

УДК 004.67
DOI

**МЕТОД ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО
СОСТОЯНИЯ КАРДИОРЕСПИРАТОРНОЙ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭКСПЕРТНОГО БАЛЛЬНОГО И РАНГОВОГО
ОЦЕНИВАНИЯ**

**METHOD OF INTEGRAL ASSESSMENT OF FUNCTIONAL
CONDITIONS OF PERSONAL CARDIORESPIRATORY SYSTEM USING
AN EXPERTS SCORE AND RANKING ASSESSMENT**

**М.А. Сурушкин, В.Г. Нестеров, С.В. Игрунова, Е.В. Нестерова
M.A. Surushkin, V.G. Nesterov, S.V. Igrunova, E.V. Nesterova**

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, 85

Belgorod National Reseach University, 85 Pobedy St, Belgorod, 308015, Russia

E-mail: surushkin@bsu.edu.ru

Аннотация

В статье представлено описание метода комплексной оценки состояния кардиореспираторной системы организма человека путем автоматизированного построения системного функционального профиля, включающего статические с точки зрения оценки текущего состояния физиологические параметры: возраст, пол, рост и вес, а также динамические показатели функционирования кардиореспираторной системы (фракция выброса желудочков сердца, частота сердечных сокращений, коэффициент использования кислорода, минутный объем дыхания, минутный объем кровообращения, ударный объем крови) в виде лепестковой диаграммы, и дальнейшей экспертной балльной и ранговой оценки профиля в компьютерной системе с целью накопления банка экспертных данных и разработки базы знаний, основанных на экспертных правилах. Сохранение результатов ранжирования динамических показателей функционального профиля в банке данных с экспертными оценками позволит разработать правила принятия решений для экспертной системы мониторинга функционального состояния.

Abstract

The article provides the description of method for comprehensive assessment of cardiorespiratory system of human body by automated system functional profile development that includes physiological static parameters in terms of current state assessing: age, gender, height and weight, as well as dynamic indicators of cardiorespiratory system functioning (ventricular ejection fraction, heart rate, oxygen utilization rate, minute volume of respiration, minute volume of blood circulation scheniya, stroke volume) in form of petal diagram, and further expert scoring and ranking assessment of the profile in computer system for purpose of expert database accumulation and knowledge base developing, using expert rules. Saving results of dynamic indicators ranking for individual functional profile in databank with expert estimates will allow to develop decision rules for an expert system for functional state monitoring.

Ключевые слова: кардиореспираторная система, фракция выброса желудочков сердца, частота сердечных сокращений, коэффициент использования кислорода, минутный объем дыхания, минутный объем кровообращения, ударный объем крови, лепестковая диаграмма, индивидуальный системный функциональный профиль, экспертное оценивание, балльная оценка, ранжирование физиологических показателей, база знаний.

Keywords: cardiorespiratory system, ventricular ejection fraction, heart rate, oxygen utilization rate, minute volume of respiration, minute volume of blood circulation, stroke volume of blood, petal diagram, individual system functional profile, expert assessment, point assessment, ranking of physiological indicators, knowledge base.

Введение

Среди многочисленных методов исследования, которыми в совершенстве должен владеть современный практический врач, ведущее место справедливо принадлежит инструментальным методам оценки кардиореспираторной системы пациента. Методы функциональной диагностики существенно дополняют нозологический, топический и морфологический диагнозы, являясь важной частью клинического диагноза. Отмечено, что большинство, казалось бы, здоровых людей имеют серьезный коморбидный фон, причём чаще всего встречается патология кардиореспираторной системы [Ковынев и др., 2006; Медведев, 2000; Polonikov et al., 2015; Polonikov et al., 2017; Polonikov et al., 2017; Sirotina et al., 2018].

Одной из проблем обработки и анализа массивов данных, включающих в себя множество различных медико-биологических показателей, является получение системных обобщенных оценок, наиболее информативно отображающих психофизиологическое состояние пациента. Проблема оценки функционального состояния является сложной как в научно-теоретическом, так и методологическом плане, что связано с отсутствием общепризнанных критериев предболезни, а также методов количественной оценки уровней здоровья, соответствующих этим критериям [Курзанов, 2016].

