

НЕЙРОСЕТЕВАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ И ДИСКРИМИНАНТНЫЙ АНАЛИЗ УРОВНЯ РЕГУЛЯТОРНО-АДАПТИВНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА

С.В. УСАТИКОВ, Т.В. ШКИРЯ

*Кубанский государственный технологический университет,
350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2;
электронная почта: shkirya.tatiana@yandex.ru*

Для совершенствования существующего пошагового принципа определения диапазона явления сердечно-дыхательного синхронизма (СДС) проведен статистический анализ (дискриминантный и нейросетевой) данных измерений системы количественной оценки регуляторно-адаптивного статуса организма человека (РАС) с целью получения прогноза уровня РАС на основе его наименее трудоемких по измерениям и фиксации параметров с предварительным выявлением системы таких параметров. Расчеты проведены в пакете Statistica v. 10 (StatSoft Inc., USA). Исследованы факторы-аргументы: минимальная граница СДС и длительность развития синхронизации на минимальной границе, исходная частота сердечных сокращений, исходная частота дыхания, длительность восстановления на минимальной границе, индекс Кердо. В качестве основы прогноза учитывались: возраст, рост, вес, пол и фаза менструального цикла (для женщин), величины диастолического и систолического артериального давления. Рассмотрены линейные и квадратичные регрессионные модели, линейный дискриминантный анализ, а также нейросетевые методы (НС) – многослойный перцептрон и сеть типа радиальной базисной функции. Наилучшую точность показала нейросетевая регрессия и классификация. НС-классификация уровня РАС может производиться по указанным признакам с вероятностью более 70%; с вероятностью более 90% ошибка менее чем на один уровень.

Ключевые слова: система параметров сердечно-дыхательного синхронизма, статистическое прогнозирование, дискриминантный и нейросетевой статистический анализ.

1. Введение

Метод сердечно-дыхательного синхронизма (СДС) имеет высокую информативность в оценке регуляторно-адаптивных возможностей (РАВ) при ряде функциональных состояний и в динамике заболеваний у человека [1, 2]. СДС – метод, позволяющий по одновременной записи электрокардиограммы (ЭКГ) и пневмограммы (ПГ) рассчитать РАВ человека с помощью индекса регуляторно-адаптивного статуса (ИРАС) [1]:

$$\text{ИРАС} = 100 \left(\frac{\text{ДС}}{\text{ДлР}_{\text{мин.гр.}}} \right), \quad (1)$$

где ДС = Макс.гр. – Мин.гр. – диапазон синхронизации ритмов дыхания и сердцебиения, границами которого служат минимальная и максимальная границы СДС, крц/мин; ДлРмин.гр. – длительность развития синхронизации на минимальной границе диапазона, кц.

Шкала оценки РАВ человека по ИРАС [1]: регуляторно-адаптивные возможности организма высокие (уровень 5) при $ИРАС \geq 100$; хорошие (уровень 4) при $50 \leq ИРАС < 100$; удовлетворительные (уровень 3) при $25 \leq ИРАС < 50$; низкие (уровень 2) при $10 \leq ИРАС < 25$; неудовлетворительные (уровень 1) при $ИРАС < 10$.

Одним из инструментов исследования явления СДС и кардиореспираторных взаимоотношений является статистический и стохастический анализ. Наряду с развитыми спектральными методами анализа ЭКГ и ПГ в виде сердечно-дыхательной синхрограммы для нерегулярных нестационарных двумерных данных от сердечно-сосудистой и дыхательной систем [3, 4], до сих пор нет уверенных выводов о зависимости СДС от пола, возраста, различных физиологических состояний и др. [3].

Измерения системы параметров СДС включают трудоемкие и длительные многошаговые процедуры с помощью показаний целого ряда датчиков и их компьютерной обработки [1]. Рассмотренный в данной работе статистический анализ (дискриминантный и нейросетевой) системы параметров СДС направлен на совершенствование существующего пошагового принципа определения максимальной и минимальной границ диапазона синхронизации. Расчеты проведены в пакете Statistica v. 10 (StatSoft Inc., USA). Целью данной работы является статистическое прогнозирование уровня РАВ на основе наименее трудоемких параметров СДС и дополнительных факторов-аргументов (нетрудоемких по измерениям или фиксации параметров) с предварительным выявлением системы таких параметров.

