

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕИРОСЕТЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ СТРУКТУРЫ ЭМОЦИОНАЛЬНОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ РЕБЕНКА ПО ФАКТОРАМ, ВКЛЮЧАЮЩИМ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ

Е.В. Вишневетская, И.А. Горбунов

USE OF NEURAL MODELING STRUCTURE FOR DIAGNOSTICS OF EMOTIONAL COMPETENCE OF A CHILD WITH FACTORS INCLUDING PHYSIOLOGICAL PARAMETERS

E.V. Vishnevetskaya, I.A. Gorbunov

В работе рассматривается практическое применение математической модели нейронной сети (многослойного перцептрона) для диагностики эмоциональной компетентности детей дошкольного возраста по физиологическим параметрам. Эмоциональная компетентность оценивалась с помощью психологического теста, включающего в себя 6 шкал, определяющих узнавание и выражение эмоций с помощью мимики, голоса и рисунка. В качестве физиологических параметров использовались показатели спектральных плотностей ЭЭГ, в стандартных диапазонах частот, а также изменение показателей вегетативной регуляции (ЧСС, АД) в ответ на эмоциогенные и интеллектуальные нагрузки. В результате построения диагностической модели были проверены показатели качества диагностики, а также описаны возможные физиологические механизмы, влияющие на особенности выраженности различных показателей эмоциональной компетентности.

Ключевые слова: нейросетевое моделирование, эмоциональная компетентность.

We consider the practical application of mathematical models of neural networks (multi-layer perceptron) for the diagnosis of emotional competence of preschool children on the physiological parameters. Emotional competence was assessed using the psychological test, which consists of 6 scales that determine the recognition and expression of emotion through facial expressions, voice and image. The physiological parameters were used as indicators of EEG spectral density in the standard frequency ranges, as well as indicators of change in autonomic regulation (HR, BP) in response to emotion-generating and intellectual burden. As a result of constructing diagnostic models quality of diagnosis was tested, and describes the possible physiological mechanisms that influence the particular expression of various indicators of emotional competence.

Keywords: neural modeling, emotional competence.

Актуальность. В дошкольном периоде психофизиологическое развитие ребенка происходит быстрыми темпами. При этом закладываются основы для успешной адаптации при освоении новой ведущей деятельности (учебы). При освоении учебной деятельности ребенок попадает в новую жизненную ситуацию, в которой наработанные стереотипы поведения, связанные с поведением в семье и дошкольном учреждении, могут быть неприменимы. В таких ситуациях ведущую роль в организации поведения будет играть эмоциональ-

ная сфера ребенка, так как она содержит в себе не только онтогенетический опыт, но и базовые поведенческие программы, сформированные в процессе филогенеза, а следовательно более универсальные (Ч. Дарвин, К. Изард, П.К. Симонов). Поэтому в дошкольном развитии ребенка очень важное значение имеет эмоциональная сфера. Однако, для коррекции и оптимизации развития ребенка необходима диагностика особенностей эмоциональной регуляции ребенка, которая бы учитывала не только качественные характеристики эмоций, прояв-

Вишневетская Елена Васильевна - канд. психол. наук, доцент кафедры прикладной психологии ЮУрГУ; Elena~VV@yandex.ru

Горбунов Иван Анатольевич - канд. психол. наук, зав. учеб. лаб. фак. психологии СПбГУ; Jean@psy.spb.ru

Vishnevetskaya Eleva Vasilevna - PhD, associate professor of Applied psychology department of SUSU; Elena~VV@yandex.ru

Gorbunov Ivan Anatolievich - PhD, head of the laboratory of psychology of Saint-Petersburg state university; Jean@psy.spb.ru

ляемые в поведении, но и особенности организации физиологических механизмов, стоящих за этими внешними проявлениями [1-4].

Особое место в эмоциональной регуляции имеет коммуникативная сфера, которая, с одной стороны, охватывает практически все аспекты эмоциональной регуляции, а с другой стороны, является одним из важных компонентов социальной адаптации ребенка. Следовательно, актуальным является построение диагностической модели, способной диагностировать успешность распознавания и выражения эмоций, учитывая функциональное состояние мозга ребенка и вегетативные функции, отраженные в ЭЭГ (электроэнцефалограмма мозга) и параметрах изменения ВНС (вегетативная нервная система) при эмоциогенной нагрузке.

Цель исследования: построение диагностической модели распознавания и выражения эмоций по характеристикам функционирования ЦНС (центральная нервная система) и ВНС.

Задачи:

1) выбор адекватной диагностической модели, позволяющей учесть всю сложность взаимодействия между психическими явлениями и физиологическими функциями;

2) построение диагностических правил, с помощью которых можно успешно диагностировать особенности узнавания и выражения эмоций;

3) описать функциональные системы, деятельность которых стоит за успешностью узнавания и выражения эмоций.

Гипотеза: 1) адекватной физиологической моделью, с помощью которой можно успешно диагностировать эмоциональную компетентность ребенка, а также позволяющей описать ее физиологические механизмы являются математические модели нейронных сетей; 2) в основе физиологических механизмов эмоциональной компетентности лежат активирующие системы мозга, а также особенности вегетативной регуляции, связанные с базовыми биологическими программами.

По данным многочисленных авторов в дошкольном возрасте наблюдается улучшение распознавания эмоций, а также значительные качественные изменения эмоциональной регуляции детей. Эмоциональная компетентность с возрастом значительно увеличивается [1, 5, 8].

На первом году жизни регуляция эмоционального напряжения осуществляется опекуном ребенка, создавая почву для «направляемой саморегуляции». Регуляция с этой точки зрения представляет собой ряд качественных преобразований, затрагивающих созревание ЦНС и формирование более сложных поведенческих программ [7]. В результате этого эмоции становятся менее подверженными воздействиям окружающей среды и контролируются благодаря пониманию личных переживаний.

Формирование такого сложного поведения, подразумевающего взаимодействие различных

систем (когнитивной, эмоциональной, поведенческой, системы отношений), позволяет говорить об усложнении, а также об увеличении количества ФС (функциональных систем), обеспечивающих эмоциональную сферу ребенка. Такие изменения могут отражаться на усложнении динамики фоновых характеристик активности мозга ребенка.

Взаимосвязