

Раздел 4 Информационные и математические технологии

Ю.В. Щербатых

ЧТО ВЫЯВЛЯЕТ СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВАРИАбельНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА?

ВГМА им. Н.Н.Бурденко

Резюме. Исследование посвящено анализу изменчивости сердечного ритма в стандарте и состоянии, эмоционального стресса. Обсуждаются различные гипотезы о происхождении медленных волн (Wf и VhF), зарегистрированных при спектральном анализе. Подчеркивается важность учета методических подходов, используемых при спектральном анализе. Проведена попытка сопоставить генераторы волн НЧ и ОНЧ с различными частями вегетативной нервной системы. Результаты анализа, полученные у студентов, состояние покоя и состояния стресса при исследовании, выявили тесную взаимосвязь абсолютной власти между волнами и параметрами variability сердечного ритма, относящуюся к деятельности Парасимпатической нервной системы. Предполагается, что при эмоциональном стрессе происходит ослабление контролирующего воздействия на сердце со стороны вышележащих отделений центральной нервной системы.

Ключевые слова: сердечный ритм, медленные волны, спектральный анализ.

Актуальность. В последнее время во многих областях медицины широко применяется спектральный анализ variability сердечного ритма (BCP), при помощи которого исследователи пытаются выявить центральные нервные механизмы управления сердечной деятельностью [1,2,4,5,7,8,12,13,14]. В связи с неинвазивностью и оперативностью получения данных спектральный анализ (CA) является весьма перспективным, однако более широкое внедрение его в клиническую практику тормозится наличием ряда нерешенных вопросов как методического, так и теоретического характера. Во-первых, пока не известны мозговые структуры, ответственные за генерацию длинноволновых колебаний (LF и VLF) и их функция в организме [2,12], во-вторых, при изменении процедуры подсчета мощностей отдельных участков спектра результаты могут меняться на противоположные [12], в-третьих, пока еще недостаточно изучены изменения CA при эмоциональных реакциях, хотя отдельные работы в этой области представляются весьма интересными [4,5]. Все это требует, с одной стороны, получения дополнительных фактов в области CA, а, с другой, показывает необходимость построения теоретических моделей, которые бы удовлетворительно объясняли наблюдаемые в практике процессы изменения BCP при различных состояниях организма.

Материал и методы исследования. Измерение BCP проводили у студенток (70 чел) в возрасте 18—20 лет, не имеющих существенных отклонений в состоянии здоровья. Параметры BCP замерялись в спокойном состоянии и перед экзаменом. После предварительных исследований из более чем четырех десятков параметров, применяемых при анализе BCP, были отобраны следующие показатели: AMo — амплитуда моды ряда кардиоинтервалов; SDNN — стандартное отклонение от средней длительности анализируемых интервалов; pNN50 — доля соседних кардиоинтервалов, которые различаются более чем на 50 мс; ИН — “индекс напряженности”; HF — мощность высокочастотной составляющей спектра; LF — мощность низкочастотной составляющей спектра; VLF — мощность сверхнизкочастотной составляющей спектра (последние три показателя брались как в абсолютных значениях (мс²•1000), так и в нормированных единицах (в % от общей мощности спектра)). Помимо этого подсчитывался вегетативный индекс Кердо (ВИК).

Результаты исследования и их обсуждение. Основные результаты СА, полученные при анализе ВСР в норме и в состоянии стресса, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Мощность частотных составляющих спектра

Показатель	HF		LF		VLF	
	абс	%	абс	%	абс	%
Норма	1,80± 0,16	39,2± 2,0	1,35± 0,09	32,7± 1,5	0,79± 0,07	17,8± 1,0
Стресс	0,59± 0,06	24,1± 1,6	0,98± 0,09	39,4± 1,4	0,65± 0,09	24,0± 1,1

Из таблицы следует, что абсолютная мощность колебаний во всех диапазонах спектра при стрессе падает, а изменение относительных величин отдельных спектральных составляющих носит разнонаправленный характер. Так, вклад дыхательных (HF) волн в суммарный эффект колебаний сердечного ритма уменьшается, однако вклад составляющих с большей длиной волны спектра (LF и VLF) возрастает. Уменьшение как относительной, так и абсолютной мощности HF волн вполне укладывается в существующие представления о системе регуляции сердечной деятельности, чего нельзя сказать о длинноволновой части спектра. Согласно общепризнанным взглядам интенсивность дыхательных волн (частоты от 0,4 до 0,15Гц) отражает активность ядра блуждающего нерва [1,2,12,13,14], поэтому в состоянии стресса, когда баланс в вегетативной системе сдвигается в сторону симпатического отдела, активность блуждающего нерва, как и других компонентов парасимпатического отдела, падает. В наших исследованиях мощность HF составляющей спектра в абсолютных единицах у студентов перед экзаменами снижалась на 67%, а в относительных единицах — на 31%.

