

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ ВЕГЕТАТИВНОГО БАЛАНСА ПРИ СПЕКТРАЛЬНОМ АНАЛИЗЕ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА

Тверской кардиологической диспансер, Тверь

Проведено сравнение результатов спектрального анализа variability сердечного ритма, полученных с использованием восьми способов расчета у 38 больных, перенесших острый инфаркт миокарда.

Ключевые слова: variability сердечного ритма, спектральный анализ, вегетативный баланс.

The data of spectral analysis of the heart rate variability using eight methods of calculation are compared in 38 patients with prior myocardial infarction.

Key words: heart rate variability, spectral analysis, sympato-parasympathetic balance

В оценке состояния вегетативной нервной системы (ВНС) достаточно широко используются математические методы анализа variability сердечного ритма (ВСР). При этом наиболее часто встречаются сообщения о применении частотных (спектральных) способов, позволяющих оценить волновую структуру ритма сердечной деятельности [2, 3, 5-15]. Показана связь низко- и высокочастотных колебаний сердечного ритма с состоянием того или иного отдела ВНС [2, 3, 6-14]. Однако со времени первого описания способа [13] и до настоящего времени большинство авторов отмечают определенные трудности как в выделении спектральных областей [5, 7, 10, 11], так и в интерпретации получаемых результатов [3, 6, 13]. Поэтому целью исследования явилось изучение особенностей построения спектральных характеристик с использованием различных математических способов и оценка их влияния на получаемые в конечном итоге результаты.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Обследовано 38 больных (30 мужчин и 8 женщин) в возрасте 42-58 лет (в среднем $48,8 \pm 4,2$ года), перенесших в ближайшее время (в среднем спустя $1,3 \pm 0,1$ мес) крупноочаговый инфаркт миокарда и находящихся на амбулаторном этапе реабилитации. Критерием отбора служило отсутствие у них в последнее время приступов стенокардии и клинических проявлений сердечной недостаточности.

Всем больным проводилось изучение ВСР спектральным способом по коротким (5-мин) реализациям ЭКГ. Для построения спектра и последующей оценки частотных характеристик использовались описанные в литературе математические способы [1, 4]. Наряду с традиционными - периодограммным (способ 1) и коррелограммным (способ 2), применяли менее известные методы - авторегрессионный Юла-Уолкера (способ 3), авторегрессионный Берга (способ 4), ковариационный (способ 5), ковариационный модифицированный [4] (способ 6), метод скользящего среднего (способ 7) и вариант с изучением минимума дисперсии (способ 8). Полученные с помощью аппаратно-программного комплекса «КАД-03» (фирма «ДНКиК, г.Тверь») 5-мин реализации ЭКГ каждого пациента последовательно обрабатывались указанными методами. Оценка получаемых результатов по характерным спектральным обла-

стям проводилась по общепринятому способу [10, 11]. При этом изучались абсолютные значения (в m^2) общей мощности спектра (TF), мощности очень низких (VLF), низких (LF) и высоких (HF) частот, их нормализованные характеристики в области низких (LFn) и высоких (HFn) частот, а так же процентный вклад каждой из мощностей - очень низкочастотной (VLF%), низкочастотной (LF%) и высокочастотной (HF%) в общую мощность спектра. Баланс вегетативных влияний оценивали по соотношению низких и высоких частот спектра (LF/HF).

Все цифровые данные различных способов заносились вручную в электронную таблицу Exsel 7.0 с последующей обработкой с помощью прикладных статистических программ для Windows 98. По результатам многофакторного дисперсионного и корреляционного анализа рассчитывали корреляции отдельных показателей и строили корреляционную матрицу результатов всех восьми способов исследования. Достоверность различий коэффициентов корреляций определялась по критерию F многофакторного дисперсионного анализа.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исходя из средних по всем указанным способам данных, согласно общепринятым рекомендациям [11] оценивалась активность ВНС, которая характеризовалась преобладанием симпатической нервной системы (СНС) у 30 (78,9%) пациентов, у 6 (15,8%) больных превалировала парасимпатическая нервная система (ПНС), а в 2 (5,3%) случаях выявлено вегетативное равновесие. Средние данные по каждому отдельному показателю приведены в табл 1.

