

УДК 612.13

Л.И. Калакутский, М.В. Комарова, Р.А. Поваляева**ОПРЕДЕЛЕНИЕ АДАПТАЦИОННОГО РЕЗЕРВА
СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ И ВАЗОРЕГУЛИРУЮЩЕЙ
ФУНКЦИИ ЭНДОТЕЛИЯ У БОЛЬНЫХ С ХРОНИЧЕСКОЙ СЕРДЕЧНОЙ
НЕДОСТАТОЧНОСТЬЮ**

Рассмотрена возможность оценки адапционного резерва сердечно-сосудистой системы по нагрузочным пробам у здоровых людей и больных с хронической сердечной недостаточностью. Исследована взаимосвязь показателя функции эндотелия с восстановлением ритма сердца.

Восстановление ритма сердца; хроническая сердечная недостаточность; вазорегулирующая функция эндотелия.

L.I. Kalakutskiy, M.V. Komarova, R.A. Povalyaeva**ADAPTIVE CAPACITY OF CARDIOVASCULAR SYSTEM
AND VASOREGULATING ENDOTHELIAL FUNCTION IN CHRONIC HEART
FAILURE PATIENTS**

Assessment of adaptive reserve of cardiovascular system with the help of short exercise stress was conducted in the group of practical health men and patients with chronic heart failure. Relationship between vasoregulating endothelial function and heart rate recovery was studied.

Heart rate recovery; chronic heart failure; vasoregulating endothelial function.

Оценка адапционных возможностей организма все в большей мере рассматривается как один из важных критериев здоровья. Адаптация организма к среде осуществляется в зависимости от физических, психических и социальных ресурсов. Однако при любых внешних воздействиях в процессе адаптации происходят системные изменения, прежде всего сдвиги гормонального гомеостаза (последовательное повышение уровня катехоламинов, затем глюкокортикоидов), изменения тромбоцитарного и коагуляционного звеньев гемостаза. За приспособление к самым разнообразным факторам внешней среды отвечает, прежде всего, система кровообращения, которую можно рассматривать как индикатор адапционных реакций целостного организма [1]. Способность адаптироваться к внешнему воздействию зависит как от адекватности и экономичности реагирования сердечно-сосудистой системы, так и эффективности регуляторных систем, в частности вегетативной нервной системы и сосудодвигательной функции эндотелия [2].

Существуют различные методы оценки функционального состояния системы кровообращения. Так, показатель здоровья Р.М. Баевского [3] учитывает лишь статические данные о частоте сердечных сокращений (ЧСС) и артериальном давлении, росте, массе тела и возрасте. Значительное количество проб, применяемых в спортивной и восстановительной медицине, основаны на измерении ЧСС в состоянии покоя, при выполнении определённой дозированной нагрузки и спустя то или иное время после её завершения. По данным различных исследователей восстановление ЧСС, особенно в первые 30 с после кратковременной нагрузочной пробы, связано с вагусной активностью [4, 5], снижение которой служит фактором риска сердечно-сосудистых осложнений [6].

Цель работы: разработка способа оценки адапционного резерва сердечно-сосудистой системы по скорости восстановления ритма сердца после пробы с физической нагрузкой, обладающий высокой достоверностью, простотой и возможностью реализации в режиме скрининг диагностики.

Материалы и методы. В исследование включены 53 мужчины, 31 больной с хронической сердечной недостаточностью (ХСН) и 22 практически здоровые лица – группа контроля. Возраст обследованных составлял от 40 до 60 лет. Наличие сердечной недостаточности и её тяжесть оценивали согласно критериям Нью-Йоркской ассоциации сердца (НУНА). Из всех пациентов 1-й функциональный класс сердечной недостаточности имели 15 (48,4%) человек, 2-й функциональный класс – 16 (51,6 %).

Всем испытуемым рассчитывали показатель здоровья Р.М. Баевского:

$$ПЗ=0,011 \times ЧСС+0,014 \times АД_{с}+0,008 \times АД_{д}+0,014 \times В+0,009 \times М+0,004 \times П-0,009 \times Р-0,27,$$

где ПЗ – показатель здоровья в баллах; ЧСС – частота сердечных сокращений за 60 с; САД – систолическое артериальное давление в мм рт. ст; ДАД – диастолическое артериальное давление в мм рт.ст; В — возраст в годах; М – масса тела в кг; П – пол (мужской – 1, женский – 2); Р – рост в см.

