

## ЗНАЧЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ВАРИАбельНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА В КАРДИОЛОГИИ

Анализ вариабельности сердечного ритма – сравнительно новый неинвазивный метод оценки функционального состояния сердечно-сосудистой системы и системы экстракардиальной регуляции сердечного ритма. Исследование вегетативного фона кардиальной патологии важно с позиций индивидуального подхода к каждому пациенту и позволяет «лечить не болезнь, а больного», поскольку большинство препаратов, применяемых в кардиологии, обладает прямой или опосредованной вегетотропной активностью. В статье рассмотрены показания для ритмографического обследования пациентов с заболеваниями сердечно-сосудистой системы.

Сравнительно новым методом неинвазивных функциональных исследований в кардиологии является оценка вариабельности ритма сердца (ВРС).

Исходный материал для анализа ритма сердца (РС) – ряд последовательно зарегистрированных межсистолических интервалов. В этом ряду заключена информация об автоматизме сердца и о процессах, происходящих в системе регуляции синусового узла. ВРС, отражая колебания продолжительности межсистолических интервалов в пределах десятых и сотых долей секунды, является значимым методом оценки функции автономной системы сердца и экстракардиальной регуляции РС. ВРС может служить индикатором адаптации целостного организма (1, 3), т. к. отражает степень напряжения регуляторных систем, обусловленную возникающей в ответ на любое стрессорное воздействие активацией системы «гипоталамус-гипофизнадпочечники» и реакцией симпато-адреналовой системы (1, 2).

Известно, что регулирующие системы в спокойном состоянии организма работают в режиме контроля, который характеризуется большим числом степеней свободы подчиненных систем (2). С этим связана относительно высокая вариабельность сердечного ритма у здоровых людей в состоянии покоя, когда наибольший вклад в формирование ВРС вносит дыхательная аритмия, отражающая парасимпатические влияния на ритм сердца (1, 8, 10). При стрессорных воздействиях число степеней свободы уменьшается за счет централизации управления, при этом наблюдается снижение ВРС с одновременным ростом активности симпатического звена. Длительное напряжение регуляторных систем приводит к рассогласованию функциональных связей (9), снижению адаптирующего симпатического тонуса (1, 2). Исходя из изложенного, желательным исследованием ВРС в динамике патологического процесса для повышения диагностической и прогностической ценности данного метода.

Многочисленными исследованиями в области анализа ВРС установлено, что постоянный, неменяющийся, так называемый «ригидный» ритм, ког-

да в своей работе сердце «похоже на метроном» (14), – это очень тревожный показатель в плане определения прогноза сердечно-сосудистой патологии. В частности, низкие значения SDNN, определенного у больных через 2 недели после ОИМ, коррелируют с высоким риском внезапной смерти более тесно, чем ФВ левого желудочка, количество эпизодов желудочковой аритмии по данным холтеровского мониторирования и толерантность к физической нагрузке (15).

Определение ВРС является методом неспецифической диагностики кардиоваскулярной патологии. Показатели вариабельности РС отражают, с одной стороны, наличие вегетативных регулирующих влияний на сердечный ритм, а с другой – способность сердца воспринимать эти воздействия. Поэтому ритмокардиографию с определением ВРС целесообразно использовать для оценки функционального состояния сердца и вегетативного фона кардиальной патологии (6).

По данным отечественных и зарубежных авторов (3, 6, 8, 10, 15), наиболее информативными являются следующие методы анализа ВРС:

- визуально-логический анализ (применяется для коротких участков ритмограммы);
- вариационная пульсометрия;
- статистический временной анализ (Time domain);
- спектральный или частотный анализ (Frequency domain);
- корреляционная ритмография.

Первые четыре метода применимы исключительно для исследования закономерностей синусового ритма (8, 10), тогда как корреляционная ритмография может использоваться для оценки нестационарных ритмов, мало подверженных или нечувствительных к вегетативной регуляции (мерцательная аритмия, частая экстрасистолия и т. д.) (4).

Визуальный, статистический временной, спектральный анализ и вариационная пульсометрия первым этапом предполагают построение линейной кардиоинтервалограммы (КИГ). Она образуется путем отложения по оси ординат продолжительности в секундах последовательных межсис-

толических интервалов в виде вертикальных отрезков. При этом по оси абсцисс отмечается количество кардиоинтервалов. Верхний край полученной ритмограммы неровный, неравномерные удлинения интервалов RR образуют волновую структуру. Колебания РС с устойчивыми периодами принято называть волнами. На рис. 1 представлена ритмокардиограмма (РКГ) здорового мужчины, снятая в состоянии расслабленного бодрствования (Ph-фон) и в ходе выполнения нагрузочных проб.

Визуальный анализ разработан Д.И. Жемайтите (1972). Всего выделено 6 классов РКГ (рис. 2). На РКГ 1 класса отмечается предельное преобладание высокочастотной парасимпатической периодики (РКГ спортсменов). РКГ 2 класса обычно регистрируется у здоровых лиц. На РКГ 3 и 4 классов преобладают симпатические влияния – волны РС с периодом 10-30 сек. РКГ 5 класса характеризуется преобладанием очень низкочастотных волновых составляющих (период более 30 сек) и отражает обычно органическую патологию миокарда. РКГ 6 класса фиксирует «ригидный» ритм (6, 10).

Вариационная пульсометрия, с которой в нашей стране начиналось развитие математического анализа ритма сердца благодаря работам Р.М. Бавевского и В.В. Парина (1964, 1967), в настоящее время уступает место более современным высоко разрешающим методам компьютерного анализа ритмокардиограммы. К ним относятся статистический временной и спектральный способы оценки ВРС. Первый позволяет определить статистические характеристики ряда последовательных интервалов RR как случайных величин:

SDNN – стандартное отклонение интервалов RR от их средней величины, характеризует суммарный эффект регуляции синусового ритма; SDANN – стандартное отклонение средних значений интервалов RR, полученных из 5-минутных отрезков записи ЭКГ при суточном мониторинговании; KB(V) – коэффициент вариации, определяемый как отношение SDNN к ЧСС ср, представляет собой нормированную оценку ВРС и может сравниваться у лиц с различными значениями ЧСС; RMSSD – корень квадратный суммы квадратов разностей ве-