2. Анализ системы параметров СДС

Коллективом кафедры нормальной физиологии ГБОУ КубГМУ под руководством В.М. Покровского при исследовании явления СДС опубликованы

осредненные измерения параметров СДС ($M \pm SD$), указанные в [2]. Более 10^3 осредненных измерений было получено с учетом результатов исследований Мингалев А.Н., Трегубова В.Г., Веселенко М.И., Бочарниковой М.И., Артющкова В.В., Сухареской И.Н., Рожнова О.И., Варгановой И.С., Полищук С.В., Гурской Э.В.; массив более $4 \cdot 10^2$ единичных наблюдений предоставлен коллективами В.Г. Трегубова, С.В. Полищук, Ю.В. Кашиной. По этому массиву данных проведен предварительный корреляционный, факторный и регрессионный анализ, а также нейросетевая регрессия.

Принципиально важно из совокупности параметров СДС отобрать те, изменения которых в большей мере характеризуют состояние регуляторно-адаптивного статуса организма. Для этого были сопоставлены изменения как зависящие от врожденных качеств и нервной системы, так и отражающие динамику регуляторных возможностей при ряде функциональных состояний и заболеваний [1, 2]. Анализ показал, что уменьшение ДС и увеличение ДлРмин.гр. свидетельствуют об ухудшении регуляторно-адаптивных возможностей организма. Таким образом, значимыми показателями СДС, характеризующими РАВ организма, являются ДС и ДлРмин.гр., по выраженности изменения которых можно судить о степени отклонения адаптивных возможностей от нормы.

Прогнозирование уровня регуляторно-адаптивных возможностей организма человека сводится к задаче классификации. Отметим, что точность и доверительная вероятность классификации только по признакам минимальной границы СДС (Мин.гр.) и длительности развития синхронизации на минимальной границе (ДлРмин.гр.) недостаточны для ее практического применения, что обнаруживается регрессионным анализом [5]. Это подтверждается результатами давшей наилучшую точность нейросетевой (НС) классификации, показанными на рис. 1, а, б. По гистограмме % совпадений НС-классификации уровня РАВ видно (рис. 1, б), что НС-классификация уровня РАВ по Мин.гр. и ДлРмин.гр. верна с вероятностью 59%. Причем с 34%-й

вероятностью – ошибка на 1 уровень; т. е. ошибка на 2 уровня маловероятна – только с 6%-й вероятностью; ошибок на 3 и выше уровней не наблюдалось.

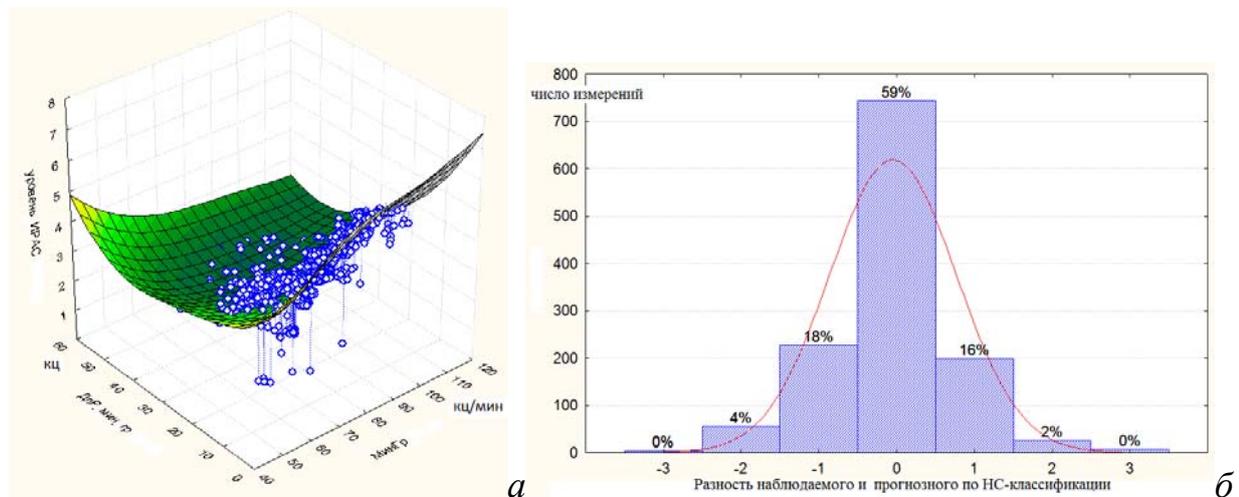


Рис. 1: *a* – Поверхность нейросетевой классификации уровня РАВ по измерениям Мин.гр. и ДлРмин.гр.: \circ – наблюдаемый уровень; *б* – гистограмма разности $(0 = \text{совпадение}, 1 = \text{на уровень выше}, -1 = \text{ниже})$ наблюдаемого и прогнозного по НС-классификации уровня РАВ: сплошная линия – нормальное распределение с нулевым средним и 0,8 стандартным отклонением

