

УДК 612.16:517

ВЗАИМОСВЯЗЬ ЛИНЕЙНЫХ И НЕЛИНЕЙНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЕРДЕЧНОГО РИТМА

Койчубеков Б.К.

*Карагандинская государственная медицинская академия,
Караганда, Казахстан*

Механизмы «хаотической» составляющей в динамике сердечного ритма недостаточно еще ясны и была предпринята попытка выявить их на основе совместного анализа линейных и нелинейных показателей. Показано, что коэффициент корреляции между этими показателями не превышает 0,5. Высказано предположение, что нерегулярные изменения сердечного ритма являются проявлением избирательного усиления одних и подавления других периодических процессов в динамике кардиоритма, как результат различных регуляторных влияний.

Ключевые слова: сердечный ритм, нелинейный анализ, теория детерминированного хаоса.

Статистические и спектральные характеристики сердечного ритма (СР) изучены достаточно подробно, и они широко используются физиологами для оценки состояния вегетативного баланса. Вместе с тем в последнее время для описания «хаотической» динамики физиологических процессов активно внедряются нелинейные математические методы анализа. Поскольку механизмы аperiodических изменений сердечного ритма не нашли еще своего полного обоснования является целесообразным дать интерпретацию нелинейным характеристикам СР на основе анализа их корреляционных взаимосвязей с линейными показателями.

Материалы и методы. Всего было записано 218 кардиоинтервалограмм у лиц в возрасте от 8 до 56 лет. Исследовались корреляционные отношения между традиционными математическими показателями сердечного ритма - ЧСС, СКО, AM_0 , ИИ, SDNN, RMSSD, TP, HF, LF, VLF, LF/HF [1] и нелинейными показателями СР (энтропийные показатели матрицы взаимных переходов R-R интервалов - $H(M)$, $H(D)$, $H(T)$, $H(\Delta)$, $H(M/D)$, $H(T/\Delta)$ [2], корреляционная размерность (D_2), корреляцион-

ная энтропия (K_2) [3], показатель Ляпунова (λ) [5].

Результаты и их обсуждение. Все обследованные лица были разделены по значению индекса напряжения (степени активности симпатической нервной системы (СНС): с ИИ < 25 (резкое снижение активности СНС); с ИИ от 25 до 50 (пониженная активность СНС); с ИИ от 50 до 150 (нормальная активность СНС); с ИИ от 150 до 400 (повышенная активность СНС); с ИИ от 400 до 800 (резкое повышение активности СНС), соответственно. На рисунке 1 представлены корреляционные плеяды для 5 групп. Показаны статистически достоверные связи.

В первой группе энтропия матрицы в целом, а также энтропия эрго- и трофотропных влияний напрямую связаны с показателями СКО, RMSSD, ЧП и имеют реципропную связь с ИИ. Энтропия диагонали матрицы $H(D)$ находится в обратной зависимости с СКО и RMSSD. В последующих двух группах, по мере усиления активности симпатического компонента ВНС, ослабевает связь энтропии матрицы с частотой пульса и RMSSD, и выявляются отрицательные корреляции

