

ИНФОРМАТИВНОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРОБ СОСТОЯНИЯ КАРДИОРЕСПИРАТОРНОЙ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА В НОРМЕ И ПРИ ПАТОЛОГИИ

ПАНКОВА Н.Б. (1), НАДОРОВ С.А. (2), ЕЖОВА О.А. (3),
АГАДЖАНЯН Н.А. (3), КАРГАНОВ М.Ю.

(1) ГУ НИИ общей патологии и патофизиологии РАМН, (2) ГУ НИИ фармакологии РАМН, (3) Российский университет дружбы народов

Использование функциональных проб для клинической оценки состояния различных систем организма распространено как в кардиологии [2, 5], так и в других областях медицины (пульмонологии, неврологии и др.). При обследовании здоровых испытуемых с целью определения функциональных резервов их организма как показателя уровня здоровья [1, 3] чаще всего используют пробы с физической нагрузкой [5]. В последние годы в качестве неинвазивного метода количественного определения реакции организма на предлагаемое воздействие используют анализ вариабельности сердечного ритма, поскольку ритм сердечных сокращений является интегральным показателем как состояния сердечно-сосудистой системы, так и работы многих регуляторных систем организма [3-4]. Целью настоящей работы был сравнительный анализ результатов тестирования функциональных резервов организма здоровых испытуемых и больных с верифицированной патологией в наиболее распространенных функциональных пробах.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Работа выполнена на приборе «спироартериокардиоритмограф» (САКР), производитель – ООО «ИНТОКС», г. Санкт-Петербург [8-9]. Прибор САКР проводит одновременную регистрацию показателей дыхания, периферического артериального давления (пАД) в пальцевой артерии по методу Пеназа и электрокардиограммы в I-м стандартном отведении. Непрерывная регистрация показателей в течение 75-300 с дает возможность оценивать спектральные (по алгоритму параметрической оценки спектральной плотности мощности), геометрические и статистические показатели вариабельности сердечного ритма, расчетные индексы на их основе, спектральные показатели вариабельности систолического и диастолического пАД (пСАД и пДАД), а также альфа-индекс, отражающий величину чувствительности спонтанного артериального барорефлекса (ЧБР). САКР позволяет также оценивать частоту сердечных сокращений (ЧСС), длительность R-R интервалов, показатели ударного объема сердца (УО) и минутного объема кровообращения (МОК), рассчитываемые на основании фазового анализа сердечного ритма и показателей АД.

Из рекомендуемых для анализа статистических показателей вариабельности сердечного ритма [12] в нашей работе использовали SDNN, RMSSD и pNN50, рассчитываемые по массиву кардиоинтервалов. Геометрические показатели применяли для расчета ИН – индекса напряжения регуляторных систем, или стресс-индекса (степень преобладания активности центральных механизмов регуляции над автономными) [4]. Из спектральных показателей вариабельности сердечного ритма оценивали TP (сум-

марную мощность спектра), VLF и VLF% (абсолютную и относительную мощность диапазона очень низких частот), LF и LF% (абсолютную и относительную мощность диапазона низких частот), HF и HF% (абсолютную и относительную мощность диапазона высоких частот). На основе спектральных показателей вариабельности сердечного ритма рассчитывали индексы ВБ (вегетативный баланс) и ИЦ (индекс централизации) [4]. Аналогично оценивали спектры вариабельности пСАД и пДАД.

В работе использованы следующие функциональные пробы:

- Модель физической деятельности – 20 приседаний в максимально возможном темпе, но без учета времени. Проба проведена на 40 испытуемых, мужчинах и женщинах, средний возраст $38,82 \pm 2,16$ лет.

- Тестирование в спирометрической маске с произвольным дыханием, контроль – тестирование без маски. Проба проведена на 44 испытуемых, мужчинах и женщинах, средний возраст $38,42 \pm 1,33$ лет.

- Контролируемое дыхание с частотой 6 дыхательных циклов в 1 мин., контроль – тестирование в режиме с произвольным дыханием (обе регистрации проводятся в спирометрической маске). Проба выполнена на 57 здоровых испытуемых, мужчинах и женщинах, средний возраст $31,78 \pm 1,00$ год, а также 10 больных с верифицированным диагнозом «бронхиальная астма и/или круглогодичный аллергический ринит (БА/КАР)», мужчинах и женщинах, средний возраст $43,45 \pm 3,43$ года.