Следовательно, необходима оценка статистической зависимости параметров СДС от других возможных влияющих факторов – не только Мин.гр. и ДлРмин.гр., но и нетрудоемких по измерениям или фиксации параметров: исходная частота сердечных сокращений (Исх.ЧСС), исходная частота дыхания (Исх.ЧД), длительность восстановления на минимальной границе (ДлВмин.гр.), возраст, рост, вес, пол и фаза менструального цикла (для женщин); величины диастолического (ДАД) и систолического (САД) артериального давления.

Как известно, при оценке вегетативных показателей используют, как правило, вегетативный индекс (ВИ) и исследование минутного объема крови. Вегетативный индекс Кердо рассчитывается по формуле

$$ВИ = 100\% \left(1 - \frac{ДАД}{Исх.ЧСС} \right). \quad (2)$$

Оценка статистической зависимости параметров СДС от ВИ Кердо проведена на выборке более 50 измерений, предоставленных С.В. Полищук и коллективом кафедры нормальной физиологии ГБОУ КубГМУ под руководством В.М. Покровского. Выводы проверялись по t-критерию для независимых выборок; корреляционным анализом; анализом чувствительности нейросетевой регрессии. Общий вывод: значительная статистическая связь (уровень значимости 1–2%) между ВИ и минимальной границей СДС; существенно более слабая (уровень значимости 10–15%) статистическая связь между ВИ и максимальной границей СДС, а также ИРАС.

Коэффициенты корреляции 0,43 между ВИ и Мин.гр.; –0,32 между ВИ и Р значимы при 5%; в то время как незначимы коэффициенты корреляции 0,26 между ВИ и ДС; 0,2 между ВИ и ИРАС.

Проведен анализ чувствительности нейросетевой регрессии разности $P = \text{Мин.гр.} - \text{Исх.ЧСС}$ от Исх.ЧСС, Исх.ЧД, возраст, пол, индекс Кердо, группа «симпатотоник или ваготоник». Для MLP 8-12-1 многослойного персептрона с 12 нейронами в скрытом слое (8 входных нейронов, 1 выходной с $P = \text{Мин.гр.} - \text{Исх.ЧСС}$), со скрытой логистической функцией активации и показательной выходной функцией активации, индекс Кердо оказывает максимальное влияние на прогноз Мин.гр., затем следует Исх.ЧСС, пол и т. д.

Проведен анализ чувствительности нейросетевой регрессии ДС от Исх.ЧСС, Исх.ЧД, Мин.Гр., Дл.Рмин.гр., возраст, пол, индекс Кердо, группа «симпатотоник или ваготоник». Для MLP 10-10-1 многослойного персептрона с 10 нейронами в скрытом слое (10 входных нейронов, 1 выходной с ДС), со скрытой функцией активации в виде гиперболического тангенса и выходной тождественной функцией активации, максимальное влияние на прогноз Макс.гр. оказывает Дл.Рмин.гр. и пол, но влияние индекса Кердо такое же, как у остальных факторов.

Таким образом, прогнозирование уровня регуляторно-адаптивных возможностей организма сводится к задаче классификации по признакам: Мин.гр., ДлРмин.гр.; Исх.ЧСС, Исх.ЧД; возраст; рост, вес; пол, фаза

менструального цикла (для женщин); величины ДАД и САД. Рассмотрены: линейный дискриминантный анализ, а также нейросетевые (НС) методы классификации – многослойный персептрон (MLP) и сеть типа радиальной базисной функции (RBF).

Отметим, по классификации уровня РАВ можно определить интервалы для ДС: при регуляторно-адаптивных возможностях организма неудовлетворительных (1-й уровень) $0 < ДС < Дл.р./10$; низких (2-й уровень) $Дл.р./10 < ДС < Дл.р./4$; удовлетворительных (3-й уровень) $Дл.р./4 < ДС < Дл.р./2$; хороших (4-й уровень) $Дл.р./2 < ДС < Дл.р.$; высоких (5-й уровень) $Дл.р. < ДС$.

3. Линейный дискриминантный анализ уровня регуляторно-адаптивных возможностей организма

Приведем результаты линейного дискриминантного анализа уровня РАВ.

