

НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ ДИАГНОСТИКИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ ЧЕЛОВЕКА

© Выхованец Ю.Г., Тетюра С.М., Черняк А.Н., Алешечкин П.А.

Кафедра медицинской физики, математики и информатики
Донецкого национального медицинского университета им. М. Горького, ДонецкE-mail: roger1965@mail.ru

Разработана нейросетевая модель количественной оценки функциональных состояний человека на основе показателя прогнозирования биологического возраста человека. Оценка состояний осуществляется на основе паспортного возраста, массы тела, роста, систолического и диастолического артериального давления, среднего давления, стабилметрического показателя – LFS. Предложена методика классификации состояний с выделением двух классов. Оптимальный порог классификации составил (- 1,5) лет. Чувствительность теста составила 82,5, а отношение правдоподобности позитивных результатов – 1,28. Установлено, что степень отклонения прогнозируемого биологического возраста от паспортного зависит от функционального состояния человека.

Ключевые слова: функциональное состояние, биологический возраст, стабилметрия, нейросетевая модель.

NEURAL NETWORK MODEL FOR DIAGNOSTICS OF PERSON'S FUNCTIONAL CONDITIONS

*Vykhovanets Yu.G., Tetyura S.M., Cherniak A.N., Aleshechkin P.A.*Department of Medical Physics, Mathematics and Informatics
of M. Gorky Donetsk National Medical University, Donetsk

The neural network model of the quantitative estimation of functional conditions of a person on the basis of forecasting person's biological age has been developed. The estimation of conditions is carried out on the basis of passport age, body weight, height, systolic and diastolic arterial pressure, average pressure, and stabilometrical parameter - LFS. The method of classifying the conditions with distinguishes two classes. The optimal threshold of the classification makes up (-1.5) years. The test sensitivity is 82.5 and the ratio of positive results plausibility is 1.28. The model allows estimating the functional states while conducting different types of activity and predicting different disturbances resulting in worsening the health state due to the influence of different unfavorable environmental factors.

Keywords: functional condition, biological age, stabilometry, neural network model.

Проблема диагностики и прогнозирования функциональных состояний (ФС) человека стала широко и основательно рассматриваться с момента, когда в таких отраслях, как спорт, космонавтика, педагогика, физиология, медицина, стали изучаться вопросы оценки возможности выполнения определенных видов деятельности, а также прогнозирования уровня работоспособности человека, находящегося в определенном ФС [1, 3, 11]. Анализ существующей проблемы показывает, что, несмотря на ряд достижений в диагностике ФС, до сих пор не разработаны эффективные экспресс-методики, позволяющие оценить адекватность состояний, возникающих при выполнении того или иного вида деятельности. Отсутствуют комплексные, системные подходы в определении и прогнозировании таких состояний [3, 7, 16]. Общим в представлениях о ФС является то, что их изучение невозможно без интегральной оценки тех функций физиологических систем, которые прямо или косвенно обуславливают эффективную деятельность человека в непосредственной связи с динамикой работоспособности [1, 7]. Развитие того или иного ФС обуславливается, как специфичностью факторов, так и механизмом развития данного ФС. Способствуют формированию ФС и

влияют на динамику их развития такие факторы, как параметры условий труда и жизнедеятельности, социальной среды и индивидуальных особенностей человека [7, 16]. Изучение и оценка межсистемных взаимодействий физиологических систем в процессе целенаправленных видов деятельности позволит изучить физиологические механизмы регулирования систем организма и разработать количественные критерии диагностики и прогнозирования состояний. Решение такой сложной задачи может быть осуществлено на основе использования современных информационных компьютерных технологий. Качественный анализ многомерных медико-биологических данных, полученных в результате электрофизиологических исследований, может быть проведен только с помощью применения компьютерных программ анализа данных [4, 10]. В последние годы часто при анализе многомерных биомедицинских данных применяется метод нейросетевого моделирования [10]. Нейронные сети представляют собой нелинейные системы, позволяющие более качественно проводить анализ, чем линейные методы. Сильной стороной нейросетевых методик является нестандартный характер обработки информации, так, нейронные сети могут