Как следует из представленных результатов, достоверных различий между указанными способами построения спектра не найдено, что косвенно может свидетельствовать о их равноценном значении в изучении ВНС. Вместе с тем размах колебаний каждого из изучаемых показателей оказался достаточно высоким. Так, VLF различалось между способами в 7 раз, LF - в 5,9 раз, HF - в 12,4 раза, TF - в 8,8 раз, LFn - в 1,63 раза, HFn - в 1,47 раза, отношение LF/HF - в 4,2 раза, VLF% - 1,6 раза, LF% - в 1,6 раза, HF% - 2,9 раза. Таким образом, причина отсутствия достоверных различий между отдельными показателями при разных способах их изу-

Таблица 1.

Средние значения изучаемых показателей вариабельности сердечного ритма при различных способах построения спектра ($M \pm m$)

Показатель	Среднее значение	Способ определения							
		1	2	3	4	5	6	7	8
VLF, мс ²	2060±280	1930±582	2196±687	2460±714	2338±705	2269±825	2949±936	998±247	1415±396
LF, мс ²	732±58	807±210	793±222	687±208	683±193	604±189	779±272	627±159	879±267
HF, мс ²	1283±57	1304±623	1272±605	1232±605	1270±604	1177±598	1202±621	1233±503	1582±781
TF, мс ²	4516±363	4904±1594	5107±1582	5200±1586	5137±1587	4893±1675	5794±1710	2654±1427	4638±1872
LFn, отн.ед	48,3±4,8	52,6±4,4	53,6±4,7	44,8±4,9	48,9±4,4	46,0±5,4	44,6±5,2	49,3±4,4	46,4±4,5
HFn, отн.ед	37,5±1,9	34,5±2,6	33,4±2,9	40,7±3,3	37,2±2,8	39,3±3,4	38,8±3,8	36,9±2,8	39,6±2,9
LF/HF, отн.ед	2,24±0,37	2,04±0,31	2,62±0,54	1,85±0,46	1,96±0,42	2,66±0,81	3,18±1,3	1,86±0,34	1,74±0,35
VLF (%)	52,5±2,1	48,0±5,1	51,0±5,5	57,1±5,8	55,1±5,6	57,3±5,8	56,6±5,9	46,3±4,2	48,7±5,2
LF (%)	20,0±1,5	23,3±3,4	22,3±2,6	17,3±2,6	18,3±2,4	17,2±2,7	18,0±3,0	22,8±1,9	21,3±2,5
HF (%)	19,4±0,9	20,2±1,2	18,9±3,4	18,0±3,4	18,7±3,3	17,9±3,4	17,6±3,5	21,8±3,0	21,7±3,4

чения кроется скорее всего не в однотипности изменений, а в существенной вариабельности получаемых результатов, что затрудняет сравнение средних значений параметров в оценке их значимости для последующего анализа состояния ВНС.

В табл. 2 представлены сравнения средних значений изучаемых показателей с их конкретными величинами, получаемыми каждым из 8 способов по данным корреляционного анализа. Как следует из приведенных данных, большинство корреляций оказалось достоверными. При этом наиболее выраженная корреляция имела по мощности HF выраженной в абсолютных единицах ($r=0,99$; $p<0,01$), HF% ($r=0,98$; $p<0,01$), VLF% ($r=0,96$; $p<0,05$), TF ($r=0,95$; $p<0,01$).

Корреляционные взаимосвязи остальных параметров оказались несколько ниже, но не опускались по значению коэффициента r менее 0,7, что может свидетельствовать о достаточно устойчивой общей корреляции этих параметров. Вместе с тем необходимо отметить,

Таблица 2.

Значения коэффициентов корреляции (r) по показателям вариабельности сердечного ритма, при различных способах построения спектральных характеристик.