Решение данной проблемы может быть найдено путем применения методов теории принятия решений и технологий компьютерной обработки данных.

Компьютерные технологии используются для автоматизации существующих процессов как в традиционных формах, так и при реализации новых методов функциональных исследований. Большую роль современные информационные технологии играют в физиологических исследованиях [Пятакович, 2011; Сметанкин, 1999; Сурушкин, 2016].

В применяемых сегодня методиках оценки состояния функциональных систем организма при выборе показателей недостаточно внимания уделяется выбору критериев оценки с учётом взаимозависимости и условий проведения оценки показателей работы различных систем [Курзанов, 2016; Путивцева и др., 2017]. В связи с этим наибольший интерес вызывает достижение следующей цели исследования: разработка и описание метода формализации и оценки различных качественных и количественных параметров состояния кардиореспираторной системы, полученных при соблюдении определенных условий, а также создание эффективного и наглядного инструментария, обеспечивающего поддержку принятия решения по оцениванию системы гомеостаза.

Описание метода оценки функционального состояния кардиореспираторной системы

Согласно принципам хронобиологии определение функционального состояния кардиореспираторной системы как индикатора степени адаптации организма человека к различным патогенным факторам должно производиться по комплексу взаимосвязанных физиологических показателей, в качестве основных из которых можно выделить следующие шесть ($n = 6$): ФВ (фракция выброса желудочков сердца), ЧСС (частота сердечных сокращений), МОД (минутный объем дыхания), КИО₂ (коэффициент использования кислорода), МОК (минутный объем кровообращения), УОК (ударный объем крови). При этом для учета взаимовлияния и условий исследования проведение измерений показателей выполняется одновременно путем регистрации и обработки нескольких сигналов, поступающих с датчиков многофункционального медицинского монитора.

На основании полученных данных создается вектор оценки значений выбранных показателей X_i :

$$X_i = \begin{pmatrix} \text{ФВ} \\ \text{ЧСС} \\ \text{МОД} \\ \text{КИО}_2 \\ \text{МОК} \\ \text{УОК} \end{pmatrix}, i = 1..n \quad (1)$$

С целью наглядности отображения и обеспечения условий для принятия решений может быть построен график профиля функционального состояния, с помощью которого можно оценить степень соответствия значения каждого из рассматриваемых показателей общепринятым нормативным значениям. Визуализация набора показателей позволяет повысить эффективность интерпретации и объективной оценки данных.

Для учета множества показателей при проведении интегральной оценки ряд авторов предлагает построение комплексного системного функционального профиля человека в виде лепестковой диаграммы [Григорян, 2015]. При этом в предложенной методике оценка, интерпретация и корректирующие воздействия производятся применительно к отдельным звеньям рассматриваемой функциональной системы, так как целью методики является индивидуализация тренировочного процесса при подведении спортсменов к оптимальной физической форме. Данная методика может быть адаптирована для проведения комплексной оценки функционального состояния кардиореспираторной системы пациента. В частности помимо оценивания отдельных звеньев системы по каждому показателю может быть произведена итоговая оценка компенсаторных и адаптивных реакций организма пациента путем отнесения построенного индивидуального системного функционального профиля к одному из уровней адаптации: нормальная реакция, гипер- и гипореактивность. Такая оценка может производиться с помощью эксперта-врача или автоматизировано с помощью экспертных правил или других способов принятия решений.

Лепестковый вид диаграммы наглядно иллюстрирует степень выраженности отклонения текущего состояния от установленной нормы по нескольким направлениям, что позволяет обеспечить учет всего набора показателей при принятии решений.

Важным условием построения такого графика является стандартизация всех его составляющих путем приведения значений показателей к условным единицам – к процентному представлению значения относительно максимально возможного значения каждого показателя согласно формуле (2):

$$X_i^s = \frac{X_i}{MAX_i} * 100. \quad (2)$$

Таким образом, диапазон допустимых значений каждого показателя (возможные значения длины радиуса) лежит в пределах от 0 до 100 (рис. 1).