автономно "изучать" статистические и динамические свойства объекта на основе результатов измерений, выполненных в прошлом, а затем действовать таким образом, чтобы принять лучшее решение при неопределенном состоянии выходной переменной. Эти и другие проблемы определяют актуальность настоящих исследований, целью которых была разработка нейросетевой модели диагностики и прогнозирования ФС человека.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проведены на базе психофизиологической лаборатории кафедры медицинской, физики, математики и информатики Донецкого национального медицинского университета им. М. Горького. В исследуемую группу всего вошло 269 человек (153 мужчины и 116 женщин) в возрасте от 17 до 70 лет. На основе оценки состояния здоровья по данным медицинских осмотров из нее были сформированы контрольная и опытная группы. Контрольную группу составили 164 человека (81 мужчины и 83 женщины). В нее вошли лица, у которых на момент обследования не было острых заболеваний, а также хронических заболеваний в стадии обострения. Опытная группа объединила 105 человек (72 мужчины и 33 женщины), с различными функциональными состояниями и заболеваниями. По состоянию здоровья (с учетом международной классификации заболеваний десятого пересмотра) эту группу составили лица с заболеваниями следующих классов: VI.G50.4; VI.G63.2; VI.G90.9; VI.G93.4; VIII.M42.1; IX.I67.2; IX.I67.4. В каждый класс вошло по 15 человек (10 мужчин и 5 женщин).

В сформированных группах изучали и анализировали несколько типов параметров. Так, на основе антропометрических показателей (масса, длина тела) проводился расчет массо-ростовых коэффициентов (индекс Кетле, пульсо-ростовой, весо-ростовой коэффициенты, площадь поверхности тела) по стандартным методикам. Измерения артериального давления осуществлялись с помощью автоматического тонометра OMRON Blood Pressure Monitor HEM – 704C. По данным исследований артериального давления рассчитывались показатели гемодинамики (минутный объем крови, среднее артериальное давление и вегетативный индекс Кердо). Психофизиологические параметры (время реакции на раздражитель (ВР), скорость переработки информации (СПИ), количество ошибок (N, ош.) и электрическое сопротивление кожи (ЭСК)) измеряли с помощью «Устройства для функциональной диагностики

организма» (ТУ У 25120900.001-99) [12]. Биологический возраст (БВ) человека определяли с применением прибора «БИОТЕСТ-1М» [17]. Психологический возраст (ПсВ) определялся по стандартной методике [2]. Регистрация физиологических показателей в процессе выполнения тестов по поддержанию ВП осуществлялась с использованием компьютерного комплекса «Полиграф» [4, 11]. Комплекс создан на базе стандартного электронного полиграфа П4Ч-02. Электрокардиографический блок этого комплекса обеспечивал регистрацию и запись показателей variability сердечного ритма (ВСР) при выполнении стабилметрических тестов во время поддержании вертикальной позы (ВП). Регистрация стабิโลграмм осуществлялась с помощью электронного блока, включающего стандартную стационарную стабилметрическую платформу и аналого-цифровой преобразователь (АЦП L-Card E 14-140, Россия). Записи осуществлялись одновременно в антеропостериорной (отклонения вперед или назад от вертикального положения – а/п) и медиолатеральной (отклонения влево или вправо – м/л) плоскостях. После проведения регистрации рассчитывались: длина траектории перемещения центра давления (L) в двумерной плоскости колебаний, площадь стабิโลграммы (S), которая вычислялась как площадь фигуры, описываемой радиус-вектором, проведенным от начального положения центра давления до его текущего положения. Кроме этого, определялись составляющие спектральной плотности разложения начального сигнала в ряд Фурье для изучаемых плоскостей. В стандартной записи обрабатывались сигналы длительностью 30 секунд, полученные с дискретностью в $\Delta\tau = 1/25$ секунды. Спектральная плотность сигнала рассчитывалась в диапазонах частот: 0-10 Гц. Показатели стабิโลметрии приведены в условных единицах (у.е.) в соответствии с размерностью АЦП. Общее время записи стабิโลграмм и электрокардиограмм составляло 3 минуты.