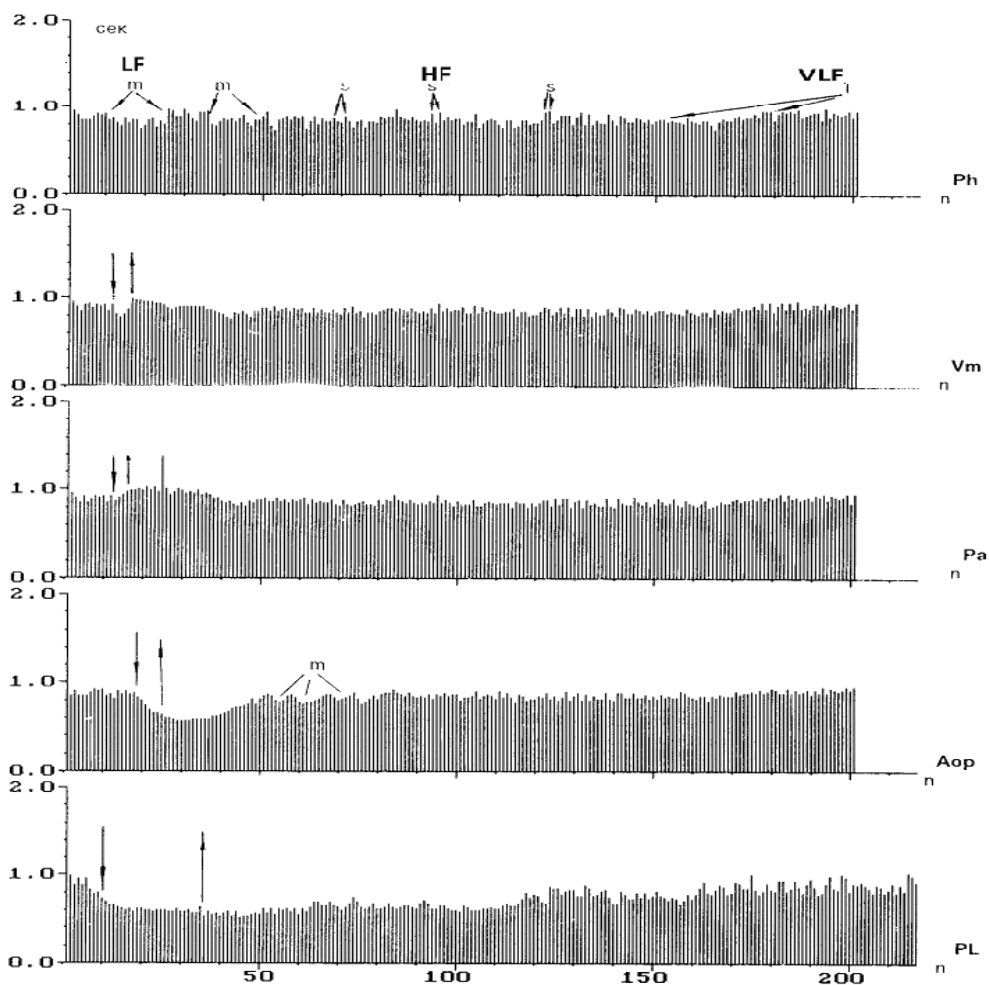


Рисунок 1. Ритмокардиограмма здорового мужчины. Как в фоновой записи, так и в ходе выполнения нагрузочных проб в волновой структуре РС хорошо различимы все три вида колебаний – HF, LF, VLF. Реакции в нагрузочных пробах достаточные. Вариабельность РС характеризуется высокими показателями.

личин последовательных пар интервалов RR; рNN50 – количество пар последовательных интервалов RR, различающихся более чем на 50 мс; последние 2 показателя отражают парасимпатические влияния на синусовый узел (21).

Высокие значения SDNN и SDANN отмечают-ся обычно у здоровых лиц в покое и отражают хорошее функциональное состояние сердечно-сосудистой системы и системы экстракардиальной регуляции сердечного ритма. Снижение данных показателей временного анализа ВРС обычно сопровождается низкими значениями парасимпатических индексов (RMSSD, рNN50) и может быть связано как с органической патологией сердечно-сосудистой системы (артериальная гипертония, ИБС, постинфарктное ремоделирование сердца, сердечная недостаточность), так и с патологией системы экстракардиальной регуляции РС (полинейропатия, демиелинизирующие болезни спинного мозга).

В ходе спектрального анализа выделяются различные частотные составляющие колебаний ритма сердца при помощи специальных математических преобразований (например, быстрого преоб-

разования Фурье), в результате которых исходный сигнал (ритмокардиограмма) представляется в виде синусоид с различной частотой и амплитудой (рис. 3). Затем рассчитывается спектральная мощность колебаний: общая мощность спектра, мощность в диапазоне высоких частот, мощность в диапазоне низких и очень низких частот. При этом обычно определяется площадь под кривой спектральной мощности в пределах определенного частотного диапазона (21, 22). Разночастотные компоненты спектра оцениваются в абсолютных цифрах (в  $\text{мс}^2$ ) и в относительных – в % от общей мощности спектра. Обычно анализируются следующие компоненты: HF-составляющая (High Frequency) с частотой 0,15-0,4 Гц и периодом 2-10 сек., которую абсолютное большинство отечественных и зарубежных авторов связывают с парасимпатическими влияниями на РС (2, 10, 21, 23, 25); LF-составляющая (Low Frequency) с частотой в границах 0,04-0,15 Гц и периодом 10-30 сек. и очень низкочастотная компонента спектра VLF (Very Low Frequency) с частотой 0,003-0,04 Гц и периодом более 30 сек. (21). LF связывают с рефлекторной симпатической ак-

