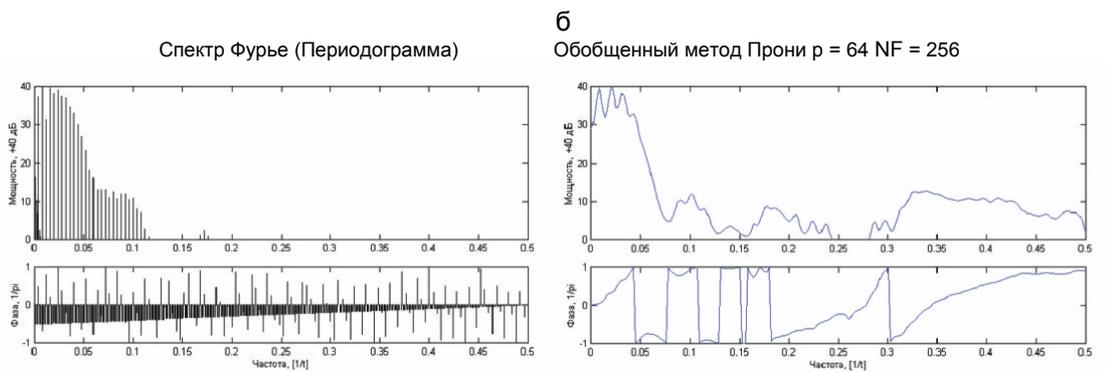
Таблица 1

**Статистические характеристики нормальной ЭКГ и ЭКГ здоровой женщины 42 лет в отведениях aVF, V<sub>2</sub>**

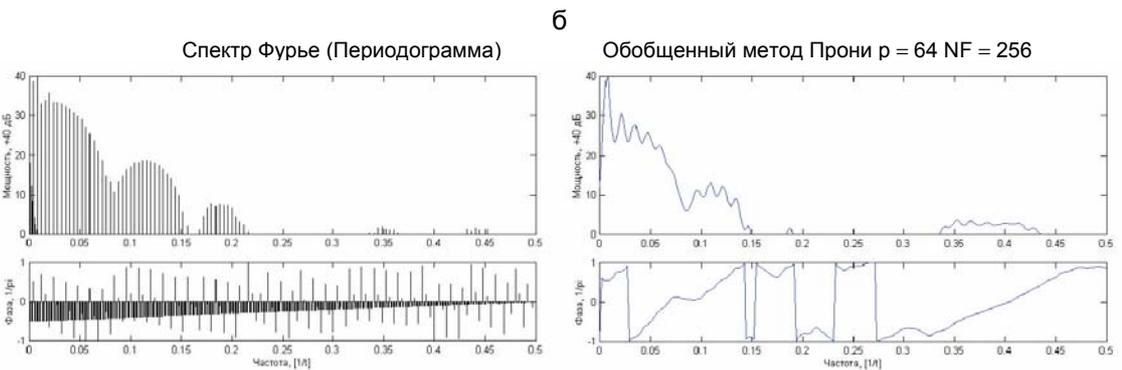
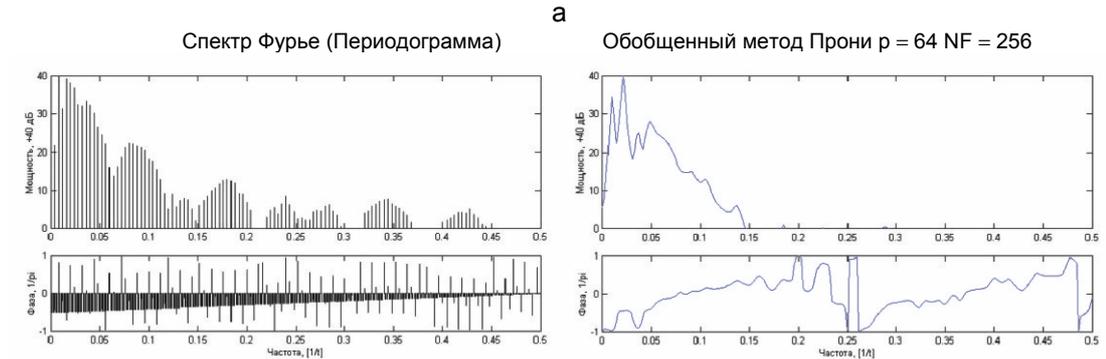
	Нормальная ЭКГ в отведениях		ЭКГ здоровой женщины 42 лет в отведениях	
	aVF	V <sub>2</sub>	aVF	V <sub>2</sub>
Количество точек	1000	1000	1000	1000
Минимальное значение	-0,231631	-1,047360	-0,235275	-1,020601
Максимальное значение	0,891809	0,645789	0,875759	0,288469
Диапазон	1,123421	1,693149	1,111035	1,309070
Среднее значение	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Стандартное отклонение (несмещенная оценка)	0,211767	0,242697	0,184619	0,213658
Стандартное отклонение (центрированная оценка)	0,211661	0,242576	0,184526	0,213551
Медиана	-0,105661	-0,029320	-0,070806	0,002143
Момент порядка 1	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Момент порядка 2	0,044800	0,058843	0,034050	0,045604
Момент порядка 3	0,023551	-0,021221	0,014904	-0,027696
Момент порядка 4	0,018815	0,031365	0,010686	0,026705
Момент порядка 5	0,014764	-0,022303	0,007405	-0,023334
Средний квадрат	0,044800	0,058843	0,034050	0,045604
Энтропия	Inf	Inf	Inf	Inf
Удельная энтропия	0,022400	0,029422	0,017025	0,022802