Функции классификации по признакам $x_1 = \text{Исх.ЧСС}$, $x_2 = \text{Исх.ЧД}$, $x_3 = \text{Мин.гр.}$, $x_4 = \text{ДлРмин.гр.}$, $x_5 = \text{Возраст}$, $x_6 = \text{Рост}$, $x_7 = \text{Вес}$, $x_8 = \text{День цикла для женщин}$ (только уровни 5, 4, 3, 2 – из-за отсутствия в выборке данных 1-го уровня):

$$G_2 = -452,21 - 0,133 \cdot x_1 + 0,472 \cdot x_2 + 0,366 \cdot x_3 + 1,2 \cdot x_4 + 2,03 \cdot x_5 + 5,5 \cdot x_6 - 2,2 \cdot x_7 + 0,364 \cdot x_8;$$

$$G_3 = -444,7 - 0,207 \cdot x_1 + 0,533 \cdot x_2 + 0,324 \cdot x_3 + 1,252 \cdot x_4 + 2,017 \cdot x_5 + 5,538 \cdot x_6 - 2,3 \cdot x_7 + 0,38 \cdot x_8;$$

$$G_4 = -429,38 - 0,017 \cdot x_1 + 0,516 \cdot x_2 + 0,2 \cdot x_3 + 0,992 \cdot x_4 + 1,9 \cdot x_5 + 5,42 \cdot x_6 - 2,148 \cdot x_7 + 0,345 \cdot x_8;$$

$$G_5 = -445,44 + 0,019 \cdot x_1 + 0,556 \cdot x_2 + 0,188 \cdot x_3 + 0,845 \cdot x_4 + 1,92 \cdot x_5 + 5,5 \cdot x_6 - 2,146 \cdot x_7 + 0,356 \cdot x_8.$$

Вероятность правильно указать уровень РАВ по функциям классификации G_2, \dots, G_5 равна 61%. Алгоритм прогноза уровня РАВ для женщин:

- 1) Значения x_1, \dots, x_8 подставляются в функции классификации G_2, \dots, G_5 .
- 2) Среди чисел G_2, \dots, G_5 выбирается наибольшее значение функции.
- 3) Номер выбранной функции – это номер уровня РАВ.

Функции классификации по признакам $x_1 = \text{Исх.ЧСС}$, $x_2 = \text{Исх.ЧД}$, $x_3 = \text{Мин.гр.}$, $x_4 = \text{ДлРмин.гр.}$, $x_5 = \text{Возраст}$, $x_6 = \text{Рост}$, $x_7 = \text{Вес}$, для мужчин (только уровни 5, 4, 3, 2 – из-за отсутствия в выборке данных 1-го уровня):

$$g_2 = -355,245 + 0,581 \cdot x_1 - 1,295 \cdot x_2 + 0,715 \cdot x_3 + 0,218 \cdot x_4 + 0,8 \cdot x_5 + 4,017 \cdot x_6 - 0,764 \cdot x_7;$$

$$g_3 = -398,114 + 0,741 \cdot x_1 - 1,666 \cdot x_2 + 0,69 \cdot x_3 + 0,125 \cdot x_4 + 0,898 \cdot x_5 + 4,2 \cdot x_6 - 0,66 \cdot x_7;$$

$$g_4 = -407,58 + 1,14 \cdot x_1 - 1,123 \cdot x_2 + 0,31 \cdot x_3 - 0,182 \cdot x_4 + 0,566 \cdot x_5 + 4,286 \cdot x_6 - 0,597 \cdot x_7;$$

$$g_5 = -407,44 + 0,815 \cdot x_1 - 1,39 \cdot x_2 + 0,706 \cdot x_3 - 0,367 \cdot x_4 + 0,768 \cdot x_5 + 4,293 \cdot x_6 - 0,7 \cdot x_7.$$

Вероятность правильно указать уровень РАВ по функциям классификации g_2, \dots, g_5 равна 86%. Алгоритм прогноза уровня РАВ для мужчин:

- 1) Значения x_1, \dots, x_7 подставляются в функции классификации g_2, \dots, g_5 .
- 2) Среди чисел g_2, \dots, g_5 выбирается наибольшее значение функции.
- 3) Номер выбранной функции – это номер уровня РАВ.

