УДК 796.1/3.77.05

М.В. Магеровский, тренер, Центральный спортивный клуб армии (Москва)

А.О. Позин, главный инженер, Агропромышленный Холдинг «Мираторг», ООО«Брянская Мясная Компания» (Брянск)

К.В. Разумова, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск)

Е.Н. Кореневская, старший преподаватель, Донецкий национальный технический университет

ОЦЕНКА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО РЕЗЕРВА ОРГАНИЗМА ПО ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ ТОЧЕК АКУПУНКТУРЫ

В *работе рассматриваются методы количественной оценки функционального резерва организма на основе нечетких моделей, использующих электрические характеристики акупунктурных точек, «связанных» с исследуемыми системами.*

Ключевые слова: *функциональное состояние, функциональный резерв, биологически активные точки, меридианные структуры.*

***

Функциональный резерв организма человека является важным показателем, характеризующим возможность человека к выполнению различной деятельности в условиях повышенных и даже критических нагрузок.

Существует достаточно большое разнообразие методов оценки функционального резерва организма человека, среди которых определенное место занимают методы, основанные на оценке энергетической сбалансированности его меридианных структур и (или) энергетического состояния, биологически активных точек, «связанных» с исследуемыми системами организма [1, 8, 10, 12, 15, 17].

Механизм оценки состояния отдельных органов и систем по энергетическим характеристикам БАТ, «связанных» с этими органами, достаточно хорошо отработан [5,15, 16, 17].

При этом следует учитывать, что на исследуемые биологически активные точки «выводится» не только информация о состоянии исследуемых структур, но множество «метающей» информации о состоянии других структур организма. В работах кафедры биомедицинской инженерии Юго-Западного университета (БМИ ЮЗГУ) показано, что практически для всех решаемых в данной работе задач находится такая совокупность биологически активных точек, одновременная энергетическая реакция которых позволяет выделить только интересующую пользователя информацию [5]. Совокупность таких БАТ называют диагностически значимыми точками (ДЗТ). С учетом наличия ДЗТ классификационные решения по энергетическому состоянию БАТ, которое определяется через разбаланс электрических сопротивлений, в работах [5, 15,16] предлагается осуществлять, используя модифицированную накопительную формулу Е. Шортлифа:

$$\text{ЕСЛИ}\left(\text{Y}_j\,[\text{ДЗТ}]:\times R_j \geq \times R_{j\text{пор}}\right),\ \text{ТО}$$

$$\left\{\begin{array}{l}\text{КУ}_{\supset}(j+1) = \\ = \text{КУ}_{\supset}(j) + \ldots_{\supset}(\times R_{i+1})\left(1 - \text{КУ}_{\supset}(j)\right)\end{array}\right\}, \quad (1)$$

$$\text{ИНАЧЕ}\ \left(\text{КУ}_{\supset} = 0\right),$$

где $\text{КУ}_{\omega\ell}$ – коэффициент уверенности в том, что организм находится в состоянии ω_ℓ;

j – номер итерации, совпадающий с номером анализируемой БАТ;

δR_j – относительное отклонение сопротивления R_j от своего номинального значения;

$\delta R_{j\text{пор}}$ – порог принятия решения;

$\mu_\omega\left(\times R_j\right)$ – функция принадлежности к анализируемому классу состояний ω_ℓ.

С учетом рекомендаций [12, 17] функциональный резерв будем определять с учетом такого фундаментально-го понятия, как функциональное состоя-ние.

Рассматривая понятия функционального состояния как готовность к выполнению определенного вида деятельности, а функциональный резерв как скрытую возможность усиливать функционирование своих органов и систем в целях выполнения «большой» работы, оценку функционального состояния будем проводить по энергетическому состоянию БАТ, энергетика которых определяется состоянием исследуемых систем и (или) организма в целом. При этом обследуемый должен находиться в состоянии оперативного покоя. Функциональный резерв будем определять с учетом изменений энергетического состояния тех же БАТ при использовании эталонных нагрузок или искусственного энергетического разбаланса меридианных структур.