Все обследованные выполняли нагрузочную пробу Мартинета: 20 приседаний за 30 с. За 1 мин до начала выполнения пробы, на протяжении пробы и после её окончания (общее время составляло 5 мин) у испытуемых регистрировали электрокардиосигнал с помощью прибора «Кардиотест-01». Последующий анализ ритма сердца проводили с помощью программной оболочки Elograph 3.2.

По данным записи кардиоинтервалов в состоянии покоя (ЧСС₁), в первые 15 с после выполнения приседаний (ЧСС₂) и в период с 61 по 75 с отдыха (ЧСС₃) испытуемым рассчитывали индекс Руффье:

$$\text{Индекс Руффье} = \frac{\text{ЧСС}_1 + \text{ЧСС}_2 + \text{ЧСС}_3 - 200}{100}.$$

Кроме того, рассчитывали разработанный нами диагностический показатель для оценки функционального резерва сердечно-сосудистой системы — показатель восстановления начального ритма сердца (ПВНР). Его определение основано на 100 следующих друг за другом кардиоинтервалах, измеренным сразу после окончания пробы с физической нагрузкой:

$$\text{ПВНР} = \frac{\frac{1}{10} \sum_{i=91}^{100} T_i - \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} T_i}{\sum_{i=1}^{100} T_i} \times 10^3,$$

где T_i – длительность i -го кардиоинтервала.

Вазорегулирующую функцию эндотелия оценивали регистрацией объемной пульсовой волны с помощью фотоплетизмографического (ФПГ) измерительного преобразователя, расположенного на ногтевой фаланге пальца руки обследуемого. Параметры ФПГ регистрировали дважды: исходно и после проведения пробы с ишемией верхней конечности на третьей минуте. В качестве показателя функции эндотелия (ПФЭ) использовали уменьшение относительной амплитуды отраженной волны (индекса аугментации), выраженное в процентах.

Статистический анализ данных включал сравнения групп по критерию Манна–Уитни–Вилкосона и расчет коэффициентов корреляции.

Результаты и обсуждение. Антропометрические показатели – возраст, индекс массы тела – в обследуемых группах не отличались. По показателю ЧСС сравниваемые группы не различались как в состоянии покоя, так и при выполнении физических упражнений. Однако восстановительный период у обследованных

мужчин разных групп существенно различался. У мужчин с сердечной недостаточностью отмечено более длительное время восстановления ($139,5 \pm 9,3$ с) по сравнению со здоровыми мужчинами ($90,0 \pm 9,5$ с, $p=0,009$) и более высокая ЧСС к концу первой минуты отдыха ($93,5 \pm 2,9$ по сравнению с $86,2 \pm 2,8$, $p=0,049$). В то же время индекс Руффье, отражающий скорость восстановления ритма сердца и находящий широкое применение в массовом скрининге физкультурников и практически здоровых людей, в изучаемых группах не различался.

Расчетный показатель ПВНР, учитывающий обе тенденции восстановительного периода, как хронотропный резерв сердца, так и время нормализации ЧСС, позволяет хорошо различить обе группы. Высокие значения ПВНР ($2,91 \pm 0,36$ мс/с в группе здоровых мужчин) отражают хорошую способность организма адаптироваться к физической нагрузке, и наоборот, низкие значения ПВНР ($1,61 \pm 0,16$ мс/с в группе ХСН) характеризуют недостаточный функциональный резерв сердечно-сосудистой системы.

Необходимо отметить, что показатель здоровья Р.М. Баевского, рассчитываемый только по показателям ЧСС и артериального давления в покое, а также по антропометрическим данным, также выявил различия в сравниваемых группах. Несмотря на то, что и здоровые обследованные, и больные ХСН характеризовались по классификации Р.М. Баевского, как лица с напряжением механизмов адаптации (диапазон значений в этой градации: $2,60-3,09$), их результаты в среднем составили $2,71 \pm 0,05$ и $3,02 \pm 0,07$ и статистически значимо различались друг от друга ($p=0,003$). Еще более заметные различия групп выявляются при оценке функции эндотелия и определении ПФЭ, который у здоровых лиц соответствовал физиологической норме ($19,02 \pm 0,65$), а у больных ПФЭ был значительно сниженным ($9,56 \pm 1,45$).