Функции классификации по признакам $x_1 = \text{Исх.ЧСС}$, $x_2 = \text{Исх.ЧД}$, $x_3 = \text{Мин.гр.}$, $x_4 = \text{ДлРмин.гр.}$, $x_5 = \text{Возраст}$, $x_6 = \text{Рост}$, $x_7 = \text{Вес}$, $x_8 = \text{ДАД}$, $x_9 = \text{САД}$, для мужчин (уровни 5, 4, 3, 2, 1):

$$f_1 = -1239,6 - 4,62 \cdot x_1 + 1,37 \cdot x_2 + 5 \cdot x_3 + 0,49 \cdot x_4 + 42 \cdot x_5 + 9,86 \cdot x_6 - 5 \cdot x_7 + 3,46 \cdot x_8 - 0,62 \cdot x_9;$$

$$f_2 = -1237,4 - 4,04 \cdot x_1 - 1,23 \cdot x_2 + 5,8 \cdot x_3 - 2,08 \cdot x_4 + 43,5 \cdot x_5 + 9,05 \cdot x_6 - 5,4 \cdot x_7 + 4,2 \cdot x_8 + 0,08 \cdot x_9;$$

$$f_3 = -1191 - 4,61 \cdot x_1 + 0,79 \cdot x_2 + 5,36 \cdot x_3 - 0,76 \cdot x_4 + 41,3 \cdot x_5 + 9,6 \cdot x_6 - 5,14 \cdot x_7 + 3,42 \cdot x_8 - 0,3 \cdot x_9;$$

$$f_4 = -1259,55 - 4,84 \cdot x_1 - 0,35 \cdot x_2 + 6,42 \cdot x_3 - 2,71 \cdot x_4 + 43,7 \cdot x_5 + 9,5 \cdot x_6 -$$

$$5,54 \cdot x_7 + 3,67 \cdot x_8 + 0,04 \cdot x_9;$$

$$f_5 = -1232,8 - 4,66 \cdot x_1 + 0,01 \cdot x_2 + 6,16 \cdot x_3 - 2,41 \cdot x_4 + 42,27 \cdot x_5 + 9,57 \cdot x_6 - 5,6 \cdot x_7 + 3,6 \cdot x_8 -$$

$$0,02 \cdot x_9.$$

Вероятность правильно указать уровень РАВ по функциям классификации f_1, \dots, f_5 равна 81%. Алгоритм прогноза уровня РАВ для мужчин:

- 1) Значения x_1, \dots, x_9 подставляются в функции классификации f_1, \dots, f_5 .

2) Среди чисел f_1, \dots, f_5 выбирается наибольшее значение функции.

3) Номер выбранной функции – это номер уровня РАВ.

Таким образом, вероятность правильной классификации уровня РАВ по линейному дискриминантному анализу более 60%.

4. Нейросетевая классификация уровня регуляторно-адаптивных возможностей организма

Наилучшую точность показала нейросетевая классификация (рис. 2).

Для женщин основой классификации уровня РАВ являются 8 признаков: Мин.гр., ДлРмин.гр. ; Исх.ЧСС, Исх.ЧД; возраст; рост, вес; фаза менструального цикла. Для мужчин основой классификации уровня РАВ являются 7 признаков: Мин.гр., ДлРмин.гр.; Исх.ЧСС, Исх.ЧД; возраст; рост, вес.

Для женщин наилучшую нейросетевую классификацию показала RBF 8-17-4 сеть типа радиальной базисной функции с 17 нейронами в скрытом слое (8 входных нейронов, 4 выходных – по количеству уровней РАВ – из-за отсутствия в выборке данных 1-го уровня), со скрытой гауссовской функцией активации и выходной softmax-функцией активации в виде $OUT = \exp(NET) / \sum \exp(NET_i)$. Здесь суммирование производится по всем значениям сигналов NET нейронов выходного слоя RBF, что позволяет трактовать OUT_i как вероятности принадлежности к классу (уровню). Для мужчин наилучшую нейросетевую классификацию показал MLP 7-10-4 многослойный персептрон с 10 нейронами в скрытом слое (7 входных нейронов, 4 выходных – по количеству уровней РАВ – из-за отсутствия в выборке данных 1-го уровня), со скрытой тождественной функцией активации и выходной softmax-функцией активации.