Перед началом исследований проводилась регистрация испытуемого с заполнением электронного протокола исследований. После этого определялись антропометрические, психофизиологические показатели и биологический возраст. При проведении стабилметрических исследований проводились тесты по поддержанию ВП с искусственной обратной связью (ИОС), с открытыми (ОГ) и закрытыми глазами (ЗГ) с одновременной цифровой регистрацией электрокардиограммы во втором стандартном отведении. При проведении тестов в условиях с ИОС испытуемому предлагалось стать на платформу и регулировать свою позу таким образом, чтобы на расположенном перед ним экране дисплея светящаяся точка находи-

лась в месте пересечения двух взаимно перпендикулярных линий. Тест С ОГ осуществлялся с открытыми глазами и выключенным монитором, т.е. без обратной связи. При проведении исследований с ЗГ глаза закрывались специальной непрозрачной повязкой. Цифровые результаты автоматически записывались в базу данных и в режиме on-line, с использованием компьютерной программы проводился расчет показателей ВСР и стабиллометрии. Все полученные результаты распечатывались в виде итогового протокола исследований. При статистическом анализе показателей, полученных в результате исследований, проводилась оценка вида их статистического распределения по критерию Хи-квадрат. В случае нормального распределения величин при проведении описательной статистики рассчитывали среднее значение ($\bar{X}$), его ошибку (m) и стандартное отклонение (σ). При распределении, отличном от нормального, рассчитывали минимальное и максимальное значения, а также медиану (Me) и квартили (25% и 75%). Множественные сравнения показателей проводили с применением рангового однофакторного анализа Крускала-Уоллиса и критерия Данна. При проведении статистического анализа использовался пакет MedStat [10]. Построение и анализ нейросетевых моделей проводился в лицензионном пакете Statistica Neural Networks, построение логистических моделей регрессии и ROC-анализ – в пакете MedCalc.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На первом этапе исследований проводился анализ физиологических, антропометрических, психофизиологических показателей, БВ и ПсВ (табл. 1) При анализе антропометрических показателей достоверных различий между контрольной и опытной группами у мужчин и женщин не установлено ($p > 0,05$). Однако в опытной группе мужчин с заболеваниями нервной системы установлено превышение значений нормы [8] по индексу Кетле (ИК) на 0,3 (95% ДИ: 0,1-0,4) $кг \times м^2$, у женщин – на 0,6 (95% ДИ: 0,5-0,7) $кг \times м^2$ и у мужчин и женщин с заболеваниями системы кровообращения на 0,2 (95% ДИ: 0,1-0,25) $кг \times м^2$ ($p < 0,05$). В опытной группе установлено превышение нормы по площади поверхности тела (ППТ) [8]: у мужчин – на 0,15 (95% ДИ: 0,12-0,17) $м^2$, у женщин в среднем на 0,2 (95% ДИ: 0,17-0,23) $м^2$ ($p < 0,05$). Различий между группами по массо-ростовому коэффициенту (МРК) не выявлено.

При анализе физиологических показателей выявлено достоверное увеличение артериального

давления систолического (АДС), диастолического (АДД) и среднего (АДср.) в опытной группе относительно контрольной ($p < 0,05$).

Кроме этого, в отдельных группах установлено превышение норм ВОЗ по АДС: у мужчин с заболеваниями нервной системы – на 10 (95% ДИ: 8,5-11) мм рт. ст., у лиц обоего пола с заболеваниями системы кровообращения – на 10 (95% ДИ: 9,5-11,2) мм рт. ст. ($p < 0,05$).

