

ПОВЫШЕНИЕ КОРРЕКТНОСТИ ОЦЕНКИ ИНДЕКСА НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ МОНИТОРИНГЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ОРГАНИЗМА

Алдонин Г.М. ald@rtf.kgtu.runnet.ru, Желудько С.П. zheludko@trk7.ru
Сибирский федеральный университет, Институт инженерной физики и радиоэлектроники
г. Красноярск

Рассматривается влияние нестационарности кардиоритма на достоверность статистических оценок функционального состояния организма. Предлагается методика повышения достоверности оценки индекса напряжения регуляторных систем Р.М. Баевского на основе метода максимального правдоподобия. Методика предназначена для применения при длительном мониторинге индекса напряжения.

Так как кардиоритм (КР) имеет как периодические, так и непериодические составляющие, для выявления этой информации необходимы алгоритмы анализа динамики структуры кардиоритма, которые включают динамический ряд индекса напряжения Р. М. Баевского [1]. Динамический ряд плотности распределения отражает перестройку гомеостаза под влиянием эндогенных и экзогенных факторов в виде ваготонической и симпатотонической реакции.

Для корректной оценки динамики необходимо найти эффективный квазистационарный интервал разбиения вариационного ряда, в пределах которого мы можем найти наиболее достоверную оценку. Это возможно с помощью применения метода наименьших квадратов (МНК).

Поскольку КР является нестационарным процессом, то при его анализе требуется корректное использование статистических оценок, основанных на усредненных данных. Нестационарность КР сильно влияет на достоверность статистических оценок (функционального состояния организма) ФСО, например, на оценку популярного в медицинских исследованиях индекса напряжения (ИН) регуляторных систем Р. М. Баевского, ограничивая достоверность его определения минутными интервалами наблюдения. При мониторинге ФСО в системах холтеровского типа ИН может быть не только не точным, но даже неправильным, особенно при изменении функционального состояния.

Неоднозначность ИН видна на примере реальных записей, представленных на рис. 1.

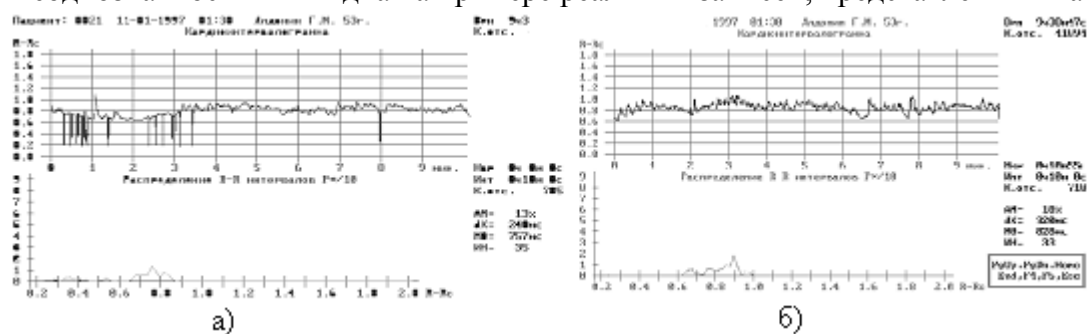


Рис. 1. Кардиоинтервалограмма пациента при действии физической нагрузки (а) и кардиоинтервалограмма пациента в покое (б).

Примерно при одном и том же значении ИН (35 и 33), наблюдаем совершенно различные функциональные состояния – стресса при физической нагрузке и состояния покоя. Чтобы исключить такую неоднозначность предлагается следующая методика определения оптимального интервала разбиения кардиоинтервалограммы (КИГ) на основе среднеквадратической сходимости вычисления ИН по МНК [2].

На рис. 2 приведены примеры нахождения интервалов эффективного разбиения с использованием итерационной процедуры МНК – определения дисперсии индекса напряжения в зависимости от числа интервалов, на которые разбит вариационный ряд.