На рис. 3, 4 приведены спектральные характеристики, полученные на основе быстрого преобразования Фурье (БПФ) и метода Прони [1] нормальной ЭКГ и ЭКГ здоровой женщины 42 лет в отведениях aVF, V<sub>2</sub>.





**Рис. 3.** Спектральные характеристики нормальной ЭКГ в отведениях: а — aVF; б —  $V_2$



**Рис. 4.** Спектральные характеристики ЭКГ здоровой женщины 42 лет в отведениях: а — aVF; б —  $V_2$

Сравнительный анализ полученных данных говорит о том, что спектры отведений ЭКГ здоровых пациентов [2, 3] и приведенных на рис. 2 отличаются не значительно и в особенности в зоне предполагаемого влияния смещения ST-сегмента  $0,03$   $1/T$  Гц [1]. Предлагается ввести в практику исследований кардиологических временных рядов нормальные ЭКГ в отведениях, приведенные в табл. 2.

Таблица 2

**Временные ряды нормальной ЭКГ в отведениях aVF,  $V_2$**

№	aVF	$V_2$	№	aVF	$V_2$	№	aVF	$V_2$
1	0	0	20	0	0	39	-0,03906	0
2	0	0	21	0	0	40	-0,04688	0
3	0	0	22	0	0	41	-0,0625	0
4	0	0	23	0	0	42	-0,07813	0
5	0	0	24	0	0	43	-0,09375	0
6	0	0	25	0	0	44	-0,10156	0
7	0	0	26	0	0	45	-0,10938	0
8	0	0	27	0	0	46	-0,09375	0,002353
9	0	0	28	0	0	47	-0,07813	0,004706
10	0	0	29	0	0	48	-0,01563	0,007059
11	0	0	30	0	0	49	0	0,009412
12	0	0	31	0	0	50	0,078125	0,011765
13	0	0	32	0	0	51	0,15625	0,023529
14	0	0	33	0	0	52	0,234375	0,035294
15	0	0	34	0	0	53	0,3125	0,047059
16	0	0	35	0	0	54	0,390625	0,058824
17	0	0	36	-0,00781	0	55	0,46875	0,094118
18	0	0	37	-0,01563	0	56	0,546875	0,117647
19	0	0	38	-0,03125	0	57	0,625	0,176471