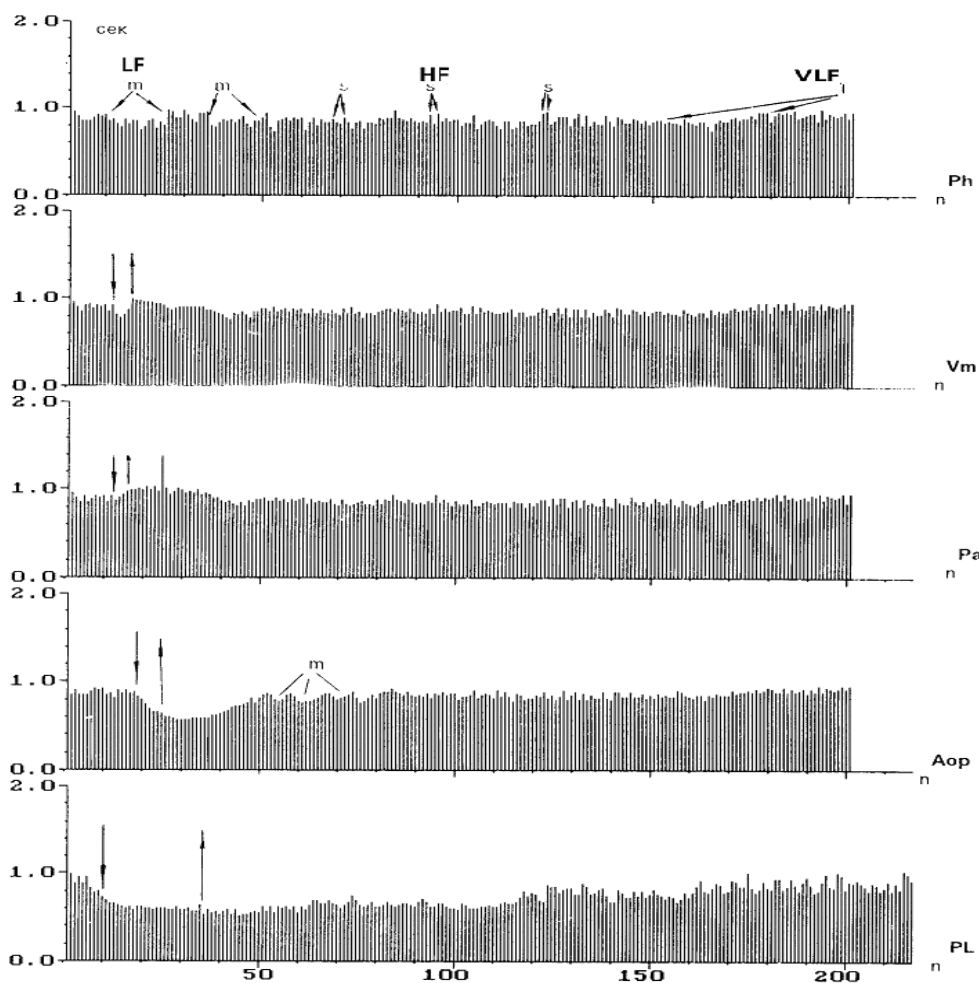


Рисунок 2. Классификация ритмокардиограмм в покое (по Д. Жемайтите). Пояснения в тексте.

тивностью, в частности с барорефлексом (5, 6, 8, 22, 25). Значение VLF дискутабельно и связывается различными авторами с активностью РААС-системы (14), с колебаниями концентраций адреналина и норадреналина в плазме крови (16). При этом не исключено, что уменьшение периодики VLF под влиянием непептидного ингибитора РААС, как это происходило в опытах S. Akselrod (1981), опосредуется через симпато-адреналовую систему, т. к. ангиотензин II стимулирует выделение адреналина мозговым слоем надпочечников и норадреналина симпатическими терминалиями (7).

Обычно для временного статистического анализа рекомендуют использовать 24-часовые записи ЭКГ из холтеровского мониторинга, тогда как требование стационарности РС и физиологических стандартных условий записи КИГ для спектрального анализа предполагает использование коротких участков ЭКГ, чаще – 3-5-минутных (5, 21).

В настоящее время определение ВРС широко применяется с целью предсказания риска общей смертности и (или) внезапной аритмической смерти у больных после ИМ (15, 23), а также у больных ХСН независимо от ее этиологии (20, 28). Снижение вагусных влияний признается абсолютным большинством авторов независимым предиктором высокой смертности как в постинфарктном периоде, так и при стабильной стенокардии (15, 17, 23). Отмечено прогностическое значение суточной вариабельности, ее параметры были более низкими у постинфарктных больных с высоким риском внезапной смерти (23).

При многофакторном пошаговом регрессионном анализе выявлено, что у больных в ранние сроки после ИМ ЧСС была более высокой, а ВРС более низкой, когда регистрировались симптомы сердечной недостаточности. Причем наличие клинических проявлений СН оказалось единственным независимым предиктором низких значений основных характеристик ВРС (13).

