

Возможность оценки атеросклеротического ремоделирования коронарных артерий посредством анализа спектральных различий variability сердечного и пульсового ритмов

П.А. Лебедев¹, Е.П. Лебедева¹, Д.В. Дупляков¹, Л.И. Калакутский², А.А. Федотов²

¹Самарский государственный медицинский университет, Самара, Россия

²Самарский государственный аэрокосмический университет им. акад. С.П. Королева, Самара, Россия

Лебедев П.А. — доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой терапии института последипломного образования Самарского государственного медицинского университета; Лебедева Е.П. — клинический ординатор кафедры факультетской терапии Самарского государственного медицинского университета; Дупляков Д.В. — доктор медицинских наук, доцент кафедры кардиологии и кардиохирургии Самарского государственного медицинского университета, заместитель главного врача Самарского областного клинического кардиодиспансера; Калакутский Л.И. — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Радиотехника и Медицинские диагностические системы» Самарского государственного аэрокосмического университета им. акад. С.П. Королева; Федотов А.А. — аспирант кафедры «Радиотехника и Медицинские диагностические системы» Самарского государственного аэрокосмического университета им. акад. С.П. Королева.

Контактная информация: ул. Чапаевская, д. 89, Самара, Россия, 443099. Тел.: 8 (846) 956-56-42. E-mail: lebedcard@rambler.ru (Лебедев Петр Алексеевич).

Резюме

Цель исследования — определение возможности оценки степени коронарного стеноза у пациентов с хроническими формами ишемической болезни сердца (ИБС) посредством использования различий в показателях variability сердечного и пульсового ритмов в ходе пробы с контролируемым дыханием. **Материалы и методы.** В исследование были включены 30 пациентов с хроническими формами ИБС, которые по данным коронарографии были разделены на группы: I группа — 10 пациентов с интактными коронарными артериями, II группа — 20 пациентов с суммарным индексом коронарных стенозов от 3 до 21 балла. У всех обследуемых проводилась одновременная запись электрокардиограммы (ЭКГ) и пальцевой фотоплетизмограммы в горизонтальном положении в течение 5 минут при спонтанном дыхании, а затем 5 минут при контролируемом дыхании с последующим анализом variability сердечного и пульсового ритмов. **Результаты.** Предложены показатели для оценки степени коронарного стеноза, основанные на спектральных различиях пульсового и сердечного ритмов, обусловленных, по-видимому, влиянием ишемии миокарда на активность кардиопульмональных барорецепторов. **Заключение.** Показано, что одновременная регистрация сердечного и пульсового ритмов в ходе пробы с контролируемым дыханием и их последующий спектральный анализ позволяют использовать данный метод для оценки атеросклеротического ремоделирования коронарных артерий.

Ключевые слова: атеросклеротическое ремоделирование коронарных артерий, контролируемая частота дыхания, variability сердечного ритма, variability пульсового ритма, кардиопульмональный барорефлекс.

Possibility of assessment of atherosclerotic coronary artery remodeling by spectral analysis of differences of heart and pulse rhythms variability

P.A. Lebedev¹, E.P. Lebedeva¹, D.V. Duplyakov¹, L.I. Kalakutsky², A.A. Fedotov²

¹Samara State Medical University, Samara, Russia

²Samara State Aerocosmic University, Samara, Russia

Corresponding author: 89 Chapaevskaya st., Samara, Russia, 443099. Phone: 8 (846) 956-56-42. E-mail: lebedcard@rambler.ru (Pyotr A. Lebedev, MD, PhD, Professor at the Department of Internal Diseases of the Institution of Postgraduate Studies of Samara State Medical University).

Abstract

Objective. We propose assessment of coronary artery stenoses by estimating the difference in heart and pulse rhythm variability during the controlled respiratory rate test. **Design and methods.** The study included 30 patients with chronic coronary artery disease, divided into groups according to coronary angiography data: I group — 10 patients with intact coronary arteries, II group — 20 patients with coronary artery stenoses (summary index 3–21). All patients were examined

by simultaneous recording of electrocardiogram (ECG) and digital arterial pulse in the supine position. First record was made during 5 minutes of spontaneous breathing, second record followed by 5 minutes under controlled breathing, with subsequent analysis of heart and pulse rate variability. **Results.** We propose two coefficients K_1 and K_2 for evaluation of coronary artery stenoses, which based on the spectral differences of heart and pulse rhythms as a result of myocardial ischemic impact on the activity of cardiopulmonary baroreceptors. **Conclusion.** Simultaneous recording of heart and pulse rhythms during the controlled respiratory rate test with subsequent spectral analysis could be used as a method for assessment of atherosclerotic coronary artery remodeling.

Key words: atherosclerotic coronary artery remodeling, controlled respiratory rate, heart rate variability, pulse rate variability, cardiopulmonary baroreflex.