У мужчин АДД превышало норму в группе с заболеваниями нервной системы на 15 (95% ДИ: 12-16) мм рт. ст., с заболеваниями системы кровообращения – на 10 (95% ДИ: 9,2-10,3) мм рт. ст. ($p < 0,05$). У женщин установлено превышение нормы ВОЗ по АДД: с заболеваниями нервной системы на 5 (95% ДИ: 4,3-5,3) мм рт. ст. ($p < 0,05$), с заболеваниями системы кровообращения, в среднем, на 10 (95% ДИ: 9,5-11,3) мм рт. ст. ($p < 0,05$). При анализе психофизиологических показателей установлены различия между группами по СПИ и Нош ($p < 0,05$). У мужчин и женщин опытной группы установлено уменьшение этих показателей сравнительно с контрольной группой ($p < 0,05$). Анализ БВ и ПсВ в отдельных группах выявил, что у мужчин с заболеваниями системы кровообращения наблюдается увеличение БВ на 6,5 (95% ДИ: 5,2-16,7) лет по сравнению с ПВ ($p < 0,05$). У женщин с заболеваниями нервной системы, напротив, БВ снижается на 11 (95% ДИ: 9,6-12,7) лет относительно ПВ ($p < 0,05$). Необходимо подчеркнуть, что в контрольной и опытной группах некоторые из антропометрических, физиологических и психофизиологических показателей находились как в пределах функционального оптимума, так и превышали его. Это не позволяет однозначно интерпретировать полученные результаты.

По мнению многих авторов, эффективным методом оценки ФС человека является диагностика состояния опорно-двигательного аппарата с применением стабиллометрии [6, 18]. В условиях выключения какой-либо сенсорной системы из процессов регуляции может изменяться характер взаимодействия функциональных систем, участвующих в поддержании ВП, что будет приводить к изменению структуры колебаний центра давления (ЦД) [11, 20], а это, в свою очередь, может дать дополнительную информацию, необходимую для проведения количественной оценки ФС человека. Результаты стабиллометрии при проведении тестов в различных условиях сенсорного контроля представлены в таблице 2.

Таблица 1

Результаты анализа антропометрических, физиологических, психофизиологических показателей, а также биологического и психологического возраста испытуемых в изучаемых группах ($Me \pm m$ (25; 75%))

Показатели	Мужчины		Женщины	
	контрольная группа (n=81)	опытная группа (n=72)	контрольная группа (n=83)	опытная группа (n=33)
ИК, кг/м ²	23,6±0,2 (18;29)	25±0,2 (20;31)	18±0,1 (19;31)	26,2±0,2 (21;33)
МРК, кг/см	7,5±0,2 (7,3;7,7)	7,5±0,2 (7,2;7,7)	7,0±0,1 (6,8;7,6)	7,17±0,1 (6,8;7,4)
ППТ, м ²	1,7±0,1 (1,5;2,0)	1,9±0,1 (1,7;1,8)	1,6±0,1 (1,5;1,79)	1,7±0,1 (1,6;1,8)
АДС, мм рт. ст	124±7,2 (110;135)	130±7,4 (105;165)*	114±6,5 (100;124)	122±6,8 (105;125)*
АДД, мм рт. ст	81±5,4 (68;90)	88±5,5 (67;110)*	73±4,7 (60;85)	83±5,1 (80;100)*
АДср., мм рт. ст	99,4±5,8 (87;112)	105±5,2 (95;142)	90,3±6,1 (78;100)	100,4±6,3 (82;118)*
ВИК, ус.ед.	34,8±2,3 (29;43)	32±2,0 (23;42)	34,7±3,2 (31;40)	33,7±3,0 (27;39)
СПИ, бит/с	7,4±0,2 (6,5;8,1)	5,7±0,2 (4,8;6,7)*	6,8±0,1 (6,3;9,1)	5,1±0,1 (5,3;5,7)*
N, ош.	2,1±0,1 (0,4;1,2)	2,3±0,1 (0,8;6,4)	1,6±0,1 (0,2;5)	2,1±0,1 (0,7;2,5)
ЭСК, кОм	16±0,2 (11;47)	19±0,3 (13;24)	32±0,4 (19;54)	19±0,3 (15;32)
ПВ, лет	33,2±1,2 (18,5;53,6)	43,7±1,5 (26,3;54,2)	30,0±1,1 (18;70)	50,1±1,5 (31,5;65)
БВ, лет	23,5±1,0 (17;38)	52±4,0 (48;58)*	25,3±1,0 (16;36)	47,3±3,2 (35;57)*
ПсВ, лет	25,5±1,0 (20;40)	53±3,5 (45;59)*	24,5±1,0 (19;30)	50,3±4,2 (33;63) *

Примечание: * – достоверность отличий медианы опытной группы ($p < 0,05$) по отношению к показателям контрольной группы.