Гендерные различия в данном исследовании не анализировали.

Дополнительная оценка показателей состояния сердечно-сосудистой системы проведена при помощи автоматического измерителя артериального давления (тонометра) фирмы «A@D Medical», Япония, модель UA-777 (измерение ЧСС и плечевого САД и ДАД).

В тесте с физической нагрузкой до выполнения функциональной пробы проводили измерения тонометром и регистрацию на САКРе (в течение 2 мин.), сразу же после выполнения пробы измерения повторяли (временной интервал от завершения выполнения пробы до завершения тестирования составлял 4-5 мин.). В тестах со спирометрической маской и контролируемым дыханием на САКРе проводили две последовательные 2-минутные регистрации – контрольную и тестирующую.

Статистическую обработку полученных результатов проводили при помощи дисперсионного анализа для повторных измерений (Repeated measures ANOVA), частотные характеристики регистрации разных типов ответа организма оценивали при помощи точного метода Фишера по двустороннему критерию χ^2 (пакет статистических программ STATISTICA 6.0).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящей работе анализ состояния испытуемых по статистическим, геометрическим и спектральным показателям variability сердечного ритма в 1-й контрольной регистрации показал, что по большинству показателей все наши испытуемые входят в группу людей с выраженным напряжением механизмов адаптации [3]. У 14 человек отмечено повышение плечевого АД, у 2 – выраженная тахикардия, у 9 человек ИН превышал 200 у.е., однако все испытуемые считали себя практически здоровыми и работоспособными людьми. Высокие значения VLF% и ВБ позволяют сделать предположение, что наши испытуемые, в подавляющем большинстве сотрудники НИИ, находятся в условиях хронического психоэмоционального стресса.

Тестирование состояния сердечно-сосудистой системы наших испытуемых в разных функциональных пробах показало следующее.

Модель физической деятельности. В качестве функциональной пробы с физической нагрузкой при обследовании здоровых испытуемых используют динамические нагрузки разной интенсивности. Преимуществами немаксимальной пробы являются ее «физиологичность» и возможность многоцелевого применения, значительная выраженность гемодинамических сдвигов, линейный характер связи между интенсивностью воздействия и показателями потребления кислорода и величинами важнейших показателей центральной гемодинамики (ЧСС, АД) [5]. В нашей работе при проведении пробы с физической нагрузкой основные показатели состояния сердечно-сосудистой системы менялись незначительно. Однако обнаружено возрастание (более чем на 15% от исходного уровня) высокочастотной составляющей в спектре variability сердечного ритма у 60% испытуемых, в спектре variability пСАД – у 45%, в спектре variability пДАД – у 60%. Одновременно показано снижение ИН у 53% испытуемых, VLF% – у 55%, ИЦ – у 68%, перераспределение ВБ в сторону усиления вагусных влияний – у 53%. В целом приведенные данные говорят об относительном усилении активности автономного контура управления вследствие активации дыхательной системы.

Тестирование в спирометрической маске является функциональной пробой, вызывающей реакцию кардиореспираторной системы (главным образом, изменение спектров variability сердечного ритма и пАД) на затруднение легочной вентиляции: по отчетам испытуемых, их субъективные ощущения сопоставимы с таковыми в общественном транспорте или в закрытом помещении. Условия проведения теста определяются технической особенностью прибора САКР – использованием ультразвукового метода определения скорости воздушного потока, при котором датчики расположены на трубке, прикрепленной к спирометрической маске, и не испытывают фронтального давления воздушного потока [9]. Диаметр трубки обеспечивает свободное дыхание, но увеличивает «мертвый» объем легких (на 275 мл). Выявлено, что в данной пробе основные показатели сердечно-сосудистой системы (ЧСС, АД, УО) менялись незначительно, основные изменения отмечены в спектральных показателях