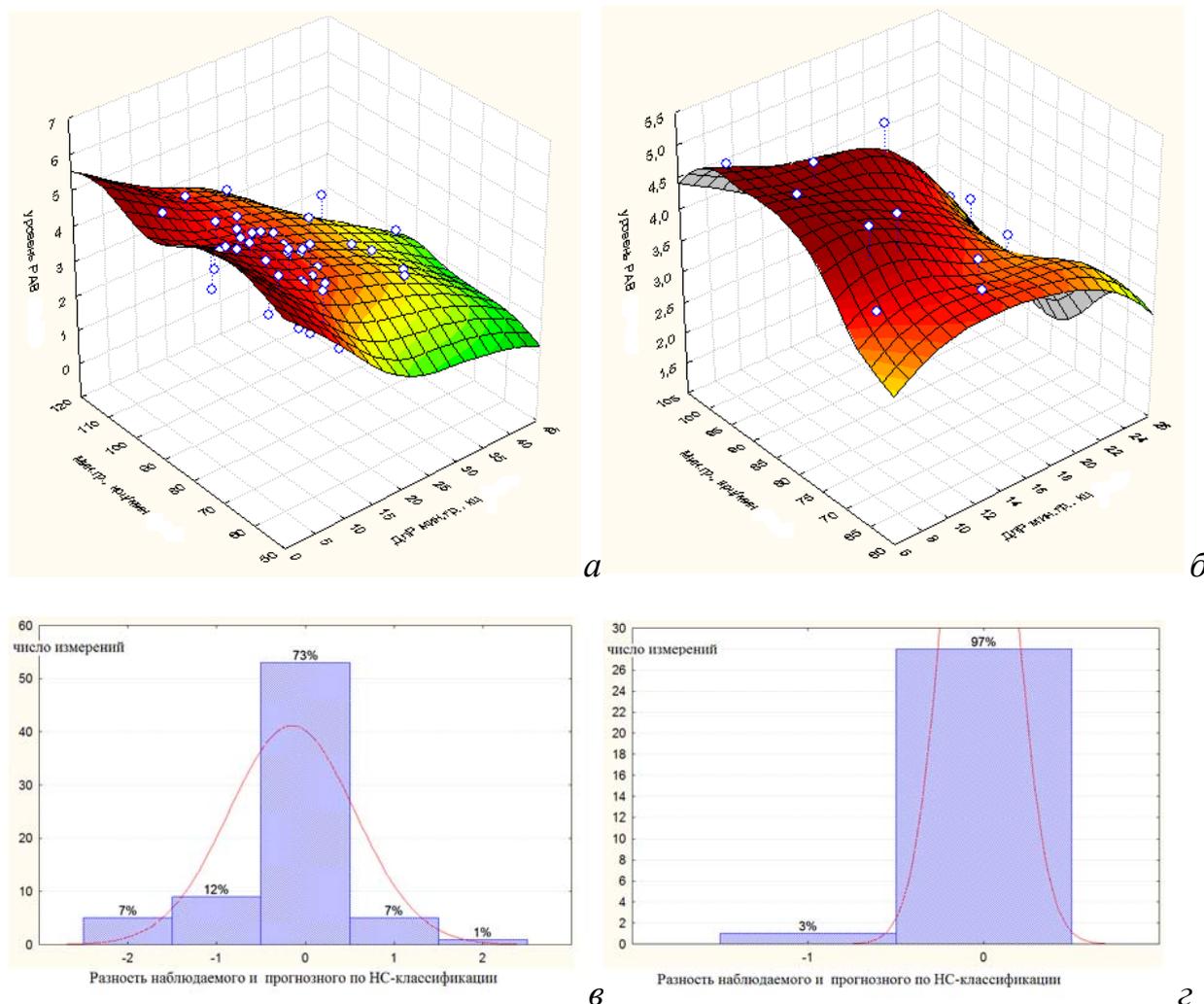


Рис. 2. Поверхность нейросетевой классификации уровня РАВ: *а* – для женщин, *б* – для мужчин; \circ – наблюдаемый уровень; гистограммы разности (0 = совпадение, 1 = на уровень выше, -1 = ниже) наблюдаемого и прогнозного по НС-классификации уровня РАВ: *в* – для женщин, *г* – для мужчин; сплошная линия – нормальное распределение с нулевым средним и соответственно 0,7 и 0,2 стандартным отклонением

По гистограмме % совпадений НС-классификации уровня РАВ видно, что для женщин (рис. 2, *в*) НС-классификация верна с вероятностью 73%; причем с 20%-й вероятностью – ошибка на 1 уровень; т.е. ошибка на 2 уровня маловероятна – только с 8%-й вероятностью; ошибок на 3 и выше уровней не наблюдалось. Для мужчин (рис. 2, *г*) НС-классификация верна с вероятностью 97%; причем ошибок на 2 и выше уровней не наблюдалось.