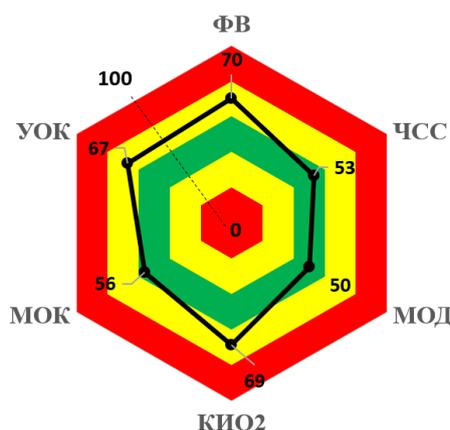


Рис. 1. Вид лепестковой диаграммы индивидуального системного функционального профиля

Fig. 1. View of petal diagram of individual system functional profile

Область диаграммы условно разделена на пять зон, соответствующих уровням адаптации: выраженная и умеренная гиперреакция, нормальная реакция, умеренная и выраженная гипореакция. Для лучшего восприятия зоны окрашены в красный (выраженная реакция), желтый (умеренная реакция) и зеленый (нормальная реакция) цвета.

Перспективной целью построения визуализированного профиля является решение задачи классификации лепестковой диаграммы как с учетом сравнения длины каждого

радиуса с установленным нормативным значением по отдельности, так и с учетом анализа ориентации ребер, соединяющих соседние взаимовлияющие показатели.

Абсолютные и относительные граничные значения уровней адаптации при первоначальном построении диаграммы на основе зарегистрированных значений показателей определяются исходя из технических характеристик используемого мониторингового оборудования.

Многокритериальная оценка систем гомеостаза, как правило, производится не только путем измерения и сравнения с нормативными значениями показателей, но и с использованием оценочных суждений, основанных на опыте и интуиции специалистов-экспертов [Данелян, 2015; Путивцева и др., 2017]. При этом существует ряд задач, связанных, например, с созданием систем с биологической обратной связью, в которых необходима непрерывная динамическая оценка состояния систем организма без привлечения экспертов. Такие системы должны обладать возможностями экспертных систем. Для достижения данной цели ставится задача по созданию и наполнению базы знаний, основанных на данных об оценках системных функциональных профилей пациентов, полученных от врачей-экспертов.

Метод экспертных оценок позволяет использовать знания ведущих врачей для получения оценок функционального профиля по внешнему виду и количественным характеристикам многопараметрического графика с учетом статических данных о возрасте, поле и росто-весовых характеристиках пациента. Каждый эксперт непосредственно оценивает сначала каждый показатель лепестковой диаграммы по отдельности по шкале от 0 до 5 баллов, где каждый балл соответствует определенному уровню адаптации организма, затем ранжирует показатели по важности при принятии решения об итоговой оценке состояния в конкретном рассматриваемом случае, а затем присваивает итоговую оценку всей лепестковой диаграмме в целом также по шкале от 0 до 5 баллов (см. таблицу).

Таблица
Table

Система балльных оценок эксперта
Expert Score System

Балл	Уровень адаптации
0	неопределенный уровень (наличие патологий, заболеваний и т. д.)
1	выраженная гипореакция
2	умеренная гипореакция
3	нормальная реакция
4	умеренная гиперреакция
5	выраженная гиперреакция

Дополнительная экспертная оценка позволит скорректировать диаграмму с учетом индивидуальных особенностей физиологических показателей, выявленных при комплексной оценке на основе экспертного мнения.

Для проведения процедуры экспертного оценивания предполагается выполнение следующих этапов:

1. Формирование экспертной группы – врачи-физиологи.
2. Ознакомление каждого эксперта с построенным в программе комплексным системным функциональным профилем человека.
3. Балльное оценивание показателей лепестковой диаграммы каждым экспертом.
4. Ранжирование показателей лепестковой диаграммы и балльное оценивание системного профиля пациента в целом каждым экспертом.
5. Оценка согласованности мнений экспертов.
6. Интерпретация результатов – утверждение итоговой оценки в случае достаточной степени согласованности мнений и переход к 7 пункту или проведение новой процедуры экспертного оценивания.