Показатель	Способы определения показателей								среднее
	1	2	3	4	5	6	7	8	
VLF	0,88	0,91	0,92	0,92	0,87	0,83	0,61	0,87	0,85
LF	0,96	0,96	0,97	0,96	0,89	0,89	0,96	0,96	0,94
HF	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
TF	0,97	0,97	0,97	0,97	0,94	0,94	0,92	0,95	0,95
LFn	0,85	0,78	0,86	0,87	0,82	0,81	0,85	0,88	0,84
HFn	0,78	0,68	0,80	0,84	0,77	0,77	0,79	0,84	0,78
LF/HF	0,76	0,71	0,79	0,78	0,60	0,42	0,74	0,79	0,70
VLF%	0,96	0,96	0,97	0,98	0,96	0,97	0,92	0,97	0,96
LF%	0,88	0,86	0,93	0,92	0,92	0,89	0,77	0,93	0,88
HF%	0,98	0,98	0,98	0,98	0,97	0,97	0,97	0,98	0,98
всего	0,90	0,88	0,92	0,92	0,87	0,85	0,85	0,92	0,89

что наиболее часто используемое для оценки вегетативного обеспечения отношение LF/HF при ряде способов построения спектра коррелировало весьма слабо, в частности в 6-м способе оно оказалось самым низким и составило всего 0,42 ($p<0,05$). В то же время достаточно высокая корреляция отмечена между способами в изучении абсолютной величины HF (r везде 0,99; p везде $<0,01$), VLF% и HF%. Исходя из полученных между отдельными показателями корреляций построена общая матрица взаимосвязей, представленная в табл 3.

Таблица 3.

Корреляционная матрица взаимосвязей различных способов (1-8) построения спектра

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	0,867	0,913	0,952	0,851	0,820	0,890	0,837
2	0,867	1	0,873	0,936	0,809	0,790	0,869	0,879
3	0,913	0,873	1	0,949	0,923	0,811	0,852	0,966
4	0,952	0,936	0,949	1	0,880	0,836	0,852	0,945
5	0,851	0,809	0,923	0,880	1	0,919	0,778	0,900
6	0,820	0,790	0,811	0,836	0,919	1	0,733	0,864
7	0,890	0,869	0,852	0,852	0,778	0,733	1	0,903
8	0,837	0,879	0,966	0,945	0,900	0,864	0,903	1

Как следует из приведенных данных значимость изучаемых методов в большинстве своем достоверно различалась. Обращает на себя внимание, что наиболее высокие взаимосвязи имелись между 1 и 4, 2 и 4, 3 и 8, 4 и 1, 5 и 3, 6 и 5, 7 и 8, 8 и 3 способами построения спектра. Напротив, связи оказались более слабыми между 2 и 6, 5 и 7, 6 и 7 способами. Таким образом, выявлено существенное несоответствие получаемых различными способами частотных характеристик, что в конечном итоге отражается на заключении о состоянии ВНС.

Так, наиболее грубые расхождения, заключающиеся в разнонаправленной оценке активности ВНС в сторону СНС или ПСН между отдельными способами построения спектра выявлены по оценке показателя отношения LF/HF (y 15 или 39,5%). В то же время весьма

неоднозначные суждения по оценке этих ветвей ВНС выявлялись по определению абсолютных величин мощностей HF (у 16 или 42,1%) и LF (у 12 или 31,6%). Обращает на себя внимание, что общая мощность спектра (TF), характеризующая суммарную ВСР, что наиболее часто используется в предсказании возможного неблагоприятного исхода аритмических событий оценивалась указанными способами так же весьма неоднозначно и расхождения более 20% от средних значений встретились в 10 (26,3%) случаях.

Широко используемый спектральный способ оценки ВСР весьма далек от совершенства, о чем сообщает большинство авторов. При этом во всех исследованиях применяются неодинаковые методы математического построения спектра, что не позволяет провести сравнение значимости изменений частотных характеристик для оценки состояния ВНС [8-10]. Вместе с тем считается более оправданным применение для этой цели преобразования Фурье, реже используются авторегрессионные модели построения спектра [10, 14].

В то же время дискутируется вопрос о значимости параметрических и непараметрических способов изучения частотных показателей. При этом одни авторы считают наиболее значимыми параметрические способы [2], другие отдают предпочтение непараметрическим методам [15], мотивируя свое мнение наличием асимметрии в большинстве физиологических процессов, что не позволяет их описать обычными статистическими характеристиками.

В данной работе использовались все указанные методики построения спектра, такие как анализ Фурье (способы 1, 2), параметрические (способы 3-7), а так же один из непараметрических методов (способ 8). К сожалению, остальные непараметрические способы, широко распространенные в математике [1, 4] не удалось использовать в программах комплекса из-за технических трудностей.