Статья поступила в редакцию: 09.11.11. и принята к печати: 18.11.11.

Введение

Ишемическая болезнь сердца (ИБС), основной причиной которой является атеросклероз коронарных артерий, характеризуется развитием процессов сердечно-сосудистого ремоделирования, включающих изменение массы и геометрии левого желудочка, увеличение жесткости артериальной системы и тонуса резистивных сосудов. Течение, исходы ИБС определяются наличием и степенью выраженности атеросклероза коронарных артерий и состоянием миокардиальной функции левого желудочка [1, 2]. Однако в патогенезе развития ишемии миокарда, наряду со спазмом крупных коронарных артерий, транзиторной обструкцией, нарушениями микроциркуляции, изменениями функционального состояния эндотелия, важную роль играют гуморальные и нейроциркуляторные расстройства как на уровне центральной, так и периферической нервной системы. Не вызывает сомнения большое значение вегетативной нервной системы в регуляции коронарного кровообращения, возникновении спазма коронарных артерий и характере метаболических процессов в миокарде, что при определенных условиях может привести к развитию ишемии миокарда [3, 4].

Процессы сердечно-сосудистого ремоделирования, в том числе вызванные ишемией миокарда, приводят к нарушению функционирования механизмов барорецепторной регуляции с зон низкого давления — кардиопульмонального барорефлекса (КПБР), который участвует в механизме долговременной регуляции кровообращения, ингибируя симпатическую активность, влияя на сосудистый тонус и объем циркулирующей крови [5, 6]. Кардиопульмональные механо- и хеморецепторы находятся в верхней и нижней полых венах, предсердиях, желудочках, коронарных артериях и легочных артериях и венах [7]. Механорецепторы, расположенные в предсердиях и желудочках, являются чувствительными к незначительным изменениям объема наполнения камер сердца. Аfferентные импульсы с этих рецепторов через ядро солитарного тракта вызывают снижение симпатических влияний на сосудистый тонус в ответ на увеличение наполнения левых отделов сердца на выдохе [5, 8–12]. Хеморецепторам придается большое значение в возникновении брадикардии и гипотензии в условиях острой и хронической ишемии миокарда — так называемый рефлекс Bezold-Jarisch [5, 9, 10, 12].

В настоящее время тестирование КПБР проводят путем создания разрежения на нижние конечности в виде ступенчатой декомпрессии, тем самым искусствен-

но модулируя венозный приток к сердцу [7, 13–16, 18]. Имеются данные, что создание отрицательного давления на нижние конечности, не превышающего 10 мм рт. ст., не изменяет частоту сердечных сокращений, среднее системное артериальное давление, а также конечно-диастолический объем левого и правого желудочков, но при этом происходит значительное снижение объема левого предсердия. В этих условиях механорецепторы не активируются и, соответственно, не происходит подавления симпатических влияний на сосудистый тонус, что выражается в увеличении периферической сосудистой резистентности. Рефлекс оценивают по вазомоторной реакции в предплечье (методом венозной окклюзионной плетизмографии).

Нами предлагается оценивать КПБР в ходе пробы с контролируемым дыханием при одновременной записи пульсового и сердечного ритмов. Данная проба позволяет умеренно модулировать венозный приток к левым камерам сердца, создавая условия для активации КПБР. В норме на вдохе создается отрицательное внутригрудное давление (минус 3–4 мм рт. ст.), увеличивается кровенаполнение правых отделов сердца, а на выдохе — левых. Изменение активности механорецепторов в соответствии с фазами дыхания приводит к закономерным колебаниям тонуса периферических сосудов. Кроме того, хорошо известно влияние дыхания на синусовый ритм, проявляющееся в удлинении кардиоинтервала на выдохе и укорочении — на вдохе, так называемая дыхательная аритмия [19].

Для оценки рефлекторных влияний КПБР на сердечный ритм и периферический сосудистый тонус мы использовали метод одновременной регистрации пульсового и сердечного ритмов с последующим анализом их variability. В настоящее время анализ variability сердечного ритма (ВСР) признан наиболее информативным неинвазивным методом количественной оценки вегетативной регуляции сердечного ритма [17, 19]. Имеются данные, что на показатели ВСР влияет степень стеноза коронарных сосудов: чем она больше, тем выше активность симпатической и ниже активность парасимпатической нервной системы. В то же время определение variability пульсового ритма (ВПР) позволяет оценить влияние различных механизмов регуляции как на синусовый узел, так и на периферический сосудистый тонус [20].

Целью настоящего исследования явилось определение возможности оценки степени коронарного стеноза у пациентов с хроническими формами ИБС посредством

использования различий в показателях вариабельности сердечного (RR-интервалов) и пульсового ритмов (между пульсовыми интервалами) в ходе пробы с контролируемым дыханием.