В такой интерпретации будем считать, что если все биологически активные точки, выбранные для анализа состояния (ДЗТ) какой-либо из систем (сердечно-сосудистой, дыхательной, нервной и т.д.), находятся в номинальном состоянии ($\delta R_j = 0$), то это соответствует наилучшему функциональному состоянию ана-

лизируемых систем конкретного человека. Появление энергетического разбаланса ($|\delta R_j| > 0$) свидетельствует об ухудшении функционального состояния контролируемой системы.

Для каждой из биологически активных точек, входящих в состав ДЗТ, функцию уровня функционального состояния US определим аналогично тому, как определяется функция принадлежности к понятию «наилучшее функциональное состояние» с базовой переменной δR_j. С учетом этого для системы с номером ℓ уровень функционального состояния определяется функцией $US(\delta R_j)$.

Для множества точек, входящих в список ДЗТ и характеризующих уровень функционального состояния системы, соответствующая агрегация осуществляется с использованием выражения следующего вида:

$$\text{ЕСЛИ } \left\{ \text{Для всех } R_j \in \text{ДЗТ} \right\} \delta R_j > \delta R_{j\text{пор}} \Big\},$$

$$\text{ТО } \left\{ UFS = \frac{1}{I} \sum_{j=1}^{I} US(\delta R_j) \right\}, \qquad (2)$$

$$\text{ИНАЧЕ } \left(UFS = UFS^* \right),$$

где I – количество точек, входящих в ДЗТ$_\ell$;

UFS^* – величина, характеризующая потенциальную информативную возможность БАТ, выбранных в качестве ДЗТ$_\ell$ для оценки уровня ФС исследуемой системы.

Точки, характеризующие состояние исследуемой системы, выбираются по спискам атласов меридиан, например по справочнику [11].

Для оценки функционального состояния организма в целом существует несколько вариантов [5, 11].

В первом варианте контроль за каждым меридианом осуществляется по сигнальной точке, а энергетическая сбалансированность системы в целом определяется как функция от сбалансированности каждого из контролируемых меридиан.

Во втором варианте определяется соотношение или разность сопротивлений сигнальной и сочувственной точек. Считается, что если сопротивление сигнальной точки ниже, то это недостаток энергетики меридиана, и наоборот. Функциональное состояние всей системы определяется по совокупности результатов по каждому меридиану точек.

В третьем варианте состояние меридиана определяется по разности «энергетики» начальных и конечных точек меридиан.

Четвертый вариант учитывает, что переднесрединный и заднесрединный меридианы являются сосредоточением (ЛО-пунктом) ЯН и ИНЬ всех меридианов, и поэтому энергетическую сбалансированность (энергетический разбаланс) в целом можно определить по двум точкам VC1 и VG1.

Пятый вариант основывается на том, что по данным работы [11] меридианы, (2)

проходящие по конечностям, соприкасаются друг с другом в четырех точках, называемых групповыми ЛО-пунктами. Это точки TR8, VB39, MC5 и RP6.

Выбор предпочтительного варианта осуществляется из условий доступности и целей измерений и с учетом роли точек в общей структуре поддержания энергетического равновесия.

После того, как с использованием выражения (2) определяется энергетическое состояние каждого из меридиан, функциональное состояние всего организма в общем виде определяется выражением вида

$$UFS_M = F_S \left[B_i F_{mi} \left(A_{ij}, R_j \right) \right], \qquad (3)$$

где A_{ij} – весовые коэффициенты, определяющие вклад точки с номером j в энер-

гетическую характеристику меридиана с номером i;

F_{mi} – функция агрегации на уровне меридиана с номером i;

B_i – весовые коэффициенты, определяющие вклад каждого из меридиан в энергетическое состояние меридианной структуры;

F_S – функция агрегации энергетического состояния исследуемых меридиан в величину уровня функционального состояния организма UFS_M.

Конкретные виды выражения (3) могут определяться традиционными математическими методами, например регрессионного анализа. Примеры моделей (3) можно найти в работах [15, 16, 17].

Оценку функционального резерва организма с использованием эталонных нагрузок предлагается осуществлять следующим образом.

В состоянии оперативного покоя определяют величины UFS и (или) UFS_M. В соответствии с принятыми в спортивной практике подходами выбирается тип и интенсивность эталонной нагрузки. После выполнения эталонной нагрузки у обследуемого вновь определяются величины UFS и (или) UFS_M.