сердечного ритма и пАД. Обнаружено, что у 57% испытуемых возрастала (более чем на 15% от исходного уровня) суммарная мощность спектра variability сердечного ритма, причем у 73% отмечено возрастание относительной мощности высокочастотной составляющей спектра и у 49% – возрастание показателя RMSSD, что свидетельствует об активации вагусных влияний. Одновременно у 68% испытуемых отмечено снижение ВБ, и у 75% – снижение ИЦ, рассчитываемых с использованием величины HF, отражающей вагусные влияния. Возрастание суммарной мощности спектра variability пСАД выявлено у 52% испытуемых, спектра variability пДАД – у 49%, при этом у 66% обнаружено возрастание относительной мощности HF диапазона спектра variability пДАД. Во всех спектрах отмечено снижение доли очень низких частот: у 59% – в спектре variability сердечного ритма, у 41% – пСАД, у 52% – пДАД. Данные результаты говорят об относительном снижении активности центрального контура управления сердечно-сосудистой системой.

В нашей работе проведен сравнительный анализ изменения состояния сердечно-сосудистой системы одних и тех же испытуемых в пробе с физической нагрузкой и в пробе с тестированием в спирометрической маске (мужчины, n=14, средний возраст $34,49 \pm 2,55$ лет). Выявлено, что в целом тестирование в маске, как и физическая нагрузка, у большей части испытуемых приводило к возрастанию суммарной мощности спектров variability сердечного ритма и пСАД и перераспределению относительной мощности диапазонов этих спектров в сторону усиления высокочастотной составляющей, что отражает активацию дыхания (рис. 1, 2). Однако при тестировании в маске чаще отмечено отсутствие выраженных изменений относительной мощности диапазонов LF% и VLF% в спектре variability сердечного ритма (рис. 1), что, согласно принятой интерпретации спектральных показателей [4, 12], означает отсутствие изменений в активности надсегментарных регуляторных механизмов. В спектре variability пСАД чаще регистрировали снижение относительной мощности диапазонов LF% и HF% при возрастании относительной мощности диапазона VLF% (рис. 2), что предполагает активацию центральных механизмов регуляции сосудистого тонуса. Также в условиях тестирования в маске реже регистрировали возрастание размаха колебаний R-R-интервалов и снижение ИН и чаще – возрастание показателя pNN50 (рис. 3). Учитывая отсутствие выраженных изменений ЧБР, можно сделать заключение, что тестирование в спирометрической маске, как и физическая нагрузка, приводит к мягкой активации дыхательной системы, которая, в свою очередь, через центральные структуры вегетативной нервной системы повышает сосудистый тонус. Однако уровень повышения АД не достигает величин, индуцирующих изменение сердечной деятельности. С этой точки зрения тестирование в спирометрической маске можно рассматривать как функциональную пробу скорее сосудистой системы, чем регуляции сердечной деятельности.

Считается, что **дыхательная проба с частотой дыхания 6 циклов в минуту** является функциональной пробой состояния вагусного звена регуляции сер-