Материалы и методы

В исследование были включены 30 пациентов (22 мужчины и 8 женщин) с хроническими формами ИБС. Всем пациентам была проведена коронарография, показания к которой определялись на основании рекомендаций Информационно-методического комитета АСС/АНА (Американского Кардиологического Колледжа и Американской Ассоциации Сердца). Для оценки степени атеросклеротического ремоделирования коронарных артерий был рассчитан суммарный индекс стенозов (G. Gensini, 1978 г.) на основании данных коронарографии. Суммировали степени максимального стеноза (от 0 до 100 %) 15 основных сегментов коронарных артерий (рекомендации Американской ассоциации сердца, 1975 г.): ствол левой артерии, проксимальные, средние и дистальные сегменты трех магистральных артерий (правая артерия, передняя межжелудочковая ветвь и огибающая ветвь), септальные, первая и вторая диагональные ветви передней нисходящей артерии, артерии тупого края, заднебоковая и задненисходящая артерии. Оценке 0 баллов соответствовало сужение просвета 0 % от диаметра, 1 балл — до 49 %, 2 балла — на 50–74 %, 3 балла — на 75–99 % и 4 балла соответствовали окклюзии коронарной артерии. Сумма баллов, полученная при оценке поражения коронарного русла, представляла коронарный индекс стенозов для каждого больного. Все пациенты по данным коронарографии были разделены на 2 группы. В I группу вошли 10 пациентов без коронарного стеноза, суммарный индекс стенозов у которых был равен 0 баллов; во II группу — 20 пациентов с суммарным индексом коронарных стенозов от 3 до 21 балла. Клиническая характеристика обследованных пациентов представлена в таблице 1. Все испытуемые дали добровольное согласие на включение их в исследование.

Таблица 1

КЛИНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБСЛЕДОВАННЫХ ПАЦИЕНТОВ

Показатели	I группа (n = 10)	II группа (n = 20)
Средний возраст, лет	54,0 ± 6,9	56,4 ± 8,3
Мужчины/женщины, n	3/7	5/15
Стенокардия напряжения 2–3 ФК, n	3	17
Эпизоды безболевой ишемии, n	4	3
Пароксизмальная форма ФП, n	3	0
ИМ в анамнезе, n	2	10
Инсульт в анамнезе, n	0	3
АГ 2–3-й степени, n	6	17
ХСН I–IIA стадии, n	10	20

Примечание: ФП — фибрилляция предсердий; ФК — функциональный класс; АГ — артериальная гипертензия; ИМ — инфаркт миокарда; ХСН — хроническая сердечная недостаточность.

Критериями исключения из исследования являлись: сахарный диабет; хроническая сердечная недостаточность выше IIА стадии и II функционального класса; постоянная форма фибрилляции предсердий и частая экстрасистолия.

Исследование проводилось в тихой комнате при 22 °С. Записи у всех испытуемых выполнялись в период с 10⁰⁰ до 12⁰⁰, натощак, после 10-минутного отдыха в положении лежа. Все лекарственные препараты отменялись за 12 часов до обследования.

Регистрация биосигналов проводилась с помощью пульсоксиметра «ЭЛОКС-01» и монитора пациента «КОРОС-300» с последующей обработкой данных на компьютере. Сердечный ритм регистрировался посредством записи ЭКГ (I стандартное отведение), которая осуществлялась синхронно с записью пальцевой фотоплетизмограммы (ФПГ) в течение 5 минут при спонтанном дыхании. Следующая запись производилась на протяжении 5 минут при контролируемом дыхании. Вдох и выдох осуществлялись по световому сигналу электронного метронома, запрограммированного на частоту 6 дыханий в минуту.

Анализировались 5-минутные фрагменты записи сигналов ЭКГ и фотоплетизмограмм, не содержащие помех и экстрасистол.

В последующем в среде Matlab полученные ритмо- и пульсограммы обрабатывались с целью построения соответствующих спектрограмм и расчетов основных спектральных показателей ВСП. Анализ спектральных показателей ВСП производили с учетом рекомендаций рабочей группы Европейского общества кардиологов и Североамериканского общества по кардиостимуляции и электрофизиологии (1996) [16]. При анализе ВПР пользовались аналогичным способом. Определяли следующие показатели: высокочастотный компонент (HF); низкочастотный компонент (LF), соотношение LF/HF. Мощность колебаний межсистолических и межпульсовых интервалов рассчитывали как площадь под кривой спектра в соответствующих диапазонах частот. Также вычисляли нормализованные показатели частотных компонентов HF и LF (HF_n, %; LF_n, %) для нивелирования влияния на них общей мощности.