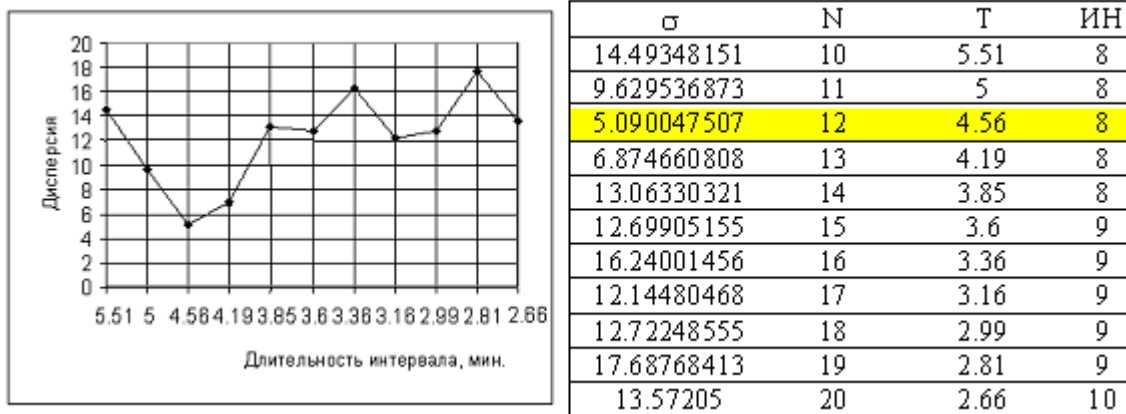


Рис. 2. Нахождение интервалов эффективного разбиения по МНК.

С этой целью зададим переменный ряд числа разбиений N всего времени наблюдения и вычислим дисперсию D значений ИН для каждого разбиения T_i . Обработка результатов по МНК показывает наличие явных экстремумов в зависимости дисперсии индекса напряжения от количества интервалов разбиений в которых оценка ИН будет максимально правдоподобной.

Например, на рис. 2 наиболее эффективным разбиением КИГ будет разбиение с интервалом 4.31 мин, при этом дисперсия индекса напряжения относительно максимальной уменьшается в 4.5 раза, при разбиении с интервалом 4.56 мин, дисперсия индекса напряжения относительно максимальной уменьшается в 3.6 раза.

Более корректной является процедура оценки дисперсии ИН с использованием скользящего среднего и его оценка по МНК. Сглаживание по методу скользящего среднего

$$X_i = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k X_{i+j-1}$$

Алгоритм разбиения КИГ на квазистационарные интервалы для максимально правдоподобной оценки ИН приведен на рис. 3.

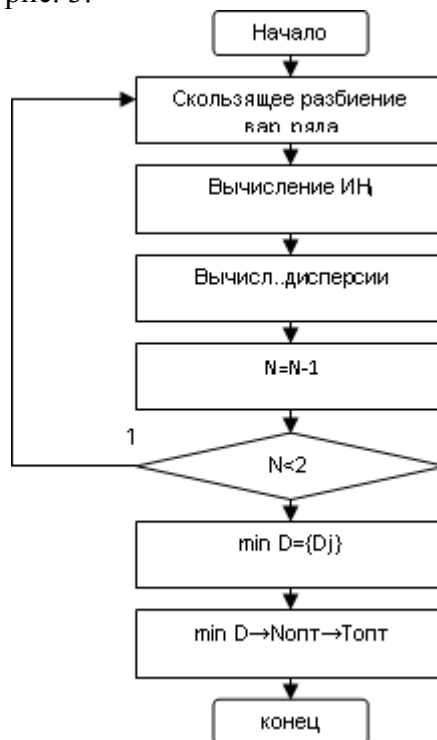


Рис. 3. Алгоритм разбиения КИГ на квазистационарные интервалы для максимально правдоподобной оценки ИН.