№	aVF	V <sub>2</sub>	№	aVF	V <sub>2</sub>	№	aVF	V <sub>2</sub>
58	0,78152	0,270588	123	0,020313	0,003529	188	0,1875	0,272941
59	0,859375	0,329412	124	0,021875	0,004706	189	0,179688	0,270588
60	0,9375	0,352941	125	0,023438	0,005882	190	0,171875	0,258824
61	0,96875	0,411765	126	0,026563	0,007059	191	0,15625	0,247059
62	1	0,505882	127	0,03125	0,008235	192	0,140625	0,235294
63	0,992188	0,529412	128	0,035938	0,009412	193	0,125	0,211765
64	0,984375	0,588235	129	0,040625	0,010588	194	0,109375	0,188235
65	0,9375	0,635294	130	0,046875	0,011765	195	0,09375	0,176471
66	0,859375	0,647059	131	0,05	0,014118	196	0,085938	0,152941
67	0,78125	0,670588	132	0,053125	0,016471	197	0,078125	0,141176
68	0,703125	0,658824	133	0,05625	0,018824	198	0,070313	0,117647
69	0,625	0,611765	134	0,059375	0,021176	199	0,0625	0,105882
70	0,59375	0,529412	135	0,0625	0,023529	200	0,046875	0,094118
71	0,546875	0,411765	136	0,070313	0,029412	201	0,039063	0,082353
72	0,46875	0,294118	137	0,078125	0,035294	202	0,03125	0,070588
73	0,359375	0,117647	138	0,085938	0,041176	203	0,023438	0,058824
74	0,28125	-0,03529	139	0,089063	0,043529	204	0,020313	0,047059
75	0,234375	-0,11765	140	0,09375	0,047059	205	0,015625	0,035294
76	0,171875	-0,29412	141	0,101563	0,052941	206	0,0125	0,029412
77	0,09375	-0,41176	142	0,109375	0,058824	207	0,009375	0,023529
78	0,046875	-0,52941	143	0,117188	0,064706	208	0,00625	0,018824
79	0,015625	-0,70588	144	0,125	0,070588	209	0,003125	0,014118
80	0	-0,76471	145	0,140625	0,082353	210	0	0,011765
81	0	-0,88235	146	0,148438	0,088235	211	0	0,009412
82	0	-0,94118	147	0,15625	0,094118	212	0	0,007059
83	0	-1	148	0,164063	0,1	213	0	0,004706
84	0	-0,97647	149	0,170313	0,105882	214	0	0,002353
85	0	-0,94118	150	0,171875	0,117647	215	0	0
86	0	-0,82353	151	0,179688	0,129412	216	0	0
87	0	-0,70588	152	0,1875	0,135294	217	0	0
88	0	-0,58824	153	0,195313	0,141176	218	0	0
89	0	-0,47059	154	0,201563	0,152941	219	0	0
90	0	-0,35294	155	0,203125	0,158824	220	0	0
91	0	-0,29412	156	0,210938	0,164706	221	0	0
92	0	-0,17647	157	0,21875	0,176471	222	0	0
93	0	-0,14118	158	0,226563	0,188235	223	0	0
94	0	-0,10588	159	0,232813	0,194118	224	0	0
95	0	-0,09412	160	0,234375	0,2	225	0	0
96	0	-0,07059	161	0,2375	0,205882	226	0	0
97	0	-0,05882	162	0,240625	0,211765	227	0	0
98	0	-0,04706	163	0,24375	0,223529	228	0	0
99	0	-0,03529	164	0,246875	0,229412	229	0	0
100	0	-0,02941	165	0,25	0,235294	230	0	0
101	0	-0,02353	166	0,253125	0,241176	231	0	0
102	0	-0,02118	167	0,25625	0,247059	232	0	0
103	0	-0,01882	168	0,259375	0,258824	233	0	0
104	0	-0,01529	169	0,2625	0,264706	234	0	0
105	0	-0,01176	170	0,265625	0,270588	235	0	0
106	0	-0,00941	171	0,26875	0,272941	236	0	0
107	0	-0,00706	172	0,271875	0,275294	237	0	0
108	0	-0,00471	173	0,275	0,277647	238	0	0
109	0	-0,00235	174	0,278125	0,282353	239	0	0
110	0	0	175	0,28125	0,284706	240	0	0
111	0	0	176	0,28125	0,287059	241	0	0
112	0	0	177	0,28125	0,289412	242	0	0
113	0	0	178	0,28175	0,291765	243	0	0
114	0	0	179	0,28125	0,292941	244	0	0
115	0	0	180	0,28125	0,294118	245	0	0
116	0,003125	0	181	0,273438	0,291765	246	0	0
117	0,00625	0	182	0,265625	0,289412	247	0	0
118	0,009375	0	183	0,257813	0,287059	248	0	0
119	0,0125	0	184	0,25	0,284706	249	0	0
120	0,015625	0	185	0,234375	0,282353	250	0	0
121			186					
122	0,017188	0,001176	187	0,21875	0,278824			
	0,01875	0,002353		0,203125	0,276471			

Примечание. Каждый отсчет через 0,004 сек.

### Литература

1. Цибульский В. Р., Сергейчик О. И., Кузнецов В. А. Исследование зависимости частотных характеристик электрокардиограмм от изменения сегмента ST // Вестн. кибернетики. Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 2002. Вып. 1. 164 с.
2. Доцицин В. Л. Клинический анализ электрокардиограммы. М.: Медицина, 1982. 208 с.
3. Клиническая электрокардиография / Пер. с англ. С. А. Повзуна. Под общ. ред. В. П. Медведева. СПб.: Питер, 2001. 384 с. (Серия «Краткий справочник»).
4. Хан М. Г. Быстрый анализ ЭКГ / Пер. с англ. СПб.; М.: «Невский диалект», Изд-во БИНОМ, 1999. 286 с.
5. Чернов А. З., Кечкер М. И. Электрокардиографический атлас. М.: Медицина, 1979. 344 с.
6. Мурашко В. В., Струтынский А. В. Электрокардиография. Учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Медицина, 1991. 288 с.

7. Никифоров П. Л. Модель электрокардиографического сигнала на основе совокупности колокольных импульсов // Вестн. молодых ученых. Сер. Техн. н.(Ru). 1998. № 1. С. 64–68.
8. EGG changes in asymptomatic healthy males. Indian J. Physiol. and Pharmacol. (IN) 1994. 38, № 1. P. 65–66.
9. *Heart disease: A textbook of cardiovascular medicine* / [edited by] Eugene Braunwald. 5th ed. W. B. Saunders Company. 1997. С. 1996.

**V. R. Tsibulsky, O. I. Sergejchik, A. Yu. Rychkov, L. N. Kopylova**

### **SPECTRAL ANALYSIS OF NORMAL ROUTINE ELECTROCARDIOGRAMS**

*The article suggests using normal routine electrocardiograms in spectral analysis of cardiological time series. The authors undertook an attempt of putting an idealized normal routine electrocardiogram into research practice. The paper shows that its essential statistics and amplitude spectrums compared with those of a healthy person differ insignificantly.*