Для оценки степени коронарного стеноза и косвенно процессов атеросклеротического ремоделирования коронарных артерий на основе анализа вариабельности пульсового и сердечного ритмов во время проведения пробы с контролируемым дыханием нами предложены следующие показатели:

$$k_1 = \left(\frac{PSD_{0,1\Gamma y}^{PP}}{TP^{PP}} - \frac{PSD_{0,1\Gamma y}^{RR}}{TP^{RR}} \right) \times 100 \%,$$

$$k_2 = \frac{PSD_{0,1\Gamma y}^{PP} - PSD_{0,1\Gamma y}^{RR}}{PSD_{0,1\Gamma y}^{PP}} \times 100 \%,$$

где:

$PSD_{0,1\text{Гц}}^{PP}$ — величина спектральной плотности мощности временной последовательности межпульсовых интервалов на частоте 0,1 Гц;

$PSD_{0,1\text{Гц}}^{RR}$ — величина спектральной плотности мощности временной последовательности R-R интервалов на частоте 0,1 Гц;

TP^{PP} — общая спектральная мощность временной последовательности межпульсовых интервалов;

TP^{RR} — общая спектральная мощность временной последовательности R-R интервалов.

Далее для показателей k_1 и k_2 нами были определены значения чувствительности и специфичности.

В качестве метода «золотого стандарта» мы использовали результаты, полученные в ходе проведения коронарографии у обследуемых.

В качестве классификатора, относящего обследуемого к одной из двух групп — группе I (отсутствие стеноза) или группе II (наличие стеноза) — нами использовался простой пороговый уровень. На основе полученных данных в качестве такого порога для обоих диагностических показателей k_1 и k_2 было выбрано значение равное нулю. Таким образом, если значение показателя k_1 или k_2 превышали пороговый уровень, то обследуемого относили к группе I, если нет — к группе II.

Статистическую обработку полученных результатов проводили с помощью компьютерной программы Statistica 6.0 for Windows. Для оценки достоверности средних показателей в сравниваемых группах применяли непараметрический критерий U Манна-Уитни. Данные были представлены в виде $M \pm SD$. Различия считали достоверными при $p < 0,05$.

Результаты

При анализе спектральных показателей variability сердечного и пульсового ритмов, взятых изолированно, как при спонтанном, так и при контролируемом дыхании нами не было выявлено достоверных отличий пациентов I и II групп (табл. 2).

В ходе пробы с контролируемым дыханием нами получены типичные ритмограммы и спектрограммы пациентов I группы с интактными коронарными артериями (рис. 1) и пациентов II группы со стенозирующим коронаросклерозом (рис. 2). У всех пациентов регистрировался пик спектральной мощности на частоте 0,1 Гц, что соответствует частоте 6 дыханий в минуту. При этом у обследуемых со значительной степенью поражения коронарных артерий максимум спектральной плотности мощности на частоте 0,1 Гц менее выражен по сравнению с обследуемыми без гемодинамически значимого стеноза.

Для пациентов обеих групп нами были рассчитаны показатели разностной variability сердечного и пульсового ритмов (коэффициенты k_1 и k_2) по формулам, представленным выше. На рисунке 3 приведены графики (Box-and-Whisker plot), на которых указаны медиана, 75-й и 25-й перцентили, максимальные и минимальные значения для коэффициентов k_1 и k_2 соответственно, определенных у двух групп обследуемых. Средние значения показателя k_1 и k_2 для I группы ($1,44 \pm 1,65$ и $13,74 \pm 13,07$ усл. ед. соответственно); для II группы ($-2,08 \pm 1,8$ и $-21,22 \pm 27,36$ усл. ед. соответственно). Полученные данные свидетельствуют о существенных и значимых различиях ($p < 0,05$) в значениях показателей k_1 и k_2 для двух групп людей — без стеноза (группа I) и с гемодинамически значимым стенозом (группа II). При