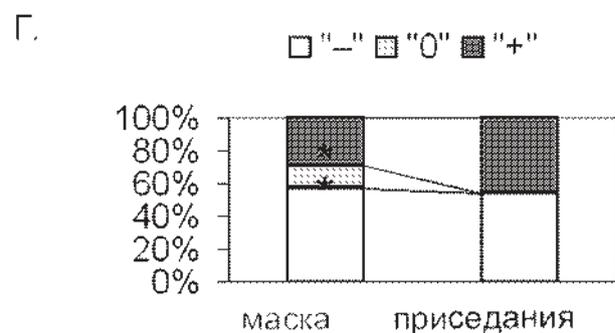
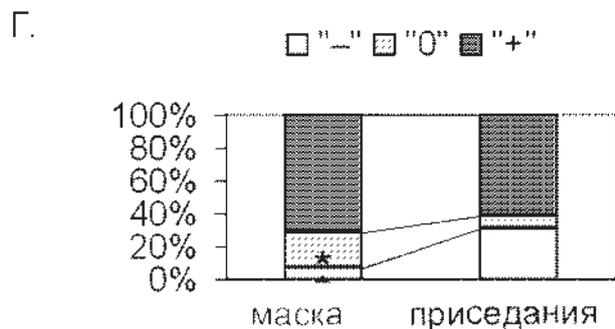
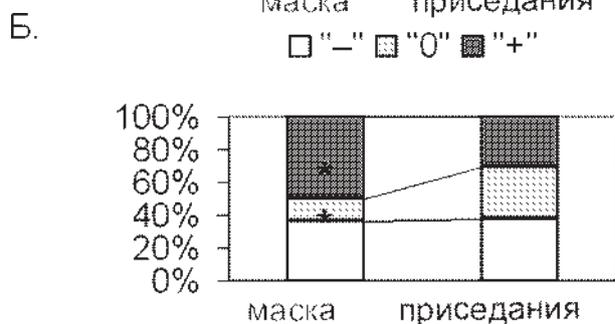
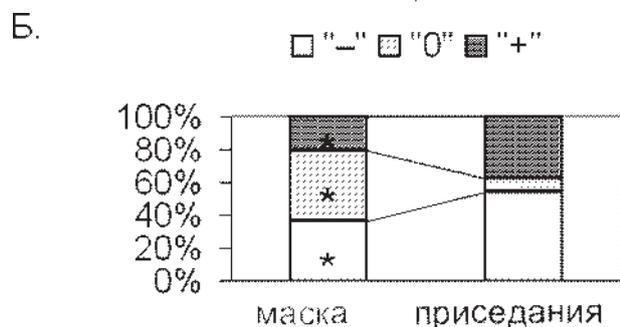
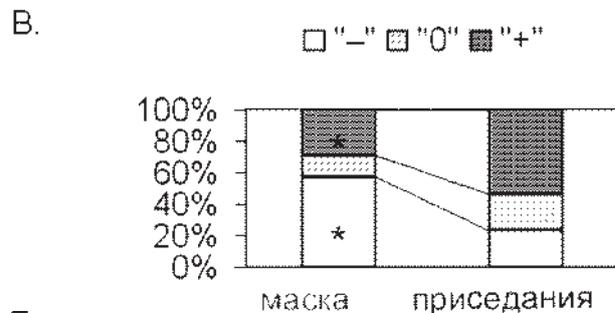
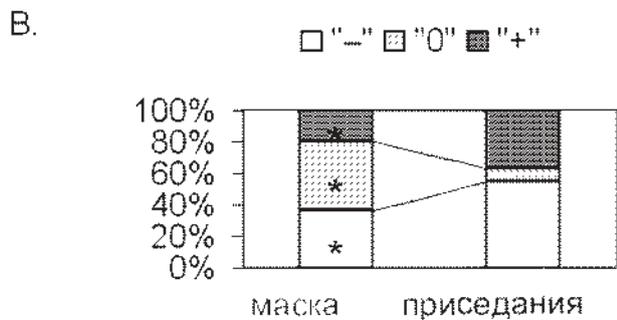
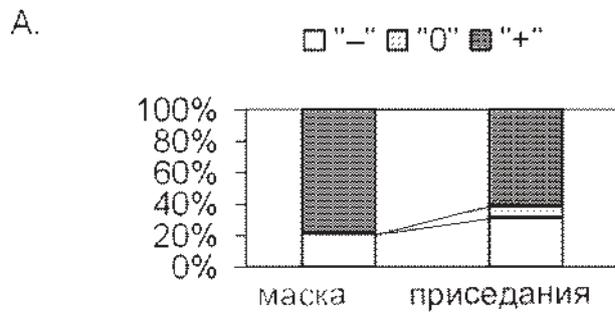
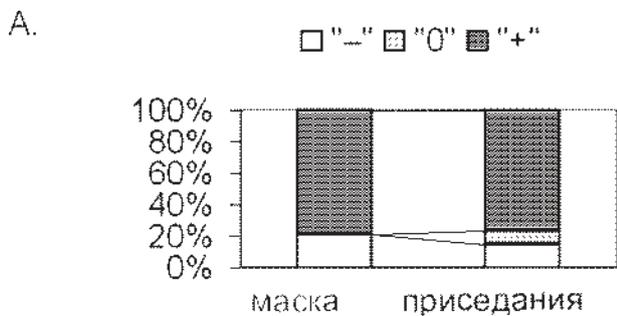


Рис. 1. Частота встречаемости (в %) разных изменений показателей спектра variability сердечного ритма в пробах с тестированием в спирометрической маске (слева) и с физической нагрузкой (справа). А – суммарная мощность спектра, Б – относительная мощность диапазона VLF, В – относительная мощность диапазона LF, Г – относительная мощность диапазона HF. Обозначения: «-» – изменение анализируемого показателя более чем на 15% от исходного уровня в сторону уменьшения, «+» – в сторону возрастания, «0» – изменение показателя менее чем на 15% в любую сторону. Статистическая значимость межгрупповых различий (по точному методу Фишера, двусторонний критерий χ^2): * – $p < 0,05$.