Для определения дисперсии (D) ИН в зависимости от временного интервала построим таблицы, значений ИН вычисляем по 2-х, 3-х, 4-х, 5-ти, 6-ти, 8-ми, 9-ти-минутному интервалу в течение 30 минут на примере двух пациентов. Пример расчета приводится для двухминутного интервала для одного из пациентов (таблица 1). Аналогично строятся таблицы для остальных интервалов и для пациента №2. На рис. 4, б представлены кривые дисперсии вычисления ИН при разбиении кардиоинтервалограмм по 2-х, 3-х, 4-х, 5-ти, 7-ми, 6-ти, 8-ми, 9-ти минутным интервалам в течение 30 минут, методом скользящего среднего.

Таблица 1. Значения ИН на разных интервалах измерений

Интервал, мин.	АМ, %	ΔX , %	МО, мс	ИН	$x_i - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$
с 1 по 3	34	180	712	132	5,16E+03
с 2 по 4	22	200	774	71	117,878
с 3 по 5	24	200	828	72	140,592
с 4 по 6	28	180	828	93	1,08E+03
с 5 по 7	18	200	783	57	9,878
с 6 по 8	19	240	792	49	124,163
с 7 по 9	30	200	810	92	1,02E+03
с 8 по 10	28	180	810	95	1,22E+03
с 9 по 11	20	240	810	51	83,592
с 10 по 12	14	220	810	39	447,02
с 11 по 13	18	320	828	33	736,735
с 12 по 14	26	200	819	79	355,592
с 13 по 15	21	260	819	49	124,163
с 14 по 16	18	300	810	37	535,592
с 15 по 17	22	220	810	61	0,735
с 16 по 18	14	280	801	31	849,306
с 17 по 19	15	360	801	25	1,24E+03
с 18 по 20	13	320	801	25	1,24E+03
с 19 по 21	21	260	801	50	102,878
с 20 по 22	21	180	801	72	140,592
с 21 по 23	22	180	801	76	251,449
с 22 по 24	14	340	801	25	1,24E+03
с 23 по 25	20	240	801	51	83,592
с 24 по 26	21	220	801	59	1,306
с 25 по 27	19	240	801	49	124,163
с 26 по 28	19	200	801	59	1,306
с 27 по 29	20	200	801	62	3,449
с 28 по 30	26	180	801	90	891,449
Всего	587	6540	22456	1684	1,72E+04
D					637,037