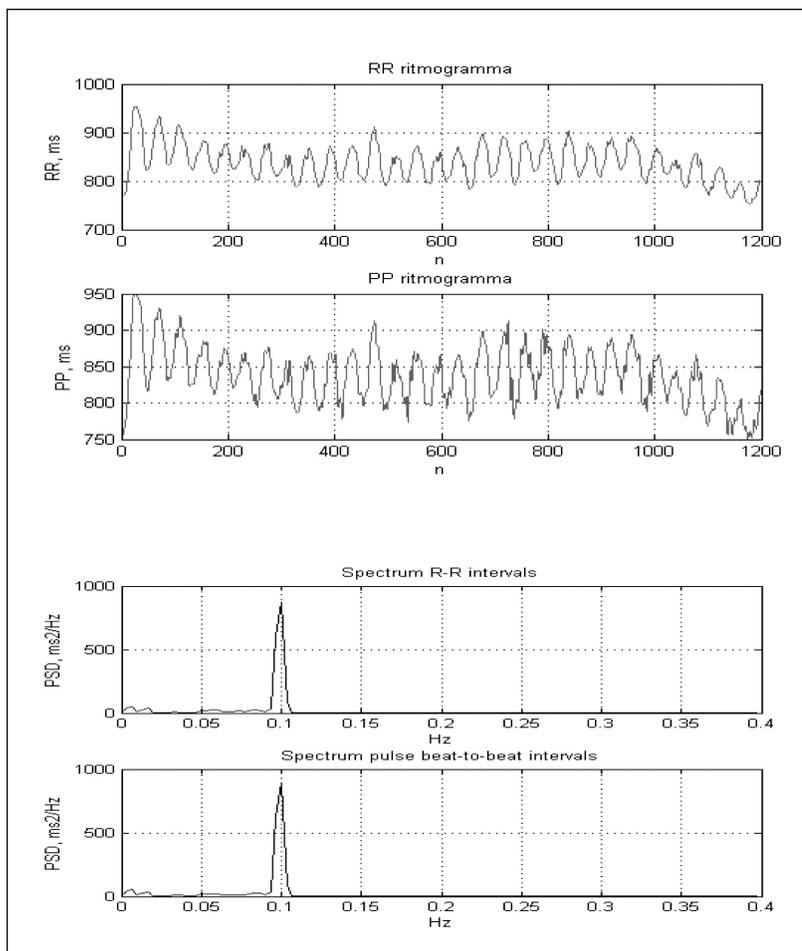
Таблица 2

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВАРИАбельНОСТИ СЕРДЕЧНОГО И ПУЛЬСОВОГО РИТМОВ У ПАЦИЕНТОВ I И II ГРУППЫ ПРИ СПОНТАННОМ И КОНТРОЛИРУЕМОМ ДЫХАНИИ

Спектральные показатели	Спонтанное дыхание		Контролируемое дыхание (6 в минуту)	
	I группа (n = 10)	II группа (n = 20)	I группа (n = 10)	II группа (n = 20)
TP_{rr} , $\text{мс}^2/\text{Гц}$	$2165,42 \pm 1217,16$	$1963,81 \pm 1583,24$	$2960,82 \pm 1252,72$	$2359,79 \pm 1642,49$
TP_{pp} , $\text{мс}^2/\text{Гц}$	$2235,28 \pm 1269,41$	$2133,28 \pm 1580,19$	$3361,5 \pm 1346,84$	$2447,99 \pm 1632,16$
LF _{rr} , %	$53,3 \pm 15,65$	$49,74 \pm 12,34$	$68,3 \pm 19,72$	$68,93 \pm 14,11$
LF _{pp} , %	$50,72 \pm 14,52$	$45,08 \pm 10,51$	$61,64 \pm 18,82$	$63,95 \pm 14,99$
HF _{rr} , %	$47,34 \pm 15,32$	$51,35 \pm 11,04$	$32,58 \pm 18,99$	$31,38 \pm 13,79$
HF _{pp} , %	$49,82 \pm 14,23$	$55,83 \pm 9,52$	$39,22 \pm 17,9$	$36,45 \pm 14,41$
LF/HF _{rr} , усл. ед.	$1,54 \pm 0,88$	$1,08 \pm 0,61$	$3,06 \pm 1,83$	$3,33 \pm 3,13$
LF/HF _{pp} , усл. ед.	$1,32 \pm 0,71$	$0,87 \pm 0,47$	$2,28 \pm 1,83$	$2,57 \pm 2,54$

Примечание: TP — общая спектральная мощность в $\text{мс}^2/\text{Гц}$; LF — отношение мощности низкочастотного спектра к общей спектральной мощности с учетом вычета очень низкочастотного спектра в процентах; HF — отношение мощности высокочастотного спектра к общей спектральной мощности с учетом вычета очень низкочастотного спектра в процентах; LF/HF — отношение низкочастотной мощности спектра к высокочастотной; rr — показатели получены в ходе анализа variability сердечного ритма; pp — показатели получены в ходе анализа variability пульсового ритма.

Рисунок 1. Результаты обследования пациента I группы 49 лет с интактными коронарными артериями в ходе пробы с контролируемым дыханием



Примечание: Сверху вниз: ритмограмма длительностей R-R интервалов от времени, ритмограмма длительностей межпульсовых интервалов от времени, спектральная плотность мощности выборки R-R интервалов, спектральная плотность мощности выборки межпульсовых интервалов. RR ritmogramma — кардиоинтервалограмма; PP ritmogramma — пульсограмма; RR — продолжительность межсистолических интервалов в мс; PP — продолжительность межпульсовых интервалов в мс; n — порядковый номер межсистолических и межпульсовых интервалов; Spectrum R-R intervals — спектральный анализ кардиоинтервалограмм; Spectrum pulse beat-to-beat intervals — спектральный анализ пульсограмм; PSD — мощность спектра в мс²/Гц; Hz — частота периодических колебаний, выраженная в Гц.