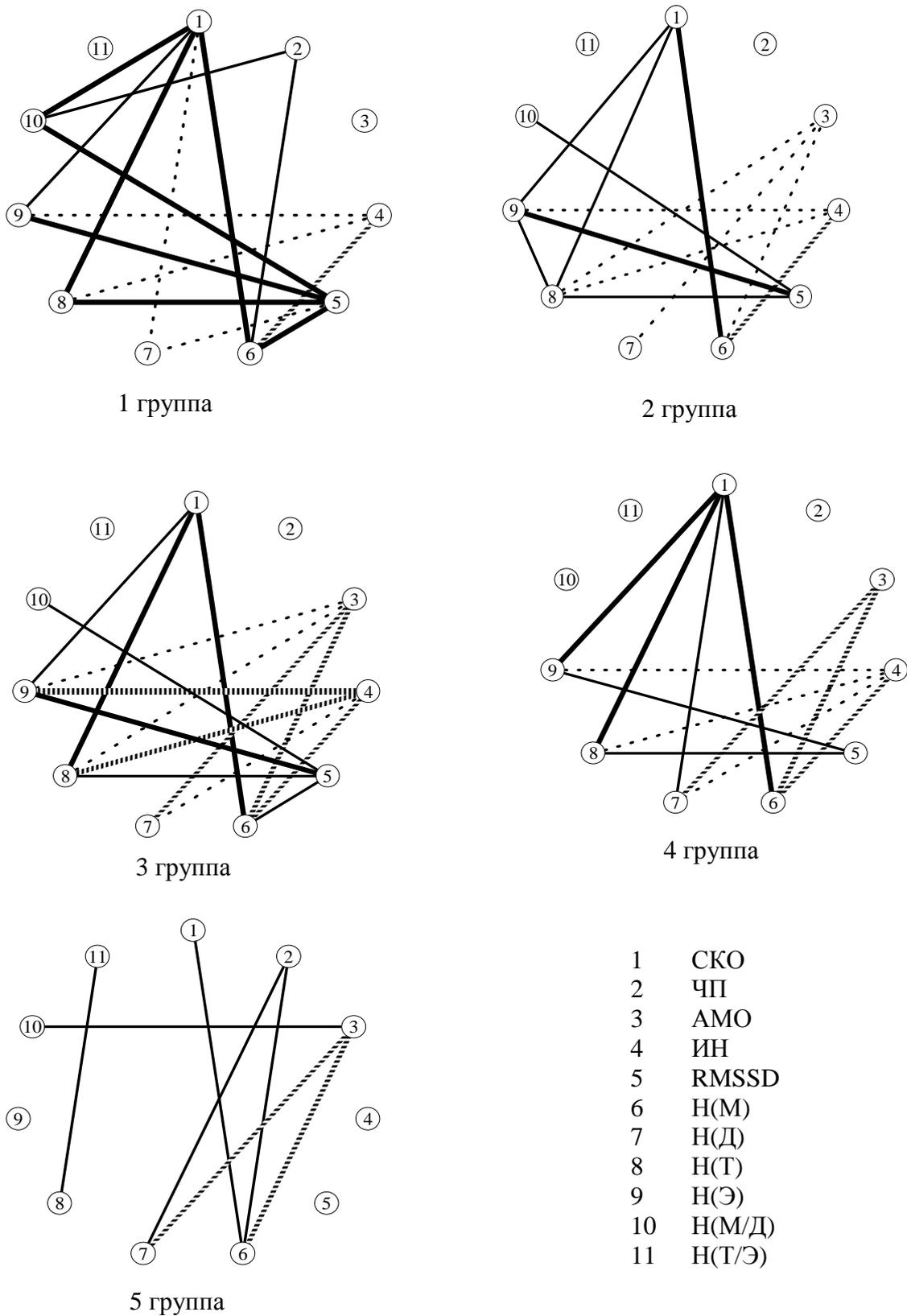


Рис. 1. Корреляционные взаимосвязи в различных группах

энтропийных показателей с амплитудой моды (AM_O).

Четвертая группа характеризуется определенным уровнем напряжения в механизмах регуляции СР, поскольку ИН превышает показатели функциональной нормы 50-150 условных единиц. Согласно графу корреляций общее количество средних и сильных связей в данной группе меньше, чем в предыдущих. Энтропия эрго- и тропотропных влияний связана с показателем $RMSSD$, а энтропия матрицы и ее диагонали с AM_O . Связи индекса напряжения подчинены прежней закономерности - т.е. имеют отрицательную корреляцию с энтропийными показателями элементов матрицы взаимных переходов R-R интервалов.