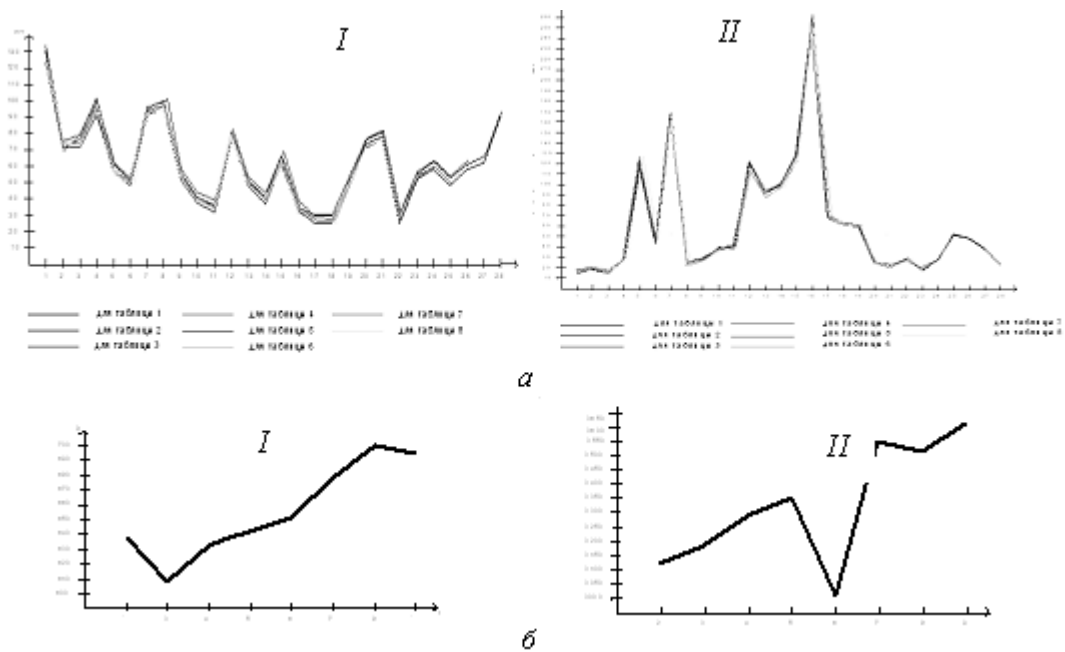


Рис. 4. Графики ИН при разных интервалах усреднения (а) и кривые дисперсии вычисления ИН (б) для 1-го (I) и 2-го пациента (II).

Экспериментальные данные оценки индекса напряжения по предлагаемому алгоритму проводились на кафедре психотерапии.



Рис. 5. Кардиоинтервалограмма пожилого мужчины.

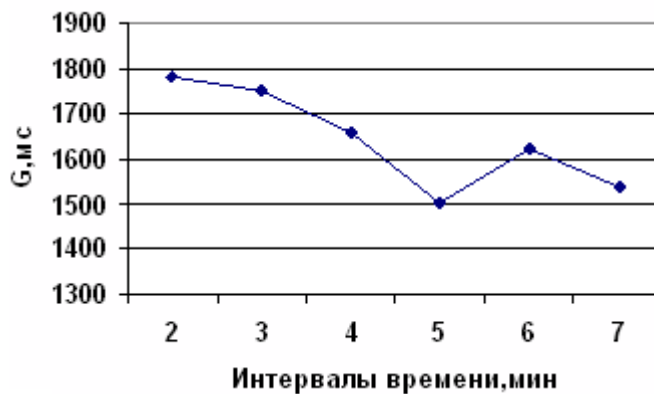


Рис. 6. Кривая вычисления σ ИН.

Данные экспериментальных исследований показывают, что 5-ти-минутный интервал является самым оптимальный по МНК интервал разбиения КИГ, т.к. имеет наименьшее среднеквадратическое отклонение $\sigma_{\tau}=1503$.

Пациент: 0014 28-08-1996 12:50 edik
Кардиоинтервалограмма

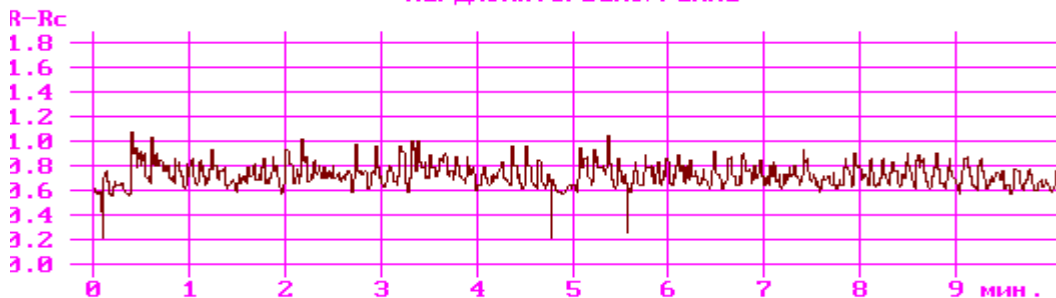


Рис. 7. Кардиоинтервалограмма 25-тилетнего мужчины.