7. Построение итогового комплексного функционального профиля человека.

Для проведения экспертизы и накопления банка данных разработано программное обеспечение, выполняющее функции регистрации пациентов и их физиологических показателей: возраст, пол, рост, вес, показатели состояния кардиореспираторной системы, построения лепестковой диаграммы по зарегистрированным показателям, проведения и сохранения результатов балльной оценки экспертов, оценки согласованности мнений экспертов, построение итоговой лепестковой диаграммы и определение уровня адаптации организма на основании результатов экспертной оценки.

Алгоритм обработки экспертных оценок, используемый в программной системе, включает следующие шаги:

1. Балльные экспертные оценки врачей-физиологов (обозначим количество экспертов – m) записываются в матрицу оценок, присвоенных каждому показателю каждым экспертом (включая итоговую оценку лепестковой диаграммы профиля). Если обозначить M_{ij} баллы i -го эксперта, присвоенные j -му показателю, то получится матрица оценок по экспертному методу:

$$M_{ij} = \begin{pmatrix} M_{11}, & M_{12}, & \dots & M_{1j}, & M_{1n}, \\ M_{21}, & M_{22}, & \dots & M_{2j}, & M_{2n}, \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ M_{i1}, & M_{i2}, & \dots & M_{ij}, & M_{in}, \\ M_{m1}, & M_{m2}, & \dots & M_{mj}, & M_{mn}, \end{pmatrix} \quad (3)$$

Каждому оцениваемому показателю, количество которых обозначено n (в нашем случае к ним относятся шесть отдельных показателей и лепестковая диаграмма в целом), в матрице соответствует один столбец, каждому эксперту – одна строка.

2. По данным матрицы оценок определяется среднее арифметическое значение (\bar{M}_j) по каждому показателю по формуле (4):

$$\bar{M}_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m M_{ij}, \quad (4)$$

где m – количество экспертных балльных оценок по j -му показателю; M_{ij} – оценки экспертов в баллах, поставленные за j -й показатель.

3. Вычисляется среднее квадратическое отклонение (σ_j) по каждому показателю по формуле (5):

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (M_{ij} - \bar{M}_j)^2}{m-1}}, \quad (5)$$

где m – количество экспертных балльных оценок по j -му показателю; M_{ij} – оценки экспертов в баллах за j -й показатель; \bar{M}_j – среднее арифметическое значение каждого показателя.

4. Производится расчет коэффициента вариации (V_j) каждого показателя по формуле (6):

$$V_j = \frac{\sigma_j}{\bar{M}_j}, \quad (6)$$

где σ_j – среднее квадратическое отклонение j -ого показателя; \bar{M}_j – среднее арифметическое значение j -ого показателя.

Найденный коэффициент характеризует степень разброса мнений экспертов по отношению к среднему значению коллективной оценки каждого показателя.

5. Определяется степень согласованности мнений экспертов по каждому показателю путем сравнения коэффициента вариации с лимитными значениями:

а) если коэффициент вариации не более 0,2, то степень согласованности считается хорошей;

б) если коэффициент вариации V_j больше 0,2 и меньше значения 0,3, то степень согласованности считается удовлетворительной;

в) если коэффициент вариации V_j больше 0,3, то степень согласованности считается неудовлетворительной.

В первых двух случаях степень согласованности балльных оценок экспертной группы считается достаточной для утверждения результатов балльной оценки показателя.

6. Вычисляется сумма рангов, полученных j -ым показателем от всех экспертов по формуле (7):

$$R_j = \sum_{i=1}^m R_{ji}, \quad (7)$$

где m – количество экспертных ранговых оценок по j -му показателю; R_{ji} – ранги, присвоенные экспертами j -му показателю.

7. Вычисляется среднее арифметическое значение ранга по формуле (8):

$$\bar{R}_j = \frac{R_j}{m}, \quad (8)$$

где m – количество экспертов, R_j – сумма рангов, полученных j -ым показателем от всех экспертов.