этом значения показателя k_2 имеют больший интерквантильный размах, чем значения показателя k_1 для обеих групп обследуемых.

Для полученных показателей нами были рассчитаны значения чувствительности и специфичности (табл. 3). Таким образом, диагностический показатель k_2 имеет более высокую чувствительность и специфичность, чем показатель k_1 .

Можно предположить, что хроническая ишемия миокарда вызывает дезактивацию КПБР путем уменьшения чувствительности хемо- и барорецепторов в миокарде левого желудочка. В результате утрачивается способность к модулированию периферического сосудистого тонуса в

зависимости от величины наполнения левых камер сердца, что приводит к исчезновению различий в спектре межсистолических и пульсовых интервалов на частоте 0,1 Гц.

Обсуждение

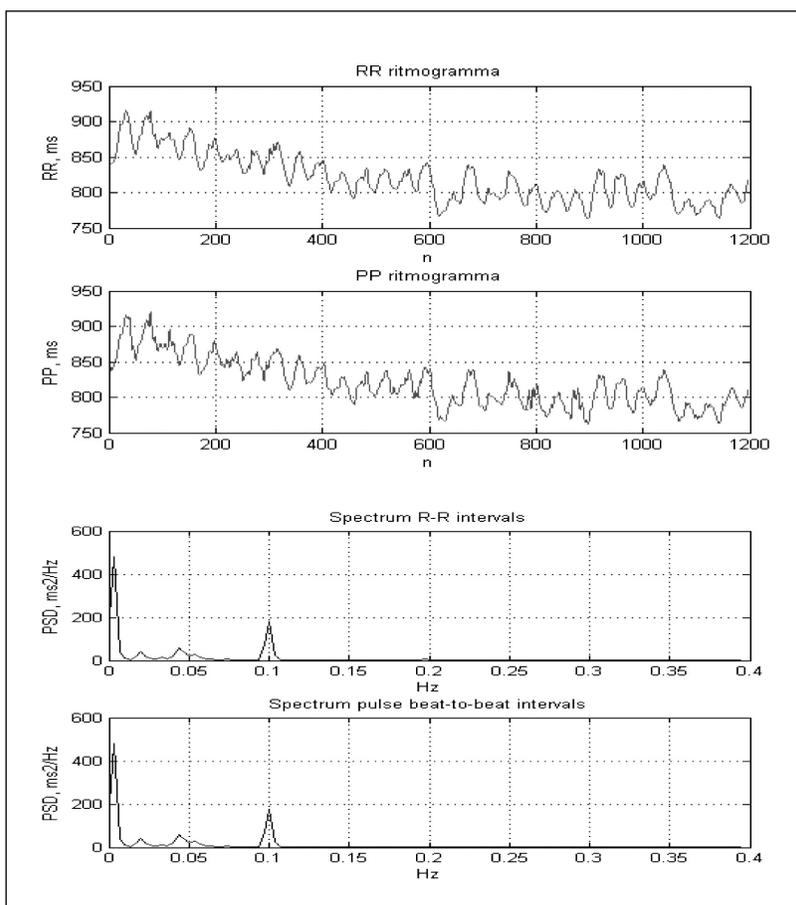
Проба с контролируемым дыханием была выбрана нами не случайно, поскольку в предыдущих работах нами было показано, что она может иметь самостоятельное значение в оценке КПБР. Активация на выдохе механорецепторов КПБР, находящихся в левых отделах сердца, приводит к уменьшению симпатических влияний на периферическую сосудистую резистентность, что проявляется в снижении тонуса сосудов. Эти изменения

Таблица 3

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ И СПЕЦИФИЧНОСТЬ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ k_1 И k_2

Диагностический показатель	Чувствительность S^+ , %	Специфичность S^- , %
k_1	67	73
k_2	70	80

Рисунок 2. Результаты обследования пациента II группы 55 лет с суммарным коронарным индексом стенозов равным 13 баллам в ходе пробы с контролируемым дыханием



Примечание: Сверху вниз: ритмограмма длительностей R-R интервалов от времени, ритмограмма длительностей межпульсовых интервалов от времени, спектральная плотность мощности выборки R-R интервалов, спектральная плотность мощности выборки межпульсовых интервалов. RR ritmogramma — кардиоинтервалограмма; PP ritmogramma — пульсограмма; RR — продолжительность межсистолических интервалов в мс; PP — продолжительность межпульсовых интервалов в мс; n — порядковый номер межсистолических и межпульсовых интервалов; Spectrum R-R intervals — спектральный анализ кардиоинтервалограмм; Spectrum pulse beat-to-beat intervals — спектральный анализ пульсограмм; PSD — мощность спектра в мс²/Гц; Hz — частота периодических колебаний, выраженная в Гц.