Определяется время $T_в$ восстановления UFS и (или) UFS_M после нагрузки и (или) значения этих величин через фиксированные эталонные времена T_F.

Величина функционального резерва оценивается нечеткими выражениями следующего вида:

$$FR = F_R\left(UFS^{o}, UFS^{N}, T_в, UFS^{F}, C_k\right); \quad (4)$$

$$FR_M = F_{RM}\left(UFS_M^{o}, UFS_M^{N}, T_в, UNS_M^{F}, C_k^{*}\right), \quad (5)$$

где FR, FR_M – величины функционального резерве системы ℓ и организма в целом, рассчитанные по энергетическому состоянию меридианных структур соответственно;

UFS^{O}, UFS_M^{O} – величины уровня функционального состояния, рассчитанные у испытуемых в состоянии оперативного покоя;

UFS^{N}, UFS_M^{N} – величины уровня функционального состояния, измеренные после нагрузочной пробы;

$T_в$ – время восстановления;

UFS^{F}, UNS_M^{F} – величины уровня функционального состояния, измеренные через интервал времени T_F;

C, C^{*} – векторы настраиваемых параметров, получаемые в ходе синтеза моделей;

F_R, $F_{R\,M}$ – соответствующие функции агрегации.

Получение конкретных моделей (4) и (5) удобно осуществлять, используя общие рекомендации по синтезу коллективов гибридных нечетких решающих правил [2, 3, 4, 6, 7, 9, 18].

С учетом этих рекомендаций одной из наиболее решаемых в работе задач является модель вида

$$FR_t(k+1) = FR_t(k) + f_{Ut}(k+1)\left[1 - FR_t(k)\right], \quad (6)$$

где $t = \ ,M$;

$FR_t(k)$ – функциональный резерв, рассчитанный для k-й составляющей моделей (4), (5);

$f_{Ut}(k+1)$ – функция уровня функционального резерва для k-й составляющей;

$FR_t(1) = f_{Ut}(1)$.

Для формул типа (4) и (5) функции уровня $f_{Ut}(k)$ определяются для следующих базовых переменных:

UFS_0 – уровень функционального состояния при оперативном покое;

UFS_0 / UFS^N – отношение величин уровней функционального состояния до и после нагрузки;

UFS_0 / UFS^F – отношение величин уровней функционального состояния до нагрузки и через интервал времени $T_в$;

$T_в$ – время восстановления UFS^F до UFS_0.

На рисунке приведены типовые графики $f_{Ut}(k)$ выражения (6).