8. Вычисляется среднее арифметическое сумм рангов по формуле (9):

$$\bar{R} = \frac{m \cdot n}{2}, \quad (9)$$

где m – количество экспертов, n – количество ранжированных показателей (все показатели кроме итогового).

9. Определяется коэффициент конкордации Кендалла по формуле (10):

$$W = \frac{12}{m^2(n^3-n)} \sum_{j=1}^n (R_j - \bar{R})^2, \quad (10)$$

где m – количество экспертов, n – количество ранжированных показателей, R_j – сумма рангов, полученных j -ым показателем от всех экспертов, \bar{R} – среднее арифметическое сумм рангов.

10. Выполняется оценка значимости коэффициента конкордации по критерию согласия Пирсона по формуле (11):

$$\chi^2 = m \cdot (n - 1) \cdot W, \quad (11)$$

где m – количество экспертов, n – количество ранжированных показателей, W – коэффициент конкордации Кендалла.

11. Вычисленный χ^2 сравнивается с табличным значением для числа степеней свободы $f=n-1$ при заданном уровне значимости $\alpha = 0,05$, и если χ^2 больше табличного, то делается вывод о статистически значимой связи между оценками.

12. Определяется степень согласованности мнений и утверждаются ранговые оценки экспертов.

При значении коэффициента конкордации, равном 1, считается, что получена полная согласованность мнений экспертов, при значении 0,5 – удовлетворительная согласованность, при значении менее 0,5 – низкая согласованность. Согласованность экспертной группы считается достаточной для утверждения ранговых оценок, если коэффициент конкордации значим при заданном уровне $\alpha = 0,05$.

13. В случае утверждения результатов балльной и ранговой оценки всех показателей средние арифметические значения балльных \bar{M}_j и ранговых \bar{R}_j оценок, вычисленные на шаге 2, сохраняются в базу данных в качестве обобщённых оценок этих показателей.

14. Обобщенная оценка по последнему оцениваемому показателю (лепестковая диаграмма в целом) принимается как итоговая оценка системного профиля пациента.

Заключение

Применение информационных технологий для оценки функционального состояния организма на основе исследования и экспертного анализа ряда его функциональных параметров обеспечивает возможность визуализации промежуточной оценки показателей состояния кардиореспираторной системы в виде комплексного профиля пациента для предъявления экспертам, а также накопления базы результатов экспертной оценки.

Разработанный и программно-реализованный алгоритм системы поддержки принятия решений по оценке функционального состояния кардиореспираторной системы

человека отличается использованием метода экспертных оценок с мультипараметрическим подходом, а также функцией формирования базы данных результатов экспертной оценки с целью выработки и сохранения в базу знаний экспертных правил классификации системного функционального профиля человека по уровням адаптивной реакции, которые могут быть использованы в дальнейшем при реализации функций автоматизированной экспертной системы.

Практическая значимость результатов данной работы состоит в возможности использования разработанного программного обеспечения, предназначенного для оценки функционального состояния кардиореспираторной системы, в образовательном процессе при изучении физиологии человека для повышения эффективности освоения методов функциональной диагностики.

В качестве перспективной цели развития разработанного метода на практике может быть выбрано создание дистанционной мобильной системы мониторинга функционального состояния организма человека с помощью информационных технологий на основе использования мобильных гаджетов, датчиков и сети Интернет.