Природа более длинноволновой части спектра ВСР — LF волн (“вазомоторных волн”, “волн Майера”, “волн Геринга” и пр.) остается неясной. Чаще всего колебания ВСР в этом частотном диапазоне связывают с изменением тонуса симпатической нервной системы [1,13]. В то же время, отдельные исследователи связывают эти колебания с функцией барорецепторов [7], с петлей обратной связи в системе регуляции кровяного давления [9], с сосудистыми эффектами [10] и пр. Существует мнение, что этот параметр отражает суммарный эффект центральной регуляции, включающей в себя как высшие симпатические, так и парасимпатические влияния на ритм сердца [7,12].

По данным наших исследований, мощность LF — диапазона, измеренная в абсолютных единицах перед экзаменом уменьшалась на 27%, а при измерении в относительных единицах отмечался прирост интенсивности этих волн на 40%. Такая парадоксальная, на первый взгляд, картина наблюдалась и другими исследователями, что было отмечено Специальной Комиссией Европейского Кардиологического общества и Североамериканского общества электрофизиологии [12]. Как указано в докладе комиссии, измерения суммарной мощности в абсолютных единицах (в мс²) и в нормированных единицах (в %) дают прямо противоположную картину. Это не позволяет однозначно ответить на вопрос, какие отделы в ЦНС — симпатические или парасимпатические ответственны за генерацию этих колебаний. В наших исследованиях (в состоянии относительного покоя) коэффициент корреляции между абсолютной мощностью LF участка спектра и ИН был отрицательным: $r = -0,53$, а между LF и SDNN — положительным: $r = +0,62$. В состоянии эмоционального стресса эти коэффициенты равнялись $-0,54$ и $+0,83$ соответственно ($p < 0,001$). Поскольку общепризнанно, что индекс напряжения отражает активность симпатического звена регуляции, а среднее квадратичное отклонение ВСР — активность парасимпатического звена [1], то, исходя из

этих результатов, можно предположить, что LF колебания отражают активность парасимпатического отдела, особенно в состоянии эмоционального стресса. Однако, если подсчитывать величину LF колебаний в относительных единицах (в процентах от общей мощности спектра), то картина меняется на прямо противоположную. В состоянии относительного покоя активность LF участка спектра положительно коррелировала с показателем ИН ($r = +0,24$; $p < 0,05$), и отрицательно — с показателем SDNN ($r = +0,37$; $p < 0,01$). Для уточнения этого вопроса мы подсчитали коэффициенты корреляции между уровнем LF колебаний и вегетативным индексом Кердо, величина которого пропорциональна активности симпатической системы. При подсчете в абсолютных величинах коэффициент корреляции был отрицательным, а при подсчете в процентах — положительным, что также не дает возможности сделать однозначный вывод о принадлежности мозговых структур, генерирующих LF колебания, к одному из отделов вегетативной нервной системы, так как при 5-минутной регистрации кардиоинтервалов нормированная оценка отражает соотношение активности нервных центров, генерирующих LF и HF колебания. Тогда вышеописанные данные означают следующее: увеличение относительной мощности LF волн во время эмоционального возбуждения показывает ослабление при стрессе активности ядра блуждающего нерва. В то же время достаточно тесная корреляция абсолютной мощности LF колебаний с такими показателями парасимпатической системы, как SDNN, pNN50, RMSSD свидетельствуют скорее о принадлежности гипотетического LF генератора к парасимпатическому отделу вегетативной нервной системы.