При анализе стабилومترских показателей, полученных при тестировании с ИОС, достоверных различий между контрольной и опытной группами у мужчин и женщин не установлено. Однако у мужчин опытной группы с заболеваниями нервной системы и системы кровообращения установлено увеличение L, S, LFS по сравнению с контрольной группой ($p < 0,05$). Аналогичные закономерности установлены и у женщин. Выявлены различия между контрольной и опытной группами при анализе амплитудно-частотных показателей стабилотрии. На частоте 0,5 Гц в м/л и а/п плоскостях выявлено уменьшение мощности МС колебаний у лиц с заболеваниями системы кровообращения и нервной системы по сравнению с контрольной группой ($p < 0,05$). Аналогичные закономерности установлены и при выполнении тестов с ОГ и ЗГ. При выполнении двигательных задач изменяется и тонус вегетативной нервной системы (ВНС) в зависимости от типа

тестирования и функциональных или органических нарушений, что подтверждается результатами оценки показателей ВСР. При выполнении всех видов тестирования установлено увеличение значений SDNN (стандартное отклонение всех NN-интервалов), ИН (индекс напряжения регуляторных систем), ПАПР (показатель адекватности процессов регуляции) у мужчин с заболеваниями нервной системы и кровообращения по сравнению с контрольной группой ($p < 0,05$). Выявлено увеличение SDNN, ПАПР у женщин, страдающих заболеваниями нервной системы и кровообращения, по сравнению с контрольной группой ($p < 0,05$).

Необходимо отметить, что колебания некоторых показателей стабилотрии в опытной группе как в сторону увеличения, так и уменьшения, по сравнению с контрольной группой, не позволили однозначно интерпретировать полученные данные и провести классификацию состояний.

Таблица 2

Показатели стабилотрии при выполнении тестов с искусственной обратной связью, открытыми и закрытыми глазами ($Me \pm m$ (25; 75%))

Показатели	Мужчины		Женщины	
	контрольная группа (n=81)	опытная группа (n=72)	контрольная группа (n=81)	опытная группа (n=72)
исследования с искусственной обратной связью				
L, у.е.	47,7±2,3 (24,8;72,6)	43,5±2,1 (23,8;65,3)	41,6±2,1 (23,1;74,2)	41,2±2,0 (23,8;93,3)
S, у.е.	0,23±0,03 (0,11;0,48)	0,31±0,03 (0,09;0,53)	0,19±0,02 (0,11;0,22)	0,21±0,02 (0,05;0,7)
LFS, у.е.	370±25,3 (230;558)	436±22,5 (177;750)	473±20,6 (176;820)	560±28,7 (145;930)
MC _{0,5 Гц} м/л	3,2±0,1 (1,4;6,5)	2,9±0,1 (1,5;6,0)	3,2±0,1 (1,29;6,3)	2,6±0,1 (1,22;7,5)
MC _{0,5 Гц} а/п	4,5±0,1 (1,8;7,9)	3,9±0,1 (1,9;6,4)	4,1±0,1 (1,85;7,34)	3,4±0,1 (1,5;7,7)
исследования с открытыми глазами				
L, у.е.	41,3±2,2 (21,9;69,6)	42,5±2,1 (23,8;63,2)	40,6±2,1 (23,6;54,4)	35,7±2,0 (21,7;57,4)
S, у.е.	0,25±0,02 (0,19;0,58)	0,26±0,02 (0,06;0,67)	0,23±0,02 (0,15;0,43)	0,17±0,02 (0,1;0,5)
LFS, у.е.	395±22,3 (127;775)	398±22,1 (170;750)	319±20,2 (119;793)	553±22,1 (187;930)
MC _{0,5 Гц} м/л	4,2±0,1 (1,14;7,7)	3,4±0,1 (1,5;6,8)	3,7±0,1 (1,74;6,62)	3,1±0,1 (1,72;6,63)
MC _{0,5 Гц} а/п	5,96±0,1 (1,8;10,7)	4,5±0,1 (1,9;9,2)	5,3±0,1 (1,8;9,4)	3,5±0,1 (1,99;6,6)
исследования с закрытыми глазами				
L, у.е.	52,6±2,2 (25;87)	31,1±2,0 (28,2;97)	47,3±2,1 (24,9;72)	41,5±2,1 (23;84)
S, у.е.	0,64±0,03 (0,2;0,95)	0,70±0,03 (0,2;1,35)	0,31±0,02 (0,1;0,6)	0,20±0,02 (0,09;0,7)
LFS, у.е.	350±22,5 (117;772)	264±20,1 (123;634)	289±20,2 (101;640)	469±20,3 (138;902)
MC _{0,5 Гц} м/л	5,2±0,1 (1,7;8,7)	5,8±0,1 (1,8;8,9)	4,1±0,1 (2,1;7,2)	3,3±0,1 (1,7;3,5)
MC _{0,5 Гц} а/п	8,5±0,1 (2,2;14,7)	5,4±0,1 (1,9;9,64)	6,2±0,1 (2,21;11,3)	4,4±0,1 (2,3;10,7)