Корреляционный анализ выявил умеренные по тесноте и противоположные по направленности взаимосвязи между ПВНР и показателем здоровья Р.М. Баевского ($r=-0,48$) и между ПВНР и ПФЭ ($r=0,52$). Данные результаты хорошо согласуются с биологической природой рассматриваемых показателей. Снижение ПФЭ отражает дисфункцию эндотелия, которая способствует нарушению автономного баланса и регуляции ЧСС в восстановительном периоде после физической нагрузки, что, в свою очередь, проявляется снижением ПВНР. В линейную комбинацию физиологических параметров, определяющих показатель здоровья Р.М. Баевского, входит систолическое и диастолическое артериальное давление и ЧСС в состоянии покоя, повышения которых даже в пределах границ физиологической нормы для данной возрастной группы отражают снижение адаптационных возможностей и как следствие снижение ПВНР.

Вывод. Предложенный метод оценки параметров сердечного ритма с помощью измерения длительности кардиоинтервалов и определения ПВНР может быть использован для изучения адаптационного резерва у больных с незначительной и умеренной хронической сердечной недостаточностью и у здоровых людей при выполнении нагрузочных проб.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Меерсон Ф.З.* Адаптация сердца к большой физической нагрузке и сердечная недостаточность [Текст] / Ф.З. Меерсон. – М.: Наука, 1975. – 263 с.
2. *Huang, P.* Usefulness of attenuated heart rate recovery immediately after exercise to predict endothelial dysfunction in patients with suspected coronary artery disease [Text] / P. Huang, H. Leu, J. Chen, et al. // *Am J Cardiol* 2004. – Vol. 93, № 1. – P. 10-13.
3. *Баевский Р.М.* Оценка адаптационных возможностей организма и риска развития заболеваний [Текст] / Р.М. Баевский, А.П. Берсенева. – М., 1997. – 265 с.
4. *Imai, K.* Vagally mediated heart rate recovery after exercise is accelerated in athletes but blunted in patient with chronic heart failure [Text] / K. Imai, N. Sato, M. Hori et al. // *J Am Coll Cardiol*. – 1994. – Vol. 24. – P. 1529-1535.

5. *Freeman J.V.* Autonomic nervous system interaction with the cardiovascular system during exercise [Text] / J.V. Freeman, F.E. Dewey, D.M. Hadley et al. // *Progr Cardiovasc Dis.* – 2006. – Vol. 48. – P. 342-362.
6. *Jouven X.* Heart rate profile during exercise as a predictor of sudden death [Text] / X. Jouven, J. Empana, P.J. Schwartz et al. // *N Engl J Med.* – 2005. – Vol. 352. – P. 1951-1958.

Калакутский Лев Иванович

Самарский государственный аэрокосмический университет.

E-mail: bme@ssau.ru.

443086, г. Самара, Московское шоссе, 34а.

Тел.: 88462674549.

Комарова Марина Валериевна

E-mail: marinakom@yandex.ru.

Тел.: 88462674547.

Поваляева Раиса Александровна

Самарский государственный медицинский университет.

E-mail: raisa.poval@rambler.ru.

443099, г. Самара, ул. Чапаевская, 89.

Тел.: 88462321634.

Kalakutski Lev Ivanovich

Samara State Aerospace University.

E-mail: bme@ssau.ru.

34a, Moskovskoe shosse, Samara, 443086, Russia.

Phone: +78462674549.

Komarova Marina Valerievna

E-mail: marinakom@yandex.ru.

Phone: 88462674547.

Povaliajeva Raisa Alexfndrovna

Samara State Medical University.

E-mail: raisa.poval@rambler.ru.

89, Chapaevskaja street, Samara, 443099, Russia.

Phone: 88462321634.

УДК 616.12-07

Л.И. Калакутский, А.А. Федотов

**ФЛУКТУАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ СЕРДЕЧНОГО РИТМА ДЛЯ ОЦЕНКИ
СОСТОЯНИЯ СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ**

Рассмотрен сравнительный анализ фрактальной структуры сердечного ритма на основе регистрации и комплексной обработки сигналов периферического пульса и ЭКГ-сигнала. Установлена зависимость между показателем флуктуации сердечного ритма, определяемого по методу DFA, и состоянием сосудистой регуляции, что позволило сформировать диагностический показатель состояния сердечно-сосудистой системы человека.

Вариабельность сердечного ритма; фрактальная структура; показатель флуктуации.

L.I. Kalakutsky, A.A. Fedotov

**FLUCTUATION ANALYSIS OF HEART RATE FOR ASSESMENT OF HUMAN
VASCULAR SYSTEM**

Comparative analysis of the fractal structure of heart rate based on registration and processing distal arterial pulse and ECG signal was considered. Relationship between fluctuation