Рис. 2. Частота встречаемости (в %) разных изменений показателей спектра variability периферического систолического артериального давления в пробах с тестированием в спирометрической маске (слева) и с физической нагрузкой (справа). А – суммарная мощность спектра, Б – относительная мощность диапазона VLF, В – относительная мощность диапазона LF, Г – относительная мощность диапазона HF. Остальные обозначения и статистическая значимость межгрупповых различий – как на рис. 1.

дечно-сосудистой системы [10], используется для оценки спонтанного артериального барорефлекса [13] и в диагностике диабетической нейропатии [5]. Известно, что мощность спектра variability сердечного ритма у одних и тех же испытуемых в значительной мере (и нелинейно) зависит от частоты дыхания. При частоте дыхания 6 циклов в мин амплитуда дыхательных волн достигает максимальных значений [6] и считается резонансной частотой в системе легкие – сердце [5], однако их частота попадает не в

HF, а в LF-диапазон спектров variability сердечного ритма и АД, что принципиально затрудняет интерпретацию получаемых данных [7]. В нашей работе тестирование с частотой дыхания 6 циклов в мин. не вызвало выраженных изменений основных показателей сердечно-сосудистой системы (ЧСС, АД, УО). Однако практически все показатели variability сердечного ритма и АД существенно изменялись у 75-95% испытуемых, как и расчетные индексы на их основе. При этом статистические показатели variability сердечного ритма показывали усиление дыхательной составляющей, а спектральные – сни-

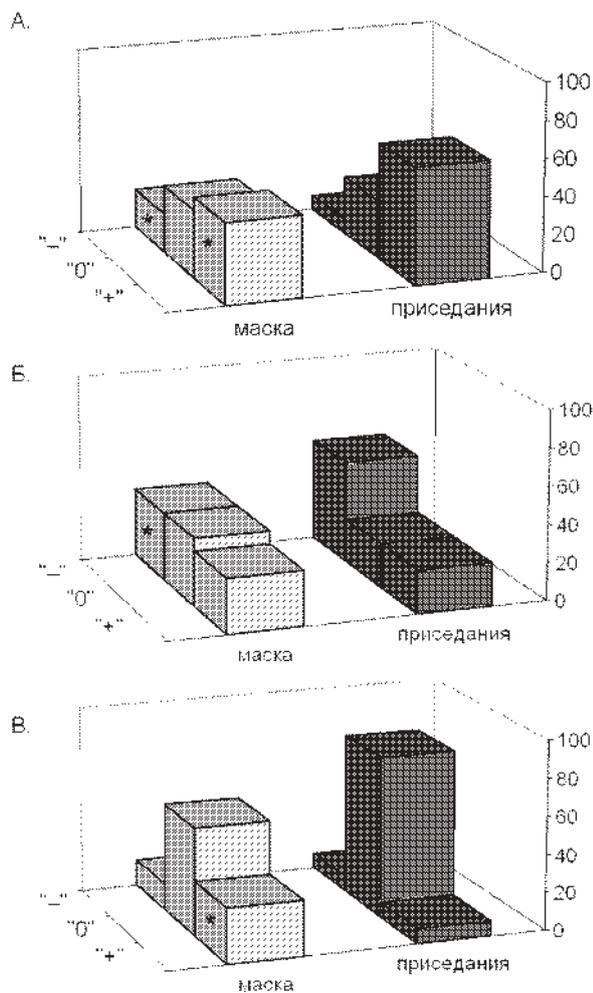


Рис. 3. Частота встречаемости (в %) разных изменений статистических показателей и расчетных индексов спектра variability сердечного ритма в пробах с тестированием в спирометрической маске и с физической нагрузкой. А – размаха колебаний длительности R-R интервалов, Б – стресс-индекса, В – показателя рNN50. Остальные обозначения и статистическая значимость межгрупповых различий – как на рис. 1.