Баевский Р.М. отмечает, что индекс напряжения 400-600 регистрируется у лиц с постоянным напряжением регуляторных систем [4]. Представленный на рисунке граф для данной группы (5 группа) обеднен корреляционными отношениями. Показатели $H(M)$ и $H(D)$ положительно связаны с частотой пульса и отрицательно - с AM_O . Энтропия матрицы в целом коррелирует с показателем средне квадратичного отклонения вариационного ряда кардиоинтервалов.

Анализ полученных корреляционных плеяд указывает, что энтропия процесса регуляции сердечного ритма связана с активностью обеих отделов ВНС, участвующих в регуляции сердечного ритма. На всех графах выявлена связь энтропийных показателей со среднеквадратичным отклонением, в котором отражается как парасимпатическая, так и симпатическая регуляция сердечного ритма.

Резкое снижение активности симпатического звена ВНС приводит к преимущественным влияниям со стороны ПНС и показатель его активности ($RMSSD$) связан с мерой упорядоченности в организации вариационного ряда. При этом на влияния со стороны СНС указывают отрицательные корреляции с индексом напряжения, которые по своему значению меньше, чем уже отмеченные.

Усиление активности симпатического звена связано прежде всего со стабилизирующим эффектом и отражается в показателе AM_O . На графах корреляций 2 и 3 групп отмечается отрицательная корреляция этого показателя с энтропией всей матрицы и отдельных ее компонентов. В целом в данных группах можно отметить определенный баланс во влияниях обоих отделов ВНС на генерацию последовательности R-R интервалов.

Выраженное напряжение в системе, обеспечивающей вегетативный гомеостаз, характеризуется повышенной активностью сегментарного и надсегментарного отделов симпатической нервной системы. Как видно из графа корреляций для 5 группы, по сравнению с предыдущей, влияние парасимпатической нервной системы на организационную структуру кардиоинтервалограммы ослабевает. Энтропия матрицы определяется, в основном, энтропией ее диагонали, которая имеет достоверно высокую обратную связь со стабилизацией ритма.

Проведенные исследования показали, что энтропийные показатели матрицы взаимных переходов R-R интервалов связаны как с парасимпатическими, так и симпатическими влияниями на сердечный ритм. Напряжение в системе регуляции сердечного ритма отражается в энтропии диагонали матрицы, которая отрицательно коррелирует с амплитудой моды вариационного ряда кардиоинтервалов.

В табл.1 представлены коэффициенты корреляции линейных показателей СР с корреляционной размерностью, корреляционной энтропией и показателем Ляпунова, полученные по различным возрастным группам. Во всех возрастных группах корреляционная размерность и корреляционная энтропия слабо коррелируют с представленными линейными показателями. Можно лишь отметить, что в третьей возрастной группе связь D_2 с $RMSSD$ обратная на уровне $r=-0,42$.

Таблица 1. Корреляции между линейными и нелинейными показателями

Возр.гр	Показатель	<i>ЧСС</i>	<i>SDNN</i>	<i>RMSSD</i>	<i>TP</i>	<i>HF</i>	<i>LF</i>	<i>VLF</i>	<i>LF/HF</i>
1	<i>D₂</i>	-0,22	0,06	0,20	0,06	0,11	0,15	-0,17	-0,24
	<i>K₂</i>	-0,08	-0,09	-0,04	-0,06	-0,03	-0,03	-0,28	-0,10
	<i>l</i>	-0,49	0,31	0,54	0,42	0,55	0,32	-0,07	-0,61
2	<i>D₂</i>	0,04	0,15	0,17	0,15	0,22	0,11	-0,05	-0,21
	<i>K₂</i>	-0,10	-0,07	-0,03	-0,10	-0,01	-0,12	-0,07	-0,12
	<i>l</i>	-0,04	-0,14	0,04	-0,12	-0,05	-0,22	-0,08	-0,08
3	<i>D₂</i>	0,27	-0,36	-0,42	-0,19	-0,36	-0,19	-0,10	0,11
	<i>K₂</i>	0,21	-0,29	-0,22	-0,22	-0,20	-0,19	-0,18	0,05
	<i>l</i>	0,55	-0,44	-0,37	-0,49	-0,43	-0,59	-0,48	-0,34
4	<i>D₂</i>	-0,30	-0,09	-0,01	-0,07	-0,06	-0,10	0,04	-0,37
	<i>K₂</i>	-0,15	0,02	-0,01	0,07	0,03	0,13	0,04	-0,09
	<i>l</i>	0,15	-0,03	0,21	0,04	0,19	-0,16	-0,19	-0,23
5	<i>D₂</i>	-0,23	0,20	0,18	0,25	0,37	0,34	0,18	-0,35
	<i>K₂</i>	-0,08	0,15	0,31	0,12	0,30	0,07	-0,08	-0,44
	<i>l</i>	0,29	-0,14	0,14	-0,17	0,17	-0,18	-0,18	-0,35