Из полученных данных следует, что ни один из восьми способов в отдельности не может надежно характеризовать состояние ВНС. При этом наиболее широко используемый показатель - отношение LF/HF как возможный маркер баланса двух звеньев ВНС давал наибольший процент ошибок. Следовательно мнение, высказываемое в литературе о значимости отношения LF/HF [11] возможно подходит для какого-то одного способа построения спектра, но не может характеризовать тенденцию в целом.

В литературе, посвященной возможностям анализа состояния ВНС указывается на весьма надежное определение при спектральном анализе состояния ПСНС, которая характеризуется мощностью HF диапазона [12]. Как свидетельствуют результаты, полученные в исследовании, этот показатель оказался так же весьма переменным. При этом наибольшие колебания встречались при его оценке в абсолютных значениях (вариация в 12,4 раза), несколько меньшие - при процентном выражении

мощности (вариация в 2,9 раз) и при оценке нормированных величин (вариация в 1,47 раза). Необходимо отметить, что метод нормирования предложен для исключения возможных неточностей оценки мощности спектра, однако его значимость до конца не изучена [11]. Полученные нами результаты показывают более целесообразным использование для оценки состояния ВНС именно этого варианта математической обработки.

Достаточно неопределенным по своим физиологическим свойствам считается LF диапазон спектра. Мнения авторов по этому вопросу существенно отличаются. Если одни склонны оценивать его выраженность как маркер активности СНС [9,13], то другие признают равное участие в его формировании как СНС, так и ПСНС [3, 11, 14]. Вместе с тем в большинстве исследований показана его большая нестабильность в сравнении с HF диапазоном [5-7, 10-12]. Сравнивая корреляции этих диапазонов спектра нельзя не отметить обратную картину, когда HF диапазон в зависимости от способа его расчета варьировал весьма широко, в диапазоне не 10,4-2,9 раз, тогда как LF диапазон спектра - только в 5,9-1,9 раза. Кроме того обращает на себя внимание существенно меньшее расхождение в показателях HF и LF оцениваемых в нормированных единицах, что подтверждает значение нормирования показателей при оценке состояния ВНС [11].

Наиболее устойчивыми считаются показатели в диапазоне VLF [6], однако его физиологическая интерпретация, аналогично LF участку спектра до конца не изучена. Полагают, что он в большей мере отражает активность СНС [5,10], но может характеризовать и уровень нейрогуморальной активности [5]. При этом в методиках исследований нами не встретился способ нормирования его значения. Сравнивая уровни VLF в абсолютных единицах и процентном отношении выявлены его большие колебания при изучении VLF, выраженного в мс². Вместе с тем в процентном виде этот показатель действительно более стабилен в сравнении с LF% и HF%, что подтверждает ранее полученные данные [6].

Таким образом, при анализе состояния ВСР трудно отдать предпочтение тому или иному способу построения спектра, как наиболее точно отражающему состояние отдельных звеньев - СНС и ПСНС. Вместе с тем характеристика вегетативного баланса по соотношению LF/HF вряд ли оправдана, ввиду выраженной variability указанного параметра. Одновременно необходимо отметить невозможность использования унифицированных нормативов каждого обсуждаемого параметра без указания способа его получения, так как любой из математических методов построения спектра имеет свои характерные особенности и отличия.

В заключении хотелось бы подчеркнуть, что в оценке вегетативных проявлений методами спектрального анализа на сегодняшний день много противоречий, что требует дальнейшего изучения этой проблемы для выработки адекватных рекомендаций к его применению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беллман Р. Математические методы в медицине. Пер.с англ.М., Мир, 1987.-200с.
2. Довгалецкий П.Я., Гриднев В.Н., Котельникова Е.В., Моржанов А.А. Применение характеристик вегетатив-