В проспективном многоцентровом исследовании АТРАМІ, где изучалась связь низких показате-

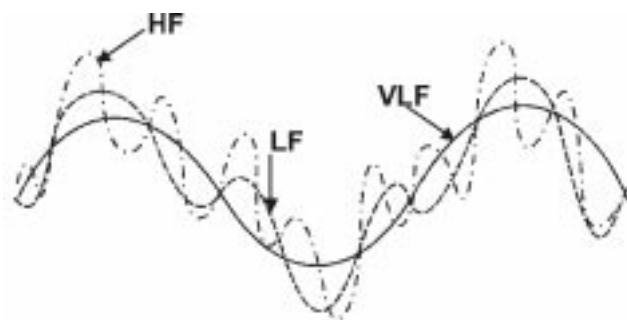


Рисунок 3. Схема трехкомпонентной волновой структуры синусового ритма приводится по Д.И. Жемайтите в модификации Мироновой Т.Ф., Миронова В.А., 1998.

телей ВРС и барорефлекторной чувствительности (повышение парасимпатического тонуса в ответ на введение фенилэфрина) с риском сердечной смерти, было показано, что больные с низкой барорефлекторной чувствительностью имели высокий риск сердечной смерти (относительный риск составил 2,8). При резком снижении показателя SDNN отмечено резкое повышение летальности (относительный риск – 3,2). При комбинации признаков: снижение показателей ВРС и барорефлекторной чувствительности относительный риск сердечной смерти повышается в 7,3 раза (5,24).

Показано, что индексы временного анализа ВРС являются независимыми предикторами общей смертности больных ХСН вне зависимости от ее этиологии, а спектрального – внезапной аритмической смерти у этих больных (12, 28).

В наших исследованиях с ростом стадии ХСН у больных ИБС в сочетании с артериальной гипертензией отмечалось монотонное достоверное снижение показателей общей вариабельности, амплитуды дыхательной аритмии и других парасимпатических индексов. Таким образом, помимо прогностического значения временных показателей ВРС возможно их использование в качестве дополнительных маркеров стадии сердечной недостаточности, особенно при исследовании ВРС в динамике патологического процесса.

При многофакторном анализе в качестве независимого предиктора низких значений как временного индекса ВРС (SDNN), так и спектрального показателя парасимпатической активности HF% определена гипертрофия миокарда, оцененная показателем массы миокарда левого желудочка.

В настоящее время актуально своевременное прогнозирование электрической нестабильности миокарда, выявление предвестников потенциально опасных аритмий. К ним относится снижение общей вариабельности и парасимпатических индексов временного анализа, снижение HF-компонента спектра (5, 11, 25), а по данным некоторых авторов – содружественное снижение HF и LF компонентов и повышение VLF (15), что может свидетельствовать о снижении вегетативной сегментарно-периферической регуляции сердечного ритма в целом и повышении центральных симпатических влияний (3), которые опосредованы синтезируемыми (включая надпочечники и локальный синтез катехоламинов в миокарде), а не синаптическими катехоламинами. При этом высокие перепады катехоламинов не могут быть скомпенсированы рефлекторными вегетативными влияниями (8, 11).

Вариабельность сердечного ритма у постинфарктных больных более тесно коррелирует с риском фибрилляции желудочков, чем наличие по-

здних потенциалов, экстрасистолия высоких градаций, снижение ФВ левого желудочка (25).

Челябинские исследователи Т.Ф. Миронова, В.А. Миронов (1998) на основе компьютерного анализа коротких участков РКГ с применением визуального, временного и спектрального видов анализа разработали следующее применение данного метода исследования ВРС при аритмиях:

1. Для определения вегетативного фона нарушений ритма сердца.

2. С целью выявления дополнительных признаков электрической нестабильности миокарда. К ним относятся: желудочковые экстрасистолы со сверхкомпенсаторной паузой на фоне симпатической волны, сочетание желудочковых аритмий с общей стабилизацией РС на фоне тахикардии и отсутствием реагирования на стимулы в ходе проведения функциональных проб.

3. Для выявления косвенных РКГ-признаков органической или функциональной природы нарушений, лежащих в основе аритмий.