Еще менее изученными являются медленные волны 2-го порядка (VLF), которые относят к сверхнизкочастотной составляющей спектра (0,04—0,015 Гц). Происхождение их неясно. Предполагается связь VLF—колебаний с терморегуляцией, которая реализуется через изменение кровотока [17,18] или с вазомоторной активностью более высокого, нежели LF волны [16]. Согласно предположению некоторых отечественных авторов, VLF колебания могут служить маркером активации церебральных эрготропных систем и являются вегетативным коррелятом тревоги [4]. Ввиду несомненной теоретической и прикладной важности последнего предположения имеет смысл остановиться на нем особо. При этом необходимо отметить две имеющиеся проблемы методического характера, которые не дают возможность однозначно связывать VLF колебания с тревогой: способ измерения мощность VLF волн и принципы определения такого весьма субъективного состояния, каким является тревога. По первому пункту ситуация с VLF колебаниями аналогична таковой с вазомоторными волнами: при тревоге и стрессе при нормированном измерении наблюдается их прирост, а при измерении абсолютной мощности — уменьшение интенсивности. По второму пункту проблема состоит в том, что существует много вариантов тестов на тревожность, каждый из которых по-разному отражает вегетативные компоненты тревожного состояния. Например, шкала Гамильтона [11] не разделяет симпатические и парасимпатические проявления тревоги: в ней рядом стоят такие противоположные по механизму явления, как “покраснение кожных покровов”, “бледность кожных покровов”, “повышенный мышечный тонус”, “ощущение удушья”, “метеоризм” и т.д. По шкале Цунга [15], предназначенной для самооценки тревоги, одинаково высокий балл могут набрать субъекты с повышенной активностью обоих отделов вегетативной нервной системы, так как там пункты “У меня бывает ощущение учащенного сердцебиения” (симпатика) стоят рядом с пунктами “У меня бывают приступы слабости” или “Частые позывы на мочеиспускание” (парасимпатика). Понятно, что оцененная по таким шкалам тревога может включать в себя проявление как симпатических, так и парасимпатических компонентов, и в этом случае корреляция между VLF волнами и физиологическими проявлениями тревоги становится затруднительной. Помимо чисто методической, здесь имеется и теоретическая проблема, состоящая в том, что страх и тревога могут у разных субъектов запускать как стенические, так и астенические реакции [6], что при “валовой”

статистической обработке приводит к “смазыванию” общей картины и затрудняет поиск физиологических коррелятов тревоги. Поэтому, чтобы исключить неоднозначно трактуемые вегетативные компоненты, мы в своем исследовании остановились на шкале Спилбергера, определяющей уровень ситуативной тревожности исходя из субъективного психологического состояния испытуемых [3]. При этом мощность участка спектра, измеренная в абсолютных величинах в покое отрицательно коррелировала с ситуативной тревожностью ($r = -0,27$; $p < 0,05$) и с ВИК ($r = -0,34$; $p < 0,01$), а при измерении в процентах корреляция практически отсутствовала. В состоянии стресса корреляция VLF волн с ВИК сохранялась и даже несколько возрастала ($r = -0,40$; $p < 0,001$), а связь с тревожностью практически исчезала ($r = -0,12$; $p > 0,05$). Связь VLF волн с другими показателями ВСП показана в табл.2.

Таблица 2

Коэффициенты корреляции между показателями variability сердечного ритма

Состояние	НОРМА	СТРЕСС	
Показатель	VLF(мс ²),	VLF(мс ²),	
АМо	-0,60***	-0,62***	
ИН	-0,56***	-0,43**	* — $p < 0,05$
ВИК	-0,34*	-0,40**	** — $p < 0,01$
pNN50	+0,42**	+0,56***	*** — $p < 0,001$
SDNN	+0,68***	+0,80***	

Как видно из таблицы, мощность VLF волн положительно коррелирует с показателями, отражающими активность парасимпатической системы, и отрицательно – с показателями, характерными для симпатической активации. Кроме того, ранее было показано, что мощность VLF волн в состоянии стресса положительно коррелировала с уровнем фрустрации у студентов [5], а это состояние обычно связывают с преобладанием вагусных влияний.