- ной регуляции сердечного ритма для повышения эффективности велоэргометрической пробы у больных ишемической болезнью сердца./Кардиология 1999.7.21-25.
3. Степура О.Б., Остроумова О.Д., Курильченко И.Т., Панагриева О.В. Оценка автономной регуляции сердечного ритма методом анализа variability интервалов RR (по материалам XVII-XVIII конгрессов Европ.общества кардиологов)/ Клинич.медицина.1997.4.57-59.
 4. Эйзен С., Афифи А. Статистический анализ. Пер. с англ. М., Мир, 1982.- 488с.
 5. Akselrod S. Components of heart rate variability. Basis studies. In: Heart Rate Variability. Eds M.Malik, A.J.Camm.-Armonk. N.-Y. Futura Pablshity. Comp.Inc. 1995. 147-163.
 6. Bernardi L., Valle F., Coco M. et al. Physical activity influence heart rate variability and very-low-frequency components in Holter electrocardiograms. / Cardiovasc. Res. 1996. 32. 234-237.
 7. Bigger J., Fleiss J.L., Steiman R.C. et al. Correlation among time and frequency domain measures of heart period variability two week after acute myocardial infarction. / Am. J. Cardiol. 1992. 69. 891-898.
 8. Livanis L., Flevari P., Therdorakis G. et al. Sympathetic denervation and heart rate variability in recent myocardial infarction./ Eur. Heart J. 1995. 16. 133.
 9. Malik M. Analysis of clinical follow-up databases: risk stratification sudden and prospective trial desingn./ PACE. 1997. 20. 2533-2544.
 10. Malik M., Camm A.J. Rate Variability: From Factors to Fancies./ J. Am. Coll. Cardiol. 1993. 22. 566-568.
 11. Malliani A., Lombardi F., Pagani M. Power spectral analysis of cardiovascular variability in patients at risk for sudden death./ J. Cardiovasc. Electrophysiol. 1994. 23. 274-286.
 12. Pitzalis M.V., Mastrapasque F., Massari F. et al. Breathing rate modifies heart rate variability measures. / Eur. Heart J. 1996. 17. 383.
 13. Sayers B.M. Analysis of heart rate variability./ Ergonomics. 1973. 16. 17-32.
 14. Tygesen H., Claes G., Dratt C. et al. The effect endoscopic transheracic sympathectomy in heart rate variability in patients with severe angina pectoris./ Eur. Heart J. 1995. 16. 130.
 15. Willard K.E.,Connelly D.P. Nonparametric probability density estimation: improvement to the histogram for laboratory data./ Computers and Biomed. Res. 1992. 25. 1. 17.

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ ВЕГЕТАТИВНОГО БАЛАНСА ПРИ СПЕКТРАЛЬНОМ АНАЛИЗЕ ВАРИАбельНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА

А.П.Иванов, И.А.Эльгардт, Н.С.Сдобнякова

С целью изучения особенностей различных математических подходов в построение спектральных характеристик variability сердечного ритма (BCP) у 38 больных, перенесших инфаркт миокарда проведен анализ результатов расчета показателей общей мощности спектра (TF), его низко-, высоко- и очень низкочастотного диапазонов (HF, LF, VLF) в абсолютных, нормированных единицах и в процентном отношении при использовании 8 математических подходов, включавших параметрические и непараметрические методы. Выявлены существенные колебания различных изучаемых показателей, отличавшихся при указанных математических способах построения спектра в 1,6-12,4 раза. При анализе корреляционных зависимостей получена наиболее выраженная корреляция мощности HF ($r=0,98$), VLF% ($r=0,96$) и TF ($r=0,95$). Показаны особенности каждого из анализируемых математических методов, что требует при интерпретации получаемых результатов и сравнении с данными других исследователей обращать внимание на конкретно используемый математический прием.

SOME ASPECTS OF ASSESSMENT OF SYMPATO-PAPASYMPATHETIC BALANCE IN THE COURSE OF SPECTRAL ANALYSIS OF THE HEART RATE VARIABILITY

A.P.Ivanov, I.A.Elgardt, N.S.Sdobnyakova

To study the peculiarities of different mathematical approaches for resolution of the spectral characteristics of the heart rate variability, in 38 patients with prior myocardial infarction, the analysis was carried out of the results of calculated indices of total spectrum power, power in high-frequency, low-frequency, and very-low-frequency ranges in absolute, normalized and relative units using 8 mathematical approaches including parametric and non-parametric methods. The significant oscillations of investigated indices were revealed, which 1.6-12.4-fold differed depending on the mathematical approach used for the spectrum resolution. The correlation analysis showed the highest correlation for the power in high-frequency ($r=0.98$), very-low-frequency ($r=0.96$), and for total power ($r=0.95$). The specificity of each of used mathematical methods was shown. This fact requires to pay attention on the used mathematical method when expounding the data obtained and comparing them with the data of other investigators.