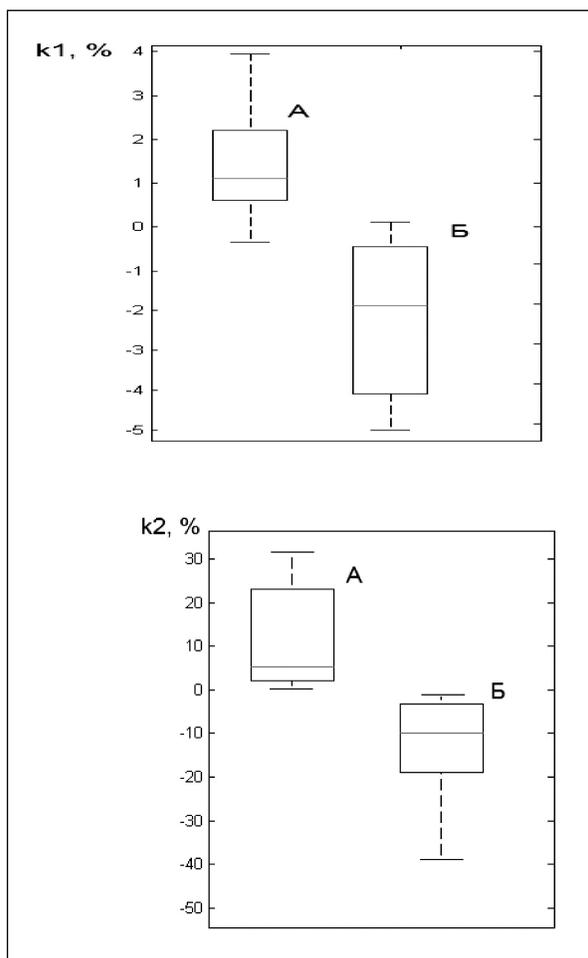
в периферическом сосудистом тоне в зависимости от фаз дыхания оценивались нами посредством регистрации фотоплетизмограммы с последующим анализом ВПР. Таким образом, тонус периферических сосудов сохраняет возможность к изменениям в зависимости от фаз дыхания при условии наличия интактных кардиопульмональных рецепторов в левом предсердии и левом желудочке.

В условиях хронической ишемии миокарда, выраженность которой в значительной степени определяется суммарной степенью стенозирования крупных коронарных артерий, происходят изменения в механизмах функционирования КПБР. Длительное воздействие на хеморецепторы КПБР специфических эндогенных субстанций, высвобождаемых в условиях недостаточного кровоснабжения миокарда, по всей видимости, способно изменять чувствительность механорецепторов, реагирующих на дыхательно-опосредованные колебания притока крови к сердцу. Данные выводы подтверждаются нами при обследовании пациентов со значительной степенью поражения коронарных артерий, у которых максимум спектральной плотности мощности на частоте 0,1 Гц менее выражен по сравнению с обследуемыми без гемодинамически значимого стеноза.

В ходе проведенного нами исследования были предложены показатели k_1 и k_2 , которые отражают различие величин спектральной плотности мощности временной последовательности межсистолических и межпульсовых интервалов на частоте 0,1 Гц. Данные показатели свидетельствуют о том, что у пациентов без коронарного стеноза на частоте 0,1 Гц величина спектральной плотности мощности временной последовательности межпульсовых интервалов больше, чем межсистолических. Это можно объяснить наличием у них интактных рецепторов КПБР. Для пациентов с различной степенью коронарного стеноза, напротив, характерно преобладание спектральной плотности мощности временной последовательности межсистолических интервалов над межпульсовыми, что говорит о снижении чувствительности рецепторов КПБР в условиях хронической ишемии миокарда. Это в свою очередь приводит к уменьшению колебаний периферической сосудистой резистентности в соответствии с фазами дыхания.

Таким образом, оба предложенных показателя могут быть использованы для оценки атеросклеротического ремоделирования коронарных артерий, но в связи с большими значениями чувствительности и специфичности предпочтителен коэффициент k_2 .

Рисунок 3. График (Box-and-Whiskerplot) для коэффициента k_1 (верхний) и k_2 (нижний) пациентов I группы (А) и II группы (Б)



Примечание: По оси ординат — значения коэффициентов k_1 и k_2 (%); по оси абсцисс — значения суммарного индекса коронарных стенозов. Горизонтальная линия соответствует тем значениям коэффициентов k_1 и k_2 , которые являются медианой. Верхняя и нижняя границы прямоугольника соответствуют соответственно 75-му и 25-му перцентилям.

По всей видимости, из всех причин, нарушающих кровоснабжение миокарда, именно атеросклеротическое ремоделирование коронарных артерий характеризуется развитием наиболее выраженных ишемических изменений, способных приводить к нарушению функционирования КПБР.