Примечание: L – длина стабิโลграммы; S – площадь стабิโลграммы; LFS – отношение длины стабิโลграммы к ее площади; MC_{0,5 Гц} м/л и MC_{0,5 Гц} а/п – мощность спектра колебаний ЦМ на частоте 0,5 Гц в медиолатеральной и антеропостериорной плоскостях; у.е. – условные единицы.

ФС человека формируются и изменяются с течением времени под воздействием различных факторов внутренней и внешней среды. По этой причине показатели, на основе которых может проводиться прогноз ФС человека, должны отображать, как текущее состояние на момент его оценки, так и учитывать процессы формирования ФС в течение длительного времени [16]. В качестве такого показателя может быть выбран биологический возраст человека (БВ) [5, 13]. Выбор данного показателя обусловлен тем, что БВ человека является фундаментальной характеристикой темпов развития и старения организма. На его величине отражаются функцио-

нальные и органические расстройства, перенесенные заболевания [5, 17]. В связи с этим значение БВ может изменяться как в сторону увеличения, так и уменьшения по отношению к ПВ. Увеличение БВ, по сравнению с ПВ, рассматривается как ухудшение состояния организма, вызванное внешними (окружающая среда, социальные условия жизни) или внутренними (функциональные расстройства, органические повреждения и другие) факторами. Уменьшение БВ, по отношению к ПВ, рассматривается как позитивный признак, который свидетельствует о замедлении темпов старения организма и о более высоких показателях жизнедеятельности его органов и систем

[5, 13]. Таким образом, на основе прогноза БВ можно разработать метод оценки ФС организма человека. Для решения этой задачи была построена нейросетевая модель регрессии с использованием программы Statistica Neural Networks. В качестве входных признаков для построения модели использовалось 99 показателей: паспортный возраст, пол, антропометрические, физиологические, стабилметрические показатели, ВСР. Выходным признаком был прогнозируемый биологический возраст человека (ПБВ). Для выбора наиболее значимых для прогноза ФС признаков был использован генетический алгоритм отбора. В результате его применения (при штрафе за элемент Unit Penalty=0,001) было отобрано 7 показателей: возраст (ПВ), масса тела (МТ), индекс Кетле (ИК), артериальное систолическое (АД с.) и диастолическое давление (АД д.), среднее артериальное давление (АД ср.), интегральный стабилметрический показатель (LFS). На основе этих параметров была построена модель прогноза биологического возраста, которая представляет собой персептрон с одним скрытым слоем (рис. 1).

Обучение модели было проведено методом Back Propagation (3000 эпох обучения) и Quasi-Newton (3000 эпох обучения), после чего оно было остановлено в результате роста ошибки прогнозирования на контрольном множестве случаев (переобучение модели). После завершения процедуры обучения были обновлены значения весовых коэффициентов, которые дали наименьшие значения ошибки на контрольном множестве. При сравнении качества модели, построенной на полном наборе признаков, и модели, которая включает только 7 признаков, на тестовом множестве значений достоверного отличия между моделями не выявлено ($p > 0,05$). Это является подтверждением значимости отобранных признаков для прогнозирования биологического

возраста человека (табл. 3). Анализ результатов прогноза показал, что статистически значимых различий в качестве прогноза на учебном и тестовом множестве не выявлено ($p > 0,05$). Это является свидетельством адекватности модели и возможности ее использования для оценки на новых случаях, не представленных в обучающем множестве. При решении задачи количественной оценки ФС человека путем расчета ПБВ достаточной является классификация состояний с разбитием их на два класса. Первый класс – это лица, в которых прогнозируется высокий риск ухудшения ФС, второй класс, – те, у кого прогнозируется низкий риск его ухудшения.