К настоящему времени в отечественной литературе сложилось мнение, что в условиях стресса управление сердечным ритмом переходит к вышележащим нервным центрам [1], однако падение при стрессе абсолютной мощности всех составляющих спектра ВСП может свидетельствовать об обратном. С биологических позиций, когда в состоянии стресса все системы организма подчинены достижению жизненно важной цели, требования, предъявляемые к сердцу, наоборот, упрощаются: оно должно лишь развить максимальную производительность. При этом влияние симпатических нервов приводит к выравниванию ритма сердца, что сопровождается ростом таких показателей, как АМо и ИН. А роль высших центров, генерирующих LF и VLF волны, должна сводиться не к усилению эрготропных влияний, как это предполагают некоторые исследователи [4], а к созданию более экономичного режима работы, что скорее соответствует целям парасимпатической системы. Наблюдаемый при стрессе сдвиг максимумов всех участков спектра в длинноволновую область может свидетельствовать об увеличении времени, необходимого нервным центрам для анализа поступающей информации в новых условиях, ее оценки и выработки управляющих команд.

Выводы. В состоянии стресса происходит уменьшение влияний высших нервных центров на ВСП, что выражается в падении абсолютной мощности спектра. При этом роль вышележащих нервных структур, влияющих на сердечный ритм заключается, скорее

всего, в поддержании гомеостаза в более сложных условиях и соответствует задачам парасимпатического отдела вегетативной нервной системы.

Литература.

1. Баевский Р.М., Кириллов О.И., Клецкин С.З. Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе. М.: Наука. — 1984.— 222 с.
2. Данилова Н.Н., Астафьев С.В // Журнал высшей нервной деятельности, — 1999, — Т.49, Вып.1, — С.28.
3. Маришук В.Л. и др. Методики психодиагностики в спорте. — М.: Просвещение, 1984. — 191 с.
4. Хаспекова Н.Б., Варновская О.В., Вейн А.М.// Матер. 2-го Междунар. симп. “Структура и функции вегетативной нервной системы”. Воронеж, 1998. — С.30.
5. Щербатых Ю.В. // Прикладные информационные аспекты медицины. — Воронеж, — 1999, — Т.2, №1, — С.59.
6. Щербатых Ю.В., Ивлева Е.И. Психофизиологические и клинические аспекты страха, тревоги и фобий. — Воронеж, 1998. — 282 с.
7. Akselrod S., Gordon D., Ubel F. et al. // Science. — 1981, — V. 213, — P.220.
8. Appel M.L., Berger R.D., Saul J.P., et al. // J.Am. Coll Cardiol., 1989, V.14, P.1139.
9. Baselli G., Cerutti S., Livraghi M. et al. // Med. Biol. Engng. — Comp. 1988, — V. 26, — P.374.
10. Burne E.A. Porges S.W // Psychophysiology, — 1992, — V.29, N1, — P.120.
11. Hamilton M. The assesment of anxiety ststus by rating // Brit. J. Med. Psych. — 1980, — V.32, — P.50.
12. Heart rate variability. Standarts of Mesurement, Physiological Interpritation and Clinical Use // Circulation. — 1996. — V.93, N5, — P.1043.
13. Malliani A., Lombardi F., Pagani M. // Brit. Heart J., — 1994, — V.71, — P.1.
14. Malik M., Camm A.J. // Brit. Heart J. — 1994, — V.71, — P. 3.
15. Zung W.W.K. Current concepts. — Upjohn Company. — 1980. — 341 p.
16. Hyndman B.W., Kitney R.I., Sayers B.M. // Nature. — 1971, — V.233, — P.339.
17. Kitney R.J., Fulton N., McDonald A.N., Linkens D.A. // J. Biomed. Eng. — 1985, — V7, — P.217.
18. Sayer B.M. // Ergonomics. — 1973. — V.16. — P.17.

Abstract

Scherbatych G.V.

WHAT DOES THE SPECTRAL ANALYSIS OF VARIABILITY OF CARDIAC RHYTHM REVEAL

The research is devoted to the analysis of cardiac rhythm's variability in the standard and the condition, of emotional stress. Different hypothesis of origin of slow waves (Wfand VhF) registrated at spectral analysis are discussed. The importance of taking into consideration the methodical approaches used at spectral analysis is underlined. The attempt of correlating the generators of LF and VLF waves with different parts of the vegetative nervous system is done. The analysis findings obtained from the students, quiescent and in examination stress condition have revealed close correlation of absolute power between waves and parameters of variability of cardiac rhythm, referring to the activity of Parasympathical nervous system. The supposition that at an emotional stress, there is an attenuation of controlling effect on heart on the part of overlying departments of the central nervous system is put forward.