Заключение

На основании результатов проведенного исследования можно сделать заключение о том, что одновременная регистрация сердечного и пульсового ритмов в ходе пробы с контролируемым дыханием и их последующий спектральный анализ позволяют использовать данный метод для оценки стенозирующего атеросклеротического ремоделирования коронарных артерий.

Изменения КПБР у пациентов с хроническими формами ИБС свидетельствуют о нарушении механизма торможения симпатической активности в условиях недостаточного кровоснабжения миокарда.

Необходимы дальнейшие исследования, направленные на изучение влияния процессов сердечно-сосудистого ремоделирования на отдельные звенья дуги КПБР.

Литература

1. Аронов Д.М. Лечение и профилактика атеросклероза. — М.: изд-во «Трида-Х», 2000. — С. 412.
2. Чазов Е.И. К вопросу об атеротромботической болезни // Кардиология. — 2001. — № 4. — С. 4–11.
3. Михайлов В.М. Вариабельность сердечного ритма: опыт практического применения метода. Иваново: изд-во Ивановской гос. мед. акад., 2002. — С. 120–137.
4. Зорин А.В., Ноева Е.А., Хаспекова Н.Б. и др. Нарушение вегетативной регуляции при ишемии миокарда // Терапевт. арх. — 1999. — № 9. — С. 57–61.
5. Izzo J.L.Jr., Sica A., Black H.R. Hypertension primer: the essentials of high blood pressure: basic science, population science, and clinical management. — Lippincott Williams & Wilkins, 2009. — P. 123.
6. Шляхто Е.В., Нифонтов Е.М., Бродская И.С. и др. Восстановление кардиопульмонального барорефлекса у больных ИБС с жизнеспособным дисфункцирующим миокардом после операции аортокоронарного шунтирования // Врач: ежемесяч. науч.-практич. и публицистич. журн. — 2004. — № 10. — С. 34–38.
7. Шаваров А.А., Кашерининов Ю.Р., Мамонтов О.В., Конради А.О., Крутиков А.Н., Шляхто Е.В. Динамика чувствительности кардиопульмонального барорефлекса и вариабельности сердечного ритма у лиц с гипертензивной болезнью в ходе острых лекарственных тестов: сравнение рилменидина и атенолола // Артериал. гипертензия. — 2002. — Т. 8. № 4. — [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.consilium-medicum.com/article/11153>
8. Robertson D. Primer on the autonomic nervous system. — Academic Press, 2004. — P. 147–153.
9. Aviado D.M., Schmidt C.F. Cardiovascular and respiratory reflexes from the left side of the heart // Am. J. Physiol. — 1959. — Vol. 196, № 4. — P. 726–730.
10. Rhoades R., Bell D.R. Medical physiology: principles for clinical medicine // Lippincott Williams & Wilkins, 2009. — P. 309–311.
11. Cacioppo J.T., Tassinary L.G., Berntson G.G. Handbook of psychophysiology. — L.: Cambridge University Press, 2000. — P. 233–235.
12. Richardson D.R., Randall D.C., Speck D.F. Cardiopulmonary system. — Hayes Barton Press, 1998. — P. 213–217.
13. Khurana I. Textbook of medical physiology. — Elsevier India, 2006. — P. 355–358.
14. Oparil S., Weber M.A. Hypertension: a companion to Brenner and Rector's the kidney // Elsevier Health Sciences, 2005. — P. 64.
15. Hainsworth R., Linden R.J., International Union of Physiological Sciences. Commission on Cardiovascular Physiology. Cardiac receptors: report of a symposium sponsored by the Commission on cardiovascular physiology of the International Union of Physiological Sciences, held in the University of Leeds, 14–17 September 1976 // CUP Archive. — 1979. — P. 437–445.
16. Mann D.L. Heart failure: a companion to Braunwald's heart disease. — Elsevier Health Sciences, 2004. — Vol. 436. — P. 260–262.
17. Appenzeller O., Vinken P.J., Bruyn G.W. The autonomic nervous system. — Elsevier Health Sciences, 1999. — Vol. 74. — P. 283–292.
18. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation and clinical use // Circulation. — 1996. — Vol. 93, № 5. — P. 1043–1065.
19. Зверев О.Г., Зверев Д.А., Шлойдо Е.А. и др. Барорефлекторная регуляция кровообращения в условиях диастолической дисфункции у больных гипертензивной болезнью с различными типами гипертрофии левого желудочка // Вестн. аритмол. — 2011. — № 21. — С. 51.
20. Земцовский Э.В., Тихоненко В.М., Реева С.В., Демидова М.М. Функциональная диагностика состояния вегетативной нервной системы. — СПб.: Инкарт, 2004. — С. 43.
21. Гуржин С.Г., Калакутский Л.И., Федотов А.А. Методика оценки эластических свойств сосудов на основе анализа вариабельности сердечного ритма // Биомед. радиоэлектроника. — 2010. — № 8. — С. 54.