Таблица 1. Анализ чувствительности RBF 8-17-4 (НС-классификация, женщины)

| Исх.ЧСС | Исх.ЧД | Мин.гр. | ДлРмин.гр. | Возраст | Рост | Вес | День цикла |
|---------|--------|---------|------------|---------|------|------|------------|
| 1,55 | 1,15 | 1,97 | 2,13 | 1,18 | 1,72 | 1,53 | 1,74 |

Таблица 2. Анализ чувствительности MLP 7-10-4 (НС-классификация, мужчины)

| Исх.ЧСС | Исх.ЧД | Мин.гр. | ДлРмин.гр. | Возраст | Рост | Вес |
|---------|--------|---------|------------|---------|------|-----|
| 8,7 | 1,1 | 11,4 | 6,1 | 15 | 1,8 | 5 |

Анализ чувствительности (табл. 1) показал, что все признаки примерно одинаково значимы по своему вкладу в классификацию уровня РАВ для женщин, хотя наиболее значимы Мин.гр. и ДлРмин.гр. В то же время для мужчин (табл. 2) значительно преобладают по своему вкладу в классификацию уровня РАВ возраст, Мин.гр. и Исх.ЧСС; менее всего значима Исх.ЧД.

При учете индекса Кердо, для мужчин основой классификации уровня РАВ являются 9 признаков: Мин.гр., ДлРмин.гр.; Исх.ЧСС, Исх.ЧД; возраст; рост, вес; ДАД, САД. Наилучшую нейросетевую классификацию показал MLP 9-12-5 многослойный персептрон с 12 нейронами в скрытом слое (9 входных нейронов, 5 выходных – по количеству уровней РАВ), со скрытой показательной функцией активации и выходной функцией активации в виде гиперболического тангенса. НС-классификация верна с вероятностью 95%; причем ошибок на 2 и выше уровней не наблюдалось.

Таблица 3. Анализ чувствительности MLP 9-12-5 (НС-классификация, мужчины)

| Исх.ЧС С | Исх.Ч Д | Мин.гр . | ДлРмин.г р. | Возрас т | Рост | Вес | ДАД | СА Д |
|-------------|------------|-------------|----------------|-------------|-------|------|-----|---------|
| 2 | 1,2 | 2 | 2,4 | 1,136 | 1,146 | 1,37 | 1,5 | 1 |

Анализ чувствительности (табл. 3) показал, что все признаки примерно одинаково значимы по своему вкладу в классификацию уровня РАВ для женщин, хотя наиболее значимы Мин.гр. и ДлРмин.гр.; наименее – САД.

5. Заключение

Для совершенствования существующего пошагового принципа определения диапазона явления сердечно-дыхательного синхронизма (СДС), проведен статистический анализ (дискриминантный и нейросетевой) данных измерений системы количественной оценки регуляторно-адаптивного статуса организма человека (РАВ) с целью получения прогноза уровня РАВ на основе его наименее трудоемких по измерениям и фиксации параметров с предварительным выявлением системы таких параметров. Расчеты проведены в пакете Statistica v. 10 (StatSoft Inc., USA). Исследованы факторы-аргументы: минимальная граница СДС и длительность развития синхронизации на минимальной границе, исходная частота сердечных сокращений, исходная частота дыхания, длительность восстановления на минимальной границе, индекс Кердо. В качестве основы прогноза учитывались: возраст, рост, вес, пол и фаза менструального цикла (для женщин), величины диастолического и систолического артериального давления. Рассмотрены линейные и квадратичные регрессионные модели, линейный дискриминантный анализ, а также нейросетевые методы (НС) – многослойный персептрон и сеть типа радиальной базисной функции. Наилучшую точность показала нейросетевая регрессия и классификация.

Для женщин наилучшую нейросетевую классификацию показала RBF 8-17-4 сеть типа радиальной базисной функции с 17 нейронами в скрытом слое (8 входных нейронов, 4 выходных), со скрытой гауссовской функцией активации и выходной softmax-функцией активации. НС-классификация верна с вероятностью 73%; причем с 20%-й вероятностью – ошибка на 1 уровень; т. е. ошибка на 2 уровня маловероятна – только с 8%-й вероятностью; ошибок на 3 и выше уровней не наблюдалось. Для мужчин наилучшую нейросетевую классификацию показал MLP 7-10-4 многослойный персептрон с 10 нейронами

в скрытом слое (7 входных нейронов, 4 выходных), со скрытой тождественной функцией активации и выходной softmax-функцией активации. НС-классификация верна с вероятностью 97%; причем ошибок на 2 и выше уровней не наблюдалось.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сердечно-дыхательный синхронизм в оценке регуляторно-адаптивных возможностей организма / Под ред. В.М. Покровского. Краснодар: Кубань-Книга, 2010. 244 с.