Показатель Ляпунова в 1 возрастной группе имеет коэффициент корреляции -0,49 с *ЧСС* и примерно 0,5 с *RMSSD*, *TP*, *HF*. Во второй возрастной группе таких корреляций не отмечается, а в третьей - связь меняется на противоположную. В последующих группах вновь выявляются низкие корреляции с линейными показателями.

Важнейшим показателем состояния вегетативной нервной регуляции сердечно-сосудистой системы является баланс между симпатическим и парасимпатическим отделами ВНС. Это баланс может быть оценен по спектральной характеристике. Амплитуда высокочастотной компоненты спектра (в диапазоне от 0.16 до 0.40 Гц) рассматривается как показатель вагусных влияний на СР, в то время как низкочастотная компонента variability СР считается маркером симпатической активности.

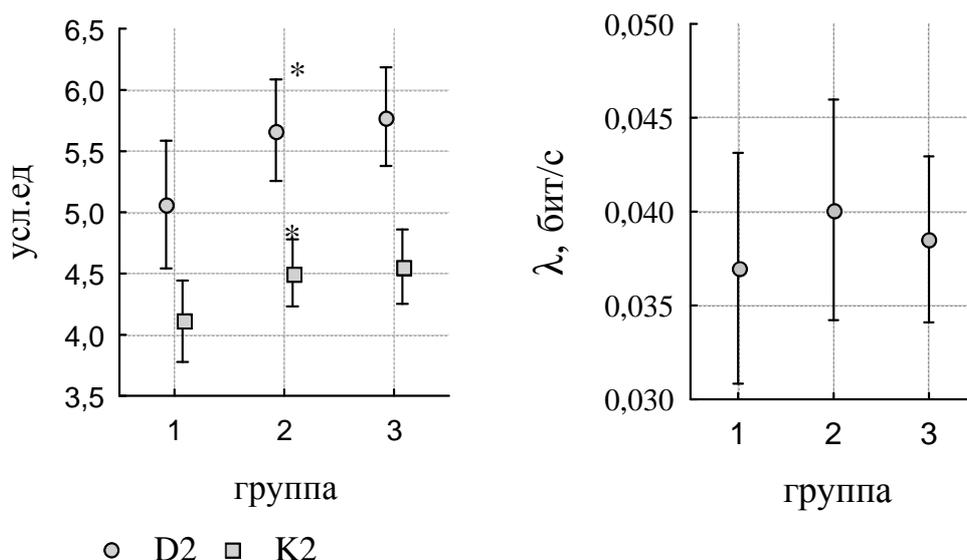
Соответственно, соотношение между мощностью высокочастотных и низкочастотных волн спектральной характеристики кардиоинтервалограммы (*LF/HF*) представляется индексом вагусно-симпатического взаимодействия, или вегетативного баланса.