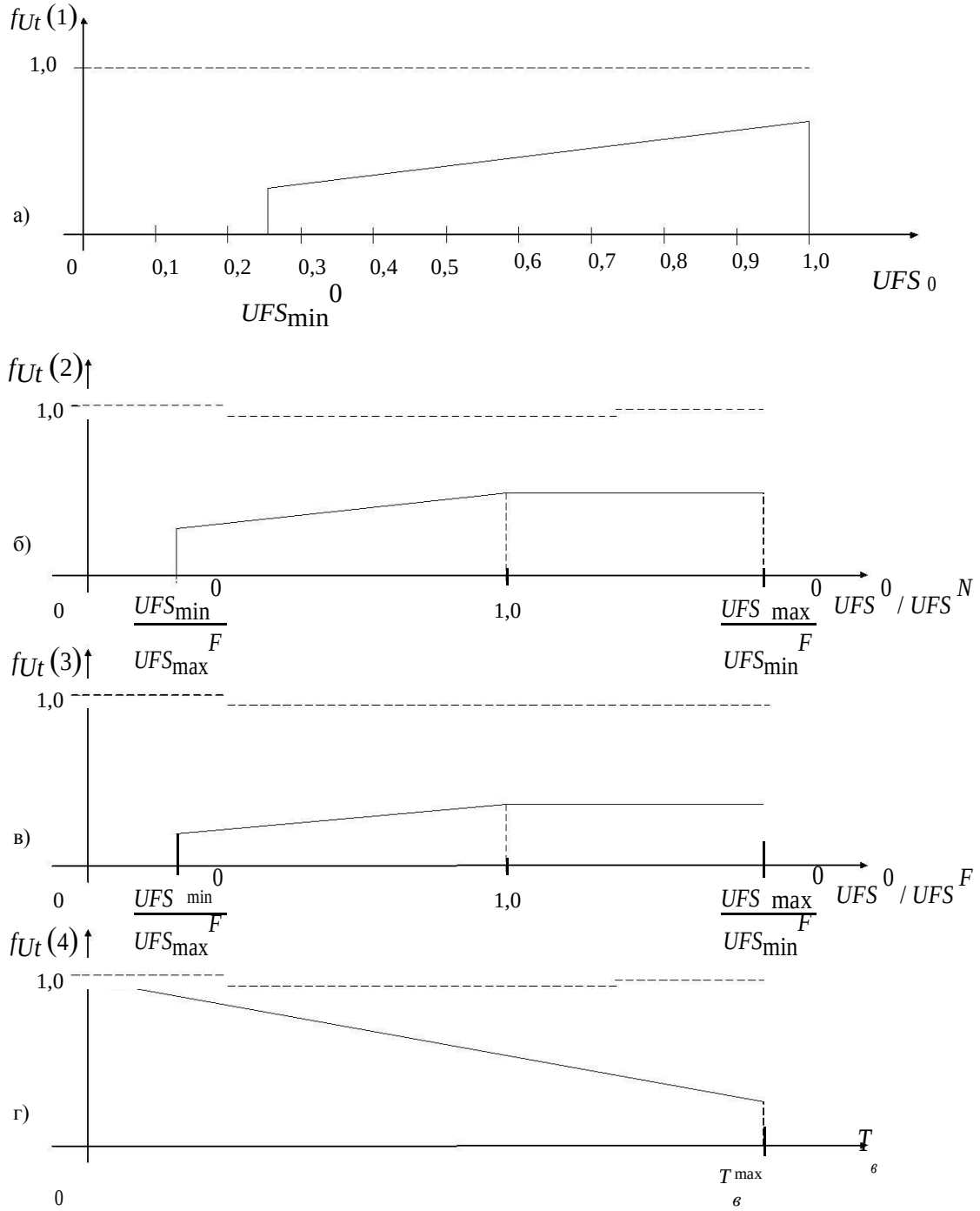

Рис. Графики функций уровня ФР для базовых переменных:
а – UFS^0; *б* – UFS^0 / UFS^N; *в* – UFS^0 / UFS^F; *г* – $T_в$

Конкретные виды графиков $f_{Ut}(K)$ определяются на экспертном уровне с учетом рекомендаций [5, 9] и уточняются с помощью пакета обучающих прикладных программ кафедры биомедицинской инженерии ЮЗГУ.

В дальнейших исследованиях показатели UFS_{ℓ}, UFS_M, FR_{ℓ}, FR_M могут быть использованы как информативные признаки при решении задач прогнозирования и медицинской диагностики, включая раннюю стадию заболеваний, для оценки надежности работы операторов человеко-машинных систем и т.д. [1, 10, 12, 13, 14, 16, 17].

Список литературы

1. Прогнозирование и ранняя диагностика заболеваний на основе оценки функционального резерва человека с помощью гетерогенных нечетких моделей / В.Н. Гадалов, В.А. Иванов, В.Н. Снопков, В.В. Серебровский // Медицинская техника. – 2013. – № 4. – С. 6–9.

2. Кореневский Н.А. Использование нечеткой логики принятия решений для медицинских экспертных систем // Медицинская техника. – 2015. – № 1. – С. 33–35.

3. Кореневский Н.А. Метод синтеза гетерогенных нечетких правил для анализа и управления состоянием биотехнических систем // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2013. – № 2. – С. 99–103.

4. Интерактивный метод классификации в задачах медицинской диагностики / Н.А. Кореневский, С.В. Дегтярев, С.П. Серегин, А.В. Новиков // Медицинская техника. – 2013. – № 4. – С. 1–3.