2. **Покровский В.М.** Формирование ритма сердца в организме человека и животных. Краснодар: Кубань-Книга, 2007. 144 с.

3. **Wu M.-C., Hu C.-K.** Application of Empirical Mode Decomposition to Cardiorespiratory Synchronization / S.K. Dana et al. (eds.), Complex Dynamics in Physiological Systems: From Heart to Brain, Understanding Complex Systems. 2009, Springer Science+Business Media B.V., P. 167–181.

4. **Kabir M.M., Saint D.A., Nalivaiko E., Abbott D., Baumert M.** Time delay correction of the synchrogram for optimized detection of cardiorespiratory coordination // Med. Biol. Eng. Comput. 2011. 49. P. 1249–1259.

5. **Шкиря Т.В.** Статистический анализ системы количественной оценки регуляторно-адаптивного статуса организма человека // Междисциплинарные исследования в области математического моделирования и информатики // Материалы III науч.-практ. Интернет-конф. Ульяновск: SIMJET, 2014. С. 385–391.

REFERENCES

1. Pokrovskiy V.M., *Serdechno-dykhatelnyy sinkhronizm v otsenke regulyatorno-adaptivnykh vozmozhnostey organizma* (Cardio-respiratory synchronism in assessment of regulatory-adaptive capabilities of an organism), Krasnodar, 2010, 244 p.

2. Pokrovskiy V.M., *Formirovanie ritma serdtsa v organizme cheloveka i zhivotnykh* (Heart rhythm formation in the organism of humans and animals), Krasnodar, 2007, 144 p.

3. Wu M.-C., Hu C.-K., *Application of Empirical Mode Decomposition to Cardiorespiratory Synchronization* / S.K. Dana et al. (eds.), *Complex Dynamics in Physiological Systems: From Heart to Brain, Understanding Complex Systems*. 2009, Springer Science+Business Media B.V., pp. 167–181.

4. Kabir M.M., Saint D.A., Nalivaiko E., Abbott D., Baumert M., *Med. Biol. Eng. Comput.*, 2011, 49, pp. 1249–1259.

5. Shkiryа T.V., *Mezhdistsipl. issl. v oblasti matematicheskogo modelirovaniya i informatiki* (Interdisciplinary research in the field of mathematical modeling and computer science), Ulyanovsk, 2014, pp. 385–391.

Поступила 05.05.14 г.

*NEURAL NETWORK CLASSIFICATION AND DISCRIMINANT ANALYSIS
OF A REGULATORY AND ADAPTIVE POSSIBILITIES OF THE HUMAN BODY
LEVEL*

S.V. USATIKOV, T.V. SHKIRYA

*Kuban State Technological University,
2, Moskovskaya st. Krasnodar, Russian Federation, 350072; e-mail: shkiryа.tatiana@yandex.ru*

In order to improve the existing incremental principle of determining the cardio-respiratory synchronism (CRS) phenomenon range, statistical discriminative analysis and neural network analysis of regulatory and adaptive status of the human body (RAS) quantitative specification system data have been conducted. The main objective is to obtain projected RAS level on the basis of its least-consuming measurements and by fixing the parameters, with preliminary identification of these parameters. Calculations have been performed using Statistica pack v. 10 (StatSoft Inc., USA). The following factors-arguments have been examined: the Minimum limit of CRS, Duration of evolution synchronization at the minimum border, Initial heart rate, Initial respiratory rate, Duration of recovery at minimum border, as well as the Kerdo index. As the basis of the forecast the following categories have been taken into account: age, height, weight, sex and phase of the menstrual cycle (for women), the values of diastolic and systolic blood pressure. Linear and quadratic regression models, linear discriminant analysis and neural network techniques (NN) – multilayer perceptron and network of radial basis function type have been analyzed. Neural network regression and classification have shown the best accuracy. NN-classification of PAS level can be made on these grounds with a probability greater than 70%; with a probability more than 90% error is less than one level.

Key words: system of cardiorespiratory synchronism parameters, statistical forecasting, discriminant statistical analysis, neural network statistical analysis.