При проведении процедуры ROC-анализа все обследуемые были разбиты на две группы. Первая – исследуемые с различными функциональными расстройствами. Этой группе был присвоен код 1 (позитивная группа). Вторую группу составили здоровые лица. Данной группе был присвоен код 0 (негативная группа).

В качестве исходной переменной была задана величина ПРБПВ (прогнозируемая разница между БВ и ПВ человека). Исходя из результатов проведенного анализа, оптимальный порог классификации, то есть ПРБПВ, составил (- 1,5) лет. При таком пороге чувствительность теста составляет 82,5, а отношение правдоподобности позитивных результатов равняется 1,28.

Таким образом, при проведении диагностических тестов на основе значения оптимального порога классификации ROC-анализа можно разделить обследуемых на две группы. Если в результате расчетов текущее значение $Y_{тек.}$ будет больше критического $Y_{кр.}$, прогнозируется высокий риск ухудшения ФС. Если текущее значение $Y_{тек.}$ будет меньше, чем $Y_{кр.}$, прогнозируется низкий риск ухудшения ФС.

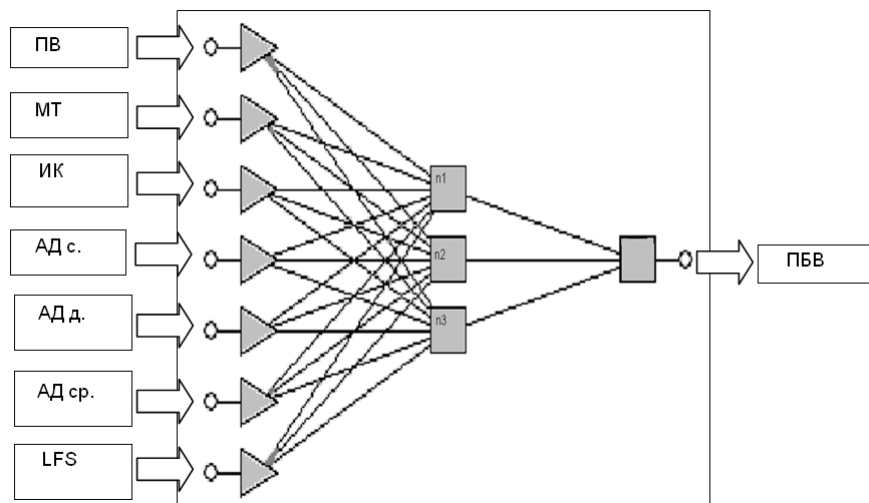


Рис. 1. Архитектура семифакторной нейросетевой модели прогноза БВ человека.

Показатели качества прогноза биологического возраста

Показатель	Множество		
	обучающее (n=800)	контрольное (n=50)	тестовое (n=140)
Среднее значение	33,5	34,2	31,3
Абсолютная ошибка среднего	1,1	1,3	1,5
Стандартное отклонение	14,9	14,8	13,0
Ошибка стандартного отклонения	1,4	1,6	1,9
Часть неопределенной дисперсии	0,096	0,1	0,143
Коэффициент корреляции	0,995	0,994	0,990

На основе оценки результатов прогноза ФС человека по биологическому возрасту было установлено, что статистически значимых различий качества модели на обучающем, контрольном и тестовом множестве нет ($p > 0,05$). Это является свидетельством математической адекватности разработанной семифакторной модели прогноза ФС человека. Была проведена биологическая верификация разработанной модели у пациентов с разными хроническими заболеваниями, которые состояли на диспансерном учете и один раз в полугодие проходили курсы реабилитации. Полученные результаты подтвердили клиническую эффективность полученной модели.