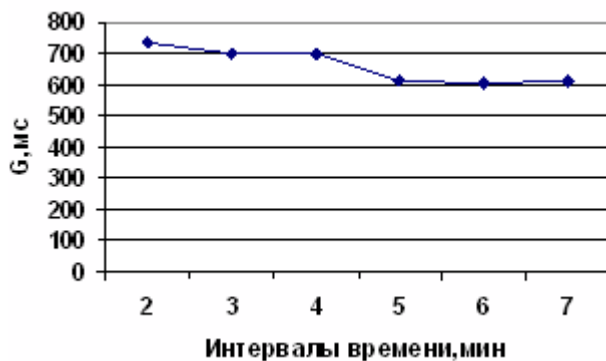


Рис. 8. Кривая вычисления σ ИН.

В результате можно сказать, что 6-ти-минутный интервал является самым оптимальный по МНК интервал разбиения КИГ, т.к. имеет наименьшее среднеквадратическое отклонение $\sigma_6=608$.

Пациент: 0009 14-04-2008 13:20 Volchenko, 21год
Кардиоинтервалограмма

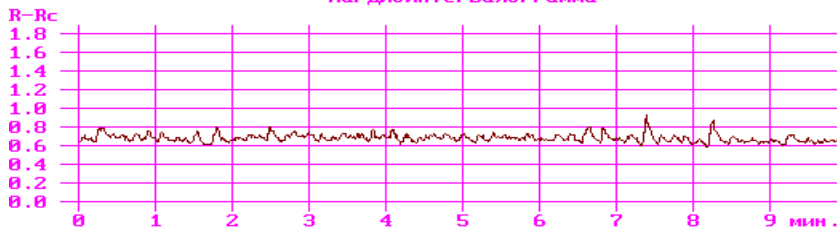


Рис. 9. Кардиоинтервалограмма девушки больной астмой в спокойном состоянии.

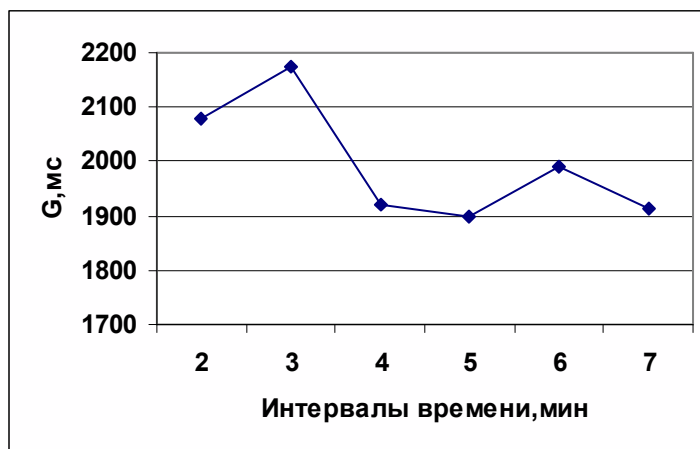


Рис. 10. Кривая вычисления σ ИН.

Приведенная выше процедура оценки ИН по МНК должна использоваться при мониторинге для повышения достоверности оценки ФСО, путем определения оптимального по МНК интервала вычисления ИН в реальных исследованиях, индивидуальна для каждого пациента и в зависимости от ситуации.

Так как, длительное напряжение регуляторных механизмов ведет к развитию донозологических состояний, когда организм для выполнения стандартной деятельности должен расходовать значительно больше функциональных резервов, чем обычно. В дальнейшем возникает перенапряжение и истощение регуляторных механизмов с развитием преморбидных состояний и различных патологических отклонений.

Выводы

Предлагаемая процедура повышения корректности оценки индекса напряжения Баевского делает возможным его использование при длительном мониторинге ФСО. Аналогичная процедура повышения достоверности по ММП с помощью МНК может быть применена и другим статистическим характеристикам КР.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баевский Р.М. Современное состояние исследований по variability сердечного ритма в России / Р.М. Баевский, Г.Г. Иванов, Г.В. Рябыкина // Компьютерная электрокардиография на рубеже столетий: Материалы Международного симпозиума. – М. – 1999. – С. 21–25.
2. Алдонин Г.М. Робастность в природе и технике. – М.: Радио и связь, 2003.