При исследовании нестационарных ритмов, в частности при мерцательной аритмии, целесообразно применение корреляционной ритмографии с построением скаттерграмм (4). Е.А. Березный выделяет 5 типов КИГ в зависимости от расположения точек в системе координат, отражающих соотношение длин последовательных интервалов RR. Мономодальный тип КИГ характеризуется преимущественным скоплением точек на биссектрисе координатного угла (рис. 4) и, по мнению автора, отражает частично сохранившееся влияние синусового узла на ритм желудочков. Аномодальные или полимодальные скаттерграммы, напротив, свидетельствуют о полной утрате контроля синусового узла над сердечным ритмом у данной категории больных (рис. 5). Определение типа КИГ важно для прогнозирования результатов электрической кардиоверсии: по данным автора, синусовый ритм сохраняется более 4 месяцев после дефибрилляции у

95% больных с мономодальным типом КИГ, а при аномодальном или полимодальном типе ни один больной не сохранил синусовый ритм в течение этого времени на фоне одинаковой поддерживающей терапии.

Работами В.А. Миронова (1997, 1999) выявлена ценность метода РКГ для постадийной диагностики гипертонической болезни. Использовалась визуальная оценка РКГ, временной и спектральный анализ ВРС, вегетативные пробы. Комплекс ритмографических признаков, характерных для ГБ 1 стадии, включает снижение амплитуды и спектральной доли парасимпатической периодики при нормальной амплитуде симпатических волн с повышением их вклада в общую мощность спектра. Для ГБ 2 стадии характерно значительное угнетение периферической вегетативной регуляции РС в целом в виде снижения амплитуды и спектральных характеристик высоко- и низкочастотной периодики ВРС с одновременным повышением спектральной доли очень низкочастотных влияний VLF на сердечный ритм, а также снижение способности РС реагировать на различные стимулы в ходе функциональных проб.

Представляются перспективными такие направления дальнейшего развития компьютерной ритмографии, как:

– дальнейшее изучение и клинико-физиологическая интерпретация медленных волн 2 порядка (VLF);

– определение вегетативной реактивности и вегетативного обеспечения деятельности с целью выявления скрытых нарушений в вегетативной регуляции сердечной деятельности, а также многофакторный анализ временных и спектральных показателей ВРС при различной кардиальной патологии для определения возможности влиять на течение и прогноз сердечно-сосудистых заболеваний;

– исследование изменения ВРС под влиянием лечения с использованием различных терапев-

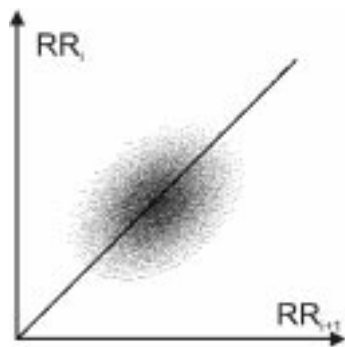


Рисунок 4. Мономодальный тип скаттерграммы. Основное скопление точек располагается на биссектрисе координатного угла.

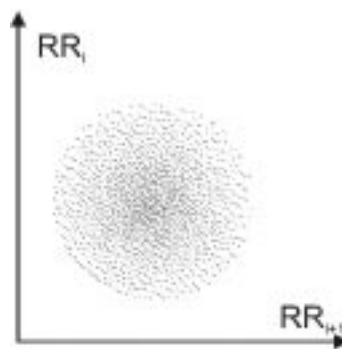


Рисунок 5. Аномодальный тип скаттерграммы, когда точки в системе координат расположены диффузно, характерен для полной утраты влияния синусового узла на сердечный ритм.

тических комбинаций и схем, что позволило бы реализовать принцип индивидуального подхода к пациенту, учитывая, что показатели ВРС являются прогностическими при СН любой этиологии, при ИБС, у постинфарктных больных; у

больных с артериальной гипертонией и некоронарогенными поражениями миокарда снижение ВРС также имеет прогностическое значение в отношении фибрилляции желудочков и внезапной смерти (18, 19).