Разработанный метод количественной оценки ФС на основе нейросетевого моделирования может эффективно применяться при осуществлении контроля качества лечения и реабилитации в клиниках хирургического, терапевтического и травматологического профилей. Кроме этого, метод позволяет получить количественную характеристику и прогнозировать риск появления неблагоприятных состояний, которые могут возникнуть под влиянием разных факторов окружающей среды или при выполнении различных видов профессиональной деятельности человека.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Александрова Ю.И.* Психофизиология: учебник для вузов. – СПб. : Питер, 2010. – 464 с.
2. *Анастаси А.* Психологическое тестирование. – СПб. : Питер, 2001. – 688 с.
3. *Анохин П.К.* Узловые вопросы теории функциональных систем. – Москва: Наука, 1980. – 196 с.
4. *Выхованец Ю.Г., Панченко О.А., Семисалов С.Я.* Биокрибернетический анализ стабильностей у лиц с нарушениями координации движений // Украинский журнал телемедицины та медичної телематики. – 2009. – Т. 7, № 1. – С. 31-34.
5. *Выхованец Ю.Г.* Показатели биологического и психологического возраста у лиц с различными функциональными расстройствами // Архив клинической и экспериментальной медицины. – 2009. – Т. 18, № 2. – С. 170-172.
6. *Дубровский В.И., Федорова В.Н.* Биомеханика. – Москва : ВЛАДОС-ПРЕСС, 2003. – 672 с.
7. *Ильин Е.П.* Психофизиология состояний человека. – СПб. : Питер, 2005. – 412 с.
8. *Литвинов А.В.* Норма в медицинской практике. – М. : МЕДпресс-информ, 2004. – 144 с.
9. *Лучихин Л.А., Скворцов Д.В., Кононова Н.А., Востоков А.В.* Постурографическая экспресс-диагностика функционального состояния системы равновесия в вестибулологии // Вестник оториноларингологии. – 2006, № 1. – С. 13-17.
10. *Лях Ю.Е., Гурьянов В.Г., Хоменко В.Н., Панченко О.А.* Основы компьютерной биостатистики. Анализ информации в биологии, медицине и фармации статистическим пакетом MedStat. – Донецк : Е.К. Папакица, 2006. – 214 с.
11. *Лях Ю.Е., Выхованец Ю.Г., Горшков О.Г.* Анализ стабильностей у лиц с нарушениями координации движений // Университетская клиника. – 2009. – Т. 5, № 1-2. – С. 99-102.
12. *Лях Ю.Е., Выхованец Ю.Г., Панченко О.А.* Скорость переработки информации при психомоторной деятельности у лиц с различным состоянием здоровья // Вестник гигиены и эпидемиологии. – 2006. – Т. 10, № 2. – С. 245-249.
13. *Маркина Л.Д.* Определение БВ человека методом В.П. Войтенко: учебное пособие для самостоятельной работы студентов медиков и психологов. – Владивосток : Владивостокский гос. мед. ун-т, 2001. – 29 с.
14. *Реброва О.Ю.* Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ STATISTICA. – М. : Медиа Сфера, 2006. – 312 с.
15. *Скворцов Д.В.* Клинический анализ движений, стабильметрия. – Москва: Антидор, 2000. – 199 с.
16. *Судаков К.В.* Нормальная физиология. – М. : МИА, 2006. – 920 с.
17. *Шахбазов В.Г., Григорьева Н.Н., Колупаева Т.В.* Новый цитобиофизический показатель биологического возраста и физиологического состояния организма человека // Физиология человека. – 1996. – Т. 22, № 6. – С. 71-75.
18. *Bougard C., Lepelley M., Davenne D.* The influences of time-of-day and sleep deprivation on postural control // Experimental Brain Research. – 2011. – Vol. 209, N 1. – P. 109-115.

19. Geh C., Beauchamp M.R., Crocker P.R. Assessed and distressed: white-coat effects on clinical balance performance // Journal of Psychosomatic Research.– 2011. – Vol. 70, N 1. – P. 45-51.
20. Verrel J., Lövdén M., Lindenberger U. Motor-equivalent covariation stabilizes step parameters and center of mass position during treadmill walking // Experimental Brain Research. – 2010. – Vol. 207, N 1-2. – P. 13-26.