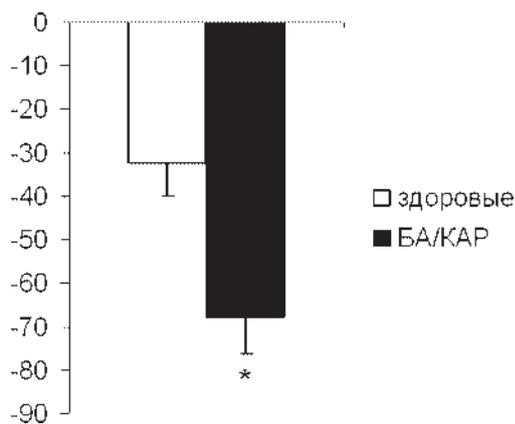


Рис. 4. Изменения (в %) показателей сердечно-сосудистой системы здоровых испытуемых и больных бронхиальной астмой (БА/КАР) в пробе с контролируемым дыханием 6 циклов в мин. изменение относительной мощности высокочастотного диапазона спектра variability периферического систолического АД. Статистическая значимость межгрупповых различий (дисперсионный анализ для повторных измерений Repeated measures ANOVA): * – $p < 0,05$.

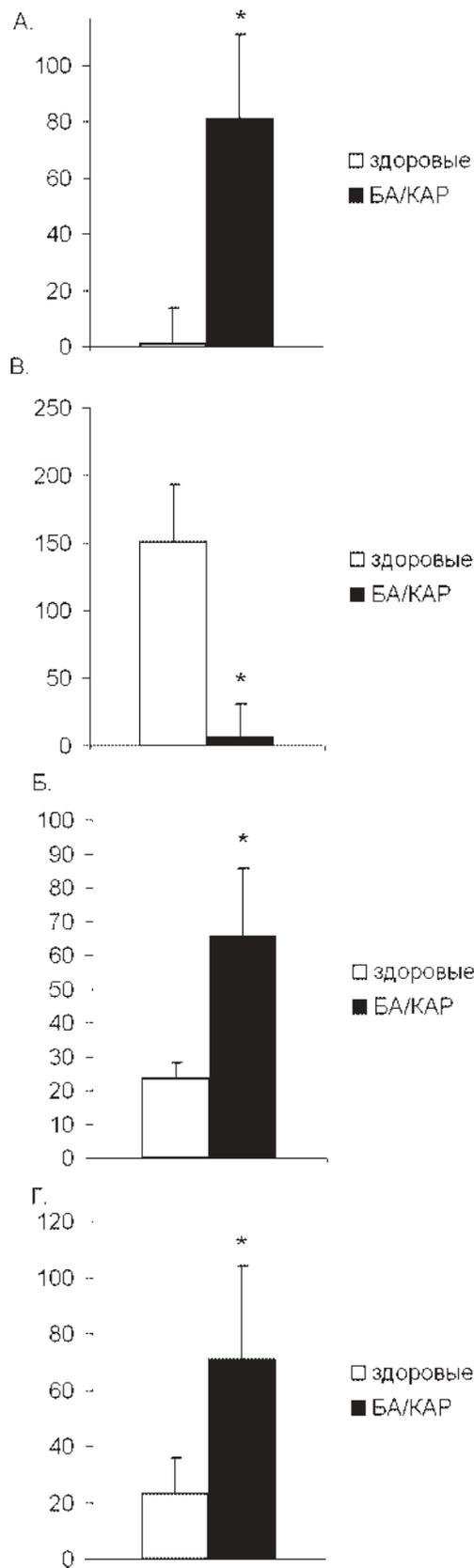


Рис. 5. Изменения (в %) показателей сердечно-сосудистой системы здоровых испытуемых и больных бронхиальной астмой (БА/КАР) при тестировании в спирометрической маске. А – изменение величины стресс-индекса, Б – изменение чувствительности барорефлекса, В – изменение суммарной мощности спектра variability периферического систолического АД, Г – изменение относительной мощности высокочастотного (HF) диапазона спектра variability периферического систолического АД. Статистическая значимость межгрупповых различий – как на рис. 4.

жение мощности диапазона HF за счет возрастания мощности диапазона LF.

Столь «жесткое» воздействие на организм испытуемых позволяет использовать дыхание с частотой 6 циклов в минуту как функциональную пробу, не учитывающую индивидуальные особенности вегетативной регуляции, которые существенно затрудняют интерпретацию результатов других функциональных проб, особенно психоэмоциональных [11].