5. Кореневский, Н.А., Крупчатников Р.А., Аль-Касасбех Р.Т. Теоретические основы биофизики акупунктуры с приложениями в медицине, психологии и экологии на основе нечетких сетевых моделей. – Старый Оскол: ТНТ, 2013. – 528 с.

6. Кореневский Н.А., Крупчатников Р.А., Горбатенко С.А. Синтез нечетких сетевых моделей, обучаемых по структуре данных для медицинских экспертных систем // Медицинская техника. 2008. –№ 2. – С. 18–24.

7. Кореневский Н.А., Руцкой Р.В., Долженков С.Д. Метод прогнозирования и диагностики состояния здоровья на основе коллективов нечетких решающих правил // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2013. – Т. 12, № 4. – С. 905–909.

8. Метод оценки функционального резерва человека-оператора на основе комбинированных правил нечёткого вывода/ Н.А. Кореневский, АН. Коростелев, JI.В. Стародубцева, В.В. Серебровский // Биотехносфера. – 2012. – № 1(19). – С. 44–49.

9. Геометрический подход к синтезу нечетких решающих правил для решения задач прогнозирования и медицинской диагностики / Н.А. Кореневский, С.А. Фи-лист, А.Г. Устинов, Е.Б. Рябкова // Био-медицинская радиоэлектроника. – 2012. – № 4. – С. 20–25.

10. Коростелев А.Н., Кореневский Н.А. Применение гетерогенных нечетких мо-делей для комплексной оценки уровня функционального резерва человека // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2011. – Т. 7, № 8. – С. 142–147.

11. Лувсан Г. Очерк методов восточной рефлексотерапии. – 3-е изд., перераб. и доп. – Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1991. – 432 с.

12. Оценка состояния спортсменов по величине электрической сбалансированности меридианных структур организма / М.А. Магеровский, А.В. Кониченко, С.Н. Кореневская, Р.А. Крупчатников // Известия Юго-Западного госу-

дарственного университета. Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2015. – №4(17). – С. 99–103.

13. Магеровский М.А. Прогнозирование профессиональных болезней в спорте на основе технологии мягких вычислений // Современные научные знания: теория, методология, практика: сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции. Смоленск: ООО НОВАЛЕНСО, 2016. – Ч. 1. – С. 35–36.

14. Нечеткие модели профессиональной ориентации и оценки уровня подготовки спортсменов / М.А. Магеровский, Н.А. Кореневский, А.Н. Шуткин, В.И. Федянин // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2016. – №1 (315). – С. 121–126.

15. Филатова О.И. Метод, модели и алгоритм анализа и управления функциональным состоянием человека на основе нечётких гетерогенных правил принятия решений: дис. ... канд. техн. наук: 05.11.17. – Курск, 2011.

16. Шуткин А.Н. Оценка функционального состояния и здоровья человека с использованием теории измерения латентных переменных на основе моделей Г. Раша // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2014. – Т. 13, № 4. – С. 927–932.

17. Шкатова Е.С., Магеровский М.А., Мухатаев Ю.Б. Оценка функционального состояния и функционального резерва организма по энергетической сбалансированности меридианных структур // Современные тенденции развития техники и технологии: сборник научных трудов по материалам VIII международной научно-практической конференции. –Белгород, 2015. – Ч. 2. – С. 132–135.

18. Korenevskiy N.A. Application of Fuzzy Logic for Decision-Making in Medical Expert Systems // Biomedical Engineering. – 2015. – Vol. 49, №1. – P. 33–35.

Получено 16.11.15

M.A. Magerovsky, Coach, Central Sports Club of the Army, Russia (Moscow) (e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

A.O. Pozin, Chief Engineer, Agricultural Holding «Agribusiness» LLC "Bryansk Meat Company» (Bryansk) (e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

K.V. Razumova, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk) (e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

E.N Korenevskaya, Lecturer, Donetsk National Technical University (Donetsk)

ASSESSMENT OF FUNCTIONAL RESERVES OF AN ORGANISM ON THE ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF ACUPUNCTURE POINTS

The paper deals with methods of quantitative evaluation of the functional reserve of the organism based on fuzzy models using electrical characteristics of acupuncture "associated" points with the test systems.

Key words: *functional status, functional reserve, acupressure points, meridian structure.*