**Список использованной литературы:**

1. Баевский Р.М. Прогнозирование состояния на грани нормы и патологии. – М.: Медицина, 1979, 298 с.
2. Баевский Р.М., Кириллов О.И., Клецкин С.З. Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе. – М.: Наука, 1984, 221 с.
3. Баевский Р.М., Иванов Г.Г. Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и возможности клинического применения // Ультразвуковая и функциональная диагностика. – 2001. – №3. – С. 108-127.
4. Березный Е.А. Корреляционная ритмография у больных мерцательной аритмией // Кардиология. – 1975. – №7. – С. 14-18.
5. Голухова Е.З. Методы оценки вариабельности сердечного ритма // Неинвазивная аритмология. М.: НИЦССХ им. Бакулева А.Н. РАМН, 2002.
6. Жемайтис Д.И. Вегетативная регуляция синусового ритма у здоровых и больных // Анализ сердечного ритма. – Вильнюс, 1982, с. 22-32.
7. Метелица В.И. Справочник кардиолога по клинической фармакологии. – М.: Медицина, 1987. – С. 161-170.
8. Миронова Т.Ф., Миронов В.А. Клинический анализ измененной волновой структуры синусового ритма сердца (Введение в ритмокардиографию и атлас ритмокардиограмм). Челябинск, 1998, 162 с.
9. Парин В.В., Баевский Р.М., Волков Ю.Н., Газенко О.Г. Космическая кардиология. Л.: Медицина, 1967, 200 с.
10. Рябыкина Г.В., Соболев А.В. Вариабельность ритма сердца. М.: Стар'Ко, 1998, 200 с.
11. Сметнев А.С., Жаринин О.И. ВСП, желудочковые аритмии и риск внезапной смерти // Кардиология. – 1995. – Т.35. – №4. – С. 49-51.
12. Соколов С.Ф., Малкина Т.А. Клиническое значение оценки вариабельности ритма сердца // Сердце. – 2002. – Т. 1, №2. – С. 72-75.
13. Явелов И.С., Травина Е.Е., Грацианский Н.А. Факторы, связанные с низкой вариабельностью ритма сердца, оцененной за короткое время в покое в ранние сроки инфаркта миокарда // Кардиология. – 2001. – Т. 41, №8. – С.56.
14. Akselrod S., Gordon D., Ubel F.A. Power spectrum analysis of heart fluctuation: a quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control // Science. 1981. – V. 213. – P. 220 – 222.
15. Bigger J.T.Jr., Fleiss J.L., Steinman R.C. et al. RR variability in healthy, middle-aged persons compared with patients with chronic coronary heart disease or recent acute myocardial infarction // Circulation, 1995, v. 91, №7, p. 1936-1943.
16. Cerutti S., Bianchi A.M., Mainardi L.T. Spectral analysis of heart rate variability signal. In: Malik M., Camm A.J.(eds.): Heart rate variability. – N-Y: Futura Publishing Company, Inc., 1995.
17. Corr P.B., Yamada K.A., Witkowski F.V. Mechanisms controlling cardiac autonomic function and their relation to arrhythmogenesis. The heart and cardiovascular system. N-Y: Raven Press. 1986; 1343-1403.
18. Coumel P. Heart rate variability and the onset of tachyarrhythmias. G Ital Cardiol 1992; 22: 647-654.
19. Esler M. The autonomic nervous system and cardiac arrhythmias. Clin Auton Res 1992;2:133-135.
20. Grassi G., Seravalle G., Jurri C. Sympathetic and reflex abnormalities in heart failure secondary to ischaemic or idiopathic dilated cardiomyopathy // Clin Sci. – 2001. – 101, №2. – P. 141-146.
21. Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Task force of the European Society of cardiology and the North American Society of pacing and electrophysiology. – Eur. Heart J., 1996, v. 17, p. 354-381.
22. Malliani A., Lombardi F., Pagani M. Power spectral analysis of heart rate variability: a tool to explore neural regulatory mechanisms // Br. Heart J., 1994, №71, p. 1-2.
23. Nolan G., Flapan A.D., Capewell S. Decreased cardiac parasympathetic activity in chronic heart failure and its relation to left ventricular function // Br. Heart J., 1992, Jun, №67(6), p. 482-485.
24. La Rovere M.T. A baroreflex sensitivity and HRV in prediction of total cardiac mortality after myocardial infarction // Lancet. – 1998. – Vol. 351. – P. 478-484.
25. Odemuyiwa O., Malik M., Polonieck J. et al. Frequency versus time domain analysis of signal-averaged ECG. Stratification of postinfarction patients for arrhythmic events. J Am Coll Cardiol 1992; 20: 144-150.
26. Wolf M.W., Varigos B.A. Sinus arrhythmia in acute myocardial infarction. Med J Austral 1978;2: 52-53.
27. Zipes D.P. Influence of myocardial ishaemia and infarction on autonomic innervation of heart. Ibid 1990;82: 1095-1099.
28. Galinier M., Foursade J., Androdias Ch. et al. Depressed frequency domain measures of HRV as an independent predictor of sudden death in chronic heart failure // Eur Heart J, 1999, v. 20, p. 117-120.