В нашей работе проведено сравнение выполнения функциональной пробы с дыханием 6 циклов в мин здоровыми испытуемыми и больными с верифицированным диагнозом «бронхиальная астма и/или круглогодичный аллергический ринит». Показано, что в данном тесте различия между группами обнаруживаются только по изменению показателя относительной мощности высокочастотной составляющей спектра variability пСАД (рис. 4). Однако оказалось, что гораздо более информативным является сравнение этих же испытуемых по результатам тестирования в спирометрической маске (рис. 5): мягкая смешанная гипоксия/гиперкапния вызывает у больных людей выраженное повышение ИН, величины ЧБР и относительной мощности высокочастотного диапазона спектра variability пСАД при его неизменной суммарной мощности. Эти данные свидетельствуют о повышенной реактивности симпатического звена вегетативной регуляции сосудистого тонуса и нарушениях регуляции сердечной деятельности у обследованных больных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный сравнительный анализ результатов оценки состояния сердечно-сосудистой системы здоровых испытуемых методом спироартериокардиографии показал, что:

- модель умеренной физической нагрузки вызывает активацию автономного контура регуляции сердечного ритма;
- тестирование в спирометрической маске вызывает снижение активности центрального контура

управления сердечным ритмом и, наоборот, активацию автономного контура управления, но несколько мягче, чем проба с физической нагрузкой; данный тест можно рассматривать как функциональную пробу скорее сосудистой системы, чем регуляции сердечной деятельности;

- функциональная проба с дыханием 6 циклов в минуту является относительно «жестким» воздействием для организма, что позволяет использовать ее как пробу, не учитывающую индивидуальные особенности вегетативной регуляции испытуемых.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агаджанян Н.А., Баевский Р.М., Берсенева П.П. Функциональные резервы организма и теория адаптации // Вестник восст. мед., 2004. № 3(9). С. 4-10.
2. Аронов Д.М., Лупанов В.П. Функциональные пробы в кардиологии. М.: МЕДпресс-информ, 2007. 328 с.
3. Баевский Р.М. Концепция физиологической нормы и критерии здоровья // Рос. физиол. журн. им. И.М.Сеченова, 2003. Т. 89, № 4. С. 473-487.
4. Баевский Р.М., Иванов Г.Г. Variability сердечного ритма: теоретические аспекты и возможности клинического применения // Ультразвук. и функцион. диагностика, 2001. № 3. С. 108-127.
5. Variability сердечного ритма в современной клинике / Ред. Яблунский Н.И., Кантор Б.И., Мартыненко А.В. Изд-во Харьковского нац. ун-та им. В.Н.Каразина, 2001. (www.hrvcongress.org/russian/education/books/hrvinclinic/clinic)
6. Коваленко С.А., Кудий Л.И. Особенности variability сердечного ритма у лиц с разной частотой дыхания // Физиол. чел., 2006. Т. 32, № 6. С. 126-128.
7. Кутерман Э.М., Хаспекова Н.Б. Ритм сердца при пробе 6 дыханий в минуту // Физиол. чел., 1992. Т. 18, № 4. С. 52-55.
8. Панкова Н.Б., Лебедева М.А., Курнешова Л.Е., Пивоваров В.В. Спироартериокардиоритмография – новый метод изучения состояния сердечно-сосудистой системы // Патогенез, 2003. Т. 1, № 2. С. 84-88.
9. Пивоваров В.В. Спироартериокардиоритмограф // Мед. техника, 2006. № 1. С. 38-41.
10. Рябыкина Г.А., Соболев А.В. Variability ритма сердца. М.: Изд-во «Оверлей», 2001. 200 с.
11. Украинцева Ю.В., Берлов Д.Н., Русалова М.Н. Индивидуальные поведенческие и вегетативные проявления эмоционального стресса у человека // Журн. высш. нерв. деят., 2006. Т. 56, № 2. С. 183-192.
12. Heart rate variability / Standards of measurement. Physiological interpretation and clinical use // Eur. Heart Journal, 1996. V. 17. P. 354-381.
13. Parati G. Arterial baroreflex control of heart rate: determining factors and methods to assess its spontaneous modulation // J. Physiol., 2005. V. 565, № 3. P. 706-707.