Среди обследованных нами были выделены три группы по показателю *LF/HF*. В первую группу вошли лица со значительным преобладанием активности симпатической нервной системы (СНС), во вторую группу – лица, у которых наблюдается вегетативный баланс в регуляции сердечного ритма, в третьей группе баланс сдвинут в сторону преобладания парасимпатических влияний (средние значения в каждой группе приведены в табл.2).

Значения корреляционной размерности и энтропии в этих группах показаны на рис.2.

Таблица 2. Среднегрупповые значения нелинейных показателей

Группа	n	LF/HF	D_2	K_2	λ
		$M \pm m$	$M \pm m$	$M \pm m$	$M \pm m$
1 группа	30	3,474±0,325	5,063±0,245	4,110±0,156	0,037±0,003
2 группа	30	1,130±0,049	5,671±0,202	4,506±0,134	0,040±0,003
3 группа	30	0,514±0,041	5,782±0,195	4,556±0,147	0,039±0,002

**Рис. 2.** Нелинейные характеристики сердечного ритма

Видно, что при значительном сдвиге вегетативного баланса в сторону активности симпатического отдела (первая группа), корреляционная размерность и энтропия достоверно меньше, чем при сохранении баланса (вторая группа). Это еще раз подтверждает тот факт, что центральные влияния упрощают динамику сердечного ритма, т.е. он становится более регулярным. Но различия этих показателей между второй и третьей группой выявлены не были, при том, что отношение LF/HF в этих группах отличается более чем в два раза. Т.е. сдвиг вегетативного баланса в сторону парасимпатического отдела не приводит к росту «хаотичности» в последовательности R-R-интервалов.

Показатель Ляпунова, являющийся основной характеристикой нелинейных

систем, в выделенных группах достоверно не отличался.

Таким образом, изменения нелинейных показателей нельзя объяснить только одним механизмом и только лишь на основе корреляционных связей с линейными показателями, которые отражают периодические процессы в динамике сердечного ритма. Одним из важнейших параметров саморегулирующихся систем следует считать внутреннюю синхронизацию различных процессов друг с другом за счет их функциональных взаимосвязей. Однако эти связи имеют сложные многозвенные переходы, которые могут приводить к нелинейным эффектам. Избирательное усиление одних периодических процессов и подавление других, возможно, и проявляется в виде нерегулярных,

апериодических изменений активности физиологических функций организма.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Баевский Р.М., Иванов Г.Г., Чирейкин В.В. и др. Анализ variability сердечного ритма при использовании различных кардиографических систем (методические рекомендации) / Вестник аритмологии, №24. – 2001.- С. 65-87.

2. Койчубеков Б.К. Энтропийные показатели кардиоинтервалограммы в различных возрастных группах // Известия НАН РК, Серия биологическая и меди-

цинская. - №3 (255), 2006. - С. 56-59.

3. Эйдукайтис А., Варонекас Г., Жемайтис Д. Применение теории хаоса для анализа сердечного ритма в различных стадиях сна у здоровых лиц. // Физиология человека. – 2004. – Т. 30, № 5.- С. 56-62.

4. Баевский Р.М., Берсенева А.П. Оценка адаптационных возможностей организма и риска развития заболеваний.- М.: Медицина, 1997.– С.235

5. Kantz H. A robust method to estimate the maximal Lyapunov exponent of a time series // Physics Letters, - 1994.- V.185.- P77-87.

RELATIONS BETWEEN LINEAR AND NON-LINEAR PARAMETERS OF HEART RATE VARIABILITY

Koichubekov B.K.

Karaganda State Medical Academy

Karaganda, Kazakhstan Republic

Mechanisms of “chaotic” component in HRV dynamics still not clear and trying to find out them based onto combined analysis of linear and non-linear parameters was attempted. Shown that the correlation coefficient of these parameters not greater than 0.5. Proposed that irregular changes of HRV are manifestation of chosen amplifying of ones and suppression of the others periodical processes in HRV dynamics as a result of different regulatory influences.

Key words: warm rhythm, the nonlinear analysis, the theory of the determined chaos.