Список литературы

1. Григорян С.В. 2015. Системный анализ и моделирование функционального профиля элитных футболистов. Наука и спорт: современные тенденции. 4 (9): 16–20.
2. Данелян Т.Я. 2015. Формальные методы экспертных оценок. Экономика, статистика и информатика. 1: 183–187.
3. Ковынев И.Б., Поспелова Т.И., Лосева М.И. и др. 2006. Независимое прогностическое влияние коморбидной кардиологической и другой терапевтической патологии на результативность противоопухолевой терапии и выживаемость пациентов с неходжкинской злокачественной лимфомой старшей возрастной группы. Материалы I Национального конгресса терапевтов: 99.
4. Курзанов А.Н. 2016. Методологические аспекты оценки функциональных резервов организма. Современные проблемы науки и образования. № 2. Электронный научный журнал. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=24402> (дата обращения: 15.12.2019).
5. Медведев М.М. 2000. Холтеровское мониторирование в определении лечебной тактики при нарушении ритма сердца. СПб., Инкарт, 48.
6. Путивцева Н.П., Пусная О.П., Игрунова С.В. и др. 2017. Сравнительный анализ применения многокритериальных методов. Научный результат. Информационные технологии. 1 (2): 40–47.
7. Пятакович Ф.А., Сурушкин М.А., Якунченко Т.И., Макконен К.Ф. 2011. Моделирование и алгоритмизация мультипараметрического игрового биоуправления функциональным состоянием человека. Вестник Воронежского государственного технического университета. 7 (1): 251–254.
8. Сметанкин А.А. 1999. Метод биологической обратной связи по дыхательной аритмии сердца – путь к нормализации центральной регуляции дыхательной и сердечно-сосудистой систем. Биологическая обратная связь. 1: 18–26.
9. Сурушкин М.А. 2016. Компьютерный модуль анализа variability сердечного ритма мультипараметрической системы диагностики и биоуправляемого игрового тренинга. Научные ведомости БелГУ. Сер. Экономика. Информатика. № 16 (237), вып. 39: 132–137.
10. Polonikov A.V., Ushachev D.V., Ivanov V.P., (...), Bushueva O.Y., Solodilova M.A. 2015. Altered erythrocyte membrane protein composition mirrors pleiotropic effects of hypertension susceptibility genes and disease pathogenesis. Journal of Hypertension. 33 (11): 2265–2277. DOI: 10.1097/HJH.0000000000000699.
11. Polonikov A., Bykanova M., Ponomarenko I., (...), Shvetsov Y., Ivanov V. 2017. The contribution of CYP2C gene subfamily involved in epoxygenase pathway of arachidonic acids metabolism to hypertension susceptibility in Russian population. Clinical and Experimental Hypertension. 39 (4): 306–311. DOI: 10.1080/10641963.2016.1246562.
12. Polonikov A., Kharchenko A., Bykanova M., (...), Churnosov M., Solodilova M. 2017. Polymorphisms of CYP2C8, CYP2C9 and CYP2C19 and risk of coronary heart disease in Russian population. Gene 627: 451–459. DOI: 10.1016/j.gene.2017.07.004.

13. Sirotnina S., Ponomarenko I., Kharchenko A., (...), Solodilova M., Polonikov A. 2018. A Novel Polymorphism in the Promoter of the CYP4A11 Gene Is Associated with Susceptibility to Coronary Artery Disease. *Disease Markers*. eCollection. DOI: 10.1155/2018/5812802.

References

1. Grigorjan S.V. 2015. Sistemnyj analiz i modelirovanie funkcional'nogo profilja jelitnyh futbolistov [System analysis and modeling of the functional profile of elite football players]. *Nauka i sport: sovremennye tendencii* [Science and sport: current trends]. 9 (4): 16–20.
2. Daneljan T.Ja. 2015. Formal'nye metody jekspertnyh ocenok [Formal methods of expert judgment]. *Jekonomika, statistika i informatika* [Economics, statistics and computer science]. 1: 183–187.
3. Kovynnev I.B., Pospelova T.I., Loseva M.I. i dr. 2006. Nezavisimoe prognosticheskoe vlijanie ko-morbidnoj kardiologicheskoj i drugoj terapevticheskoj patologii na rezul'tativnost' protivopuholevoj terapii i vyzhivaemost' pacientov s nehodzhkinskoj zlokachestvennoj limfomoj starshej vozrastnoj grupy [Independent prognostic effect of co-morbid cardiological and other therapeutic pathology on the effectiveness of antitumor therapy and survival of patients with non-Hodgkin malignant lymphoma of the older age group]. *Materialy I Nacional'nogo kongressa terapevtov* [Materials of the 1st National Congress of Therapists]: 99.
4. Kurzanov A.N. 2016. Metodologicheskie aspekty ocenki funkcional'nyh rezervov organizma [Methodological aspects of assessing the functional reserves of the body]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovanija* [Modern problems of science and education]. № 2. *Jelektronnyj nauchnyj zhurnal* [Electronic scientific journal]. Available at: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=24402> (accessed 15 December 2019).
5. Medvedev M.M. 2000. Holterovskoe monitorirovanie v opredelenii lechebnoj taktiki pri narushenii ritma serdca [Holter monitoring in determining treatment tactics for heart rhythm disturbance]. SPb., Inkart [Incart], 48.
6. Putivceva N.P., Pusnaja O.P., Igrunova S.V. i dr [et al.]. 2017. Sravnitel'nyj analiz primenenija mnogokriterial'nyh metodov [Comparative analysis of the application of multicriteria methods]. *Nauchnyj rezul'tat. Informacionnye tehnologii* [The scientific result. Information Technology]. 2 (1): 40–47.
7. Pjatakovich F.A., Surushkin M.A., Jakunchenko T.I., Makkonen K.F. 2011. Modelirovanie i algoritimizacija mul'tiparametricheskogo igrovogo bioupravlenija funkcional'nym sostojaniem cheloveka [Modeling and Algorithmization of Multiparameter Game Biofeedback by Human Functional State]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta* [Proceedings of Voronezh State Technical University]. 7 (1): 251–254.
8. Smetankin A.A. 1999. Metod biologicheskoj obratnoj svjazi po dyhatel'noj aritmii serdca put' k normalizacii central'noj reguljacii dyhatel'noj i serdečno-sosudistoj system [The method of biological feedback on respiratory arrhythmias of the heart is the way to normalize the central regulation of the respiratory and cardiovascular systems]. *Biologičeskaja obratnaja svjaz'* [Biofeedback]. 1: 18–26.
9. Surushkin M.A. 2016. Computer module for heart rate variability analysis in multiparameter diagnostic system and biofeedback game training [Computer module for analyzing heart rate variability of a multiparameter diagnostic system and biocontrolled game training]. *Nauchnye vedomosti BelGU. Ser. Jekonomika. Informatika* [Scientific reports of BelSU. Series Economics. Computer science]. 16 (237), Iss. 39: 132–137.
10. Polonikov A.V., Ushachev D.V., Ivanov V.P., (...), Bushueva O.Y., Solodilova M.A. 2015. Altered erythrocyte membrane protein composition mirrors pleiotropic effects of hypertension susceptibility genes and disease pathogenesis. *Journal of Hypertension*. 33 (11): 2265–2277. DOI: 10.1097/HJH.0000000000000699.
11. Polonikov A., Bykanova M., Ponomarenko I., (...), Shvetsov Y., Ivanov V. 2017. The contribution of CYP2C gene subfamily involved in epoxygenase pathway of arachidonic acids metabolism to hypertension susceptibility in Russian population. *Clinical and Experimental Hypertension*. 39 (4): 306–311. DOI: 10.1080/10641963.2016.1246562.
12. Polonikov A., Kharchenko A., Bykanova M., (...), Churnosov M., Solodilova M. 2017. Polymorphisms of CYP2C8, CYP2C9 and CYP2C19 and risk of coronary heart disease in Russian population. *Gene* 627: 451–459. DOI: 10.1016/j.gene.2017.07.004.
13. Sirotnina S., Ponomarenko I., Kharchenko A., (...), Solodilova M., Polonikov A. 2018. A Novel Polymorphism in the Promoter of the CYP4A11 Gene Is Associated with Susceptibility to Coronary Artery Disease. *Disease Markers*. eCollection. DOI: 10.1155/2018/5812802.



Ссылка для цитирования статьи
For citation

Сурушкин М.А., Нестеров В.Г., Игрунова С.В., Нестерова Е.В. 2020. Метод интегральной оценки функционального состояния кардиореспираторной системы человека с использованием экспертного балльного и рангового оценивания. Экономика. Информатика. 47 (1): 196–204. DOI:

Surushkin M.A., Nesterov V.G., Igrunova S.V., Nesterova E.V. 2020. Method of integral assessment of functional conditions of personal cardiorespiratory system using an experts score and ranking assessment. Economics. Information technologies. 47 (1): 196–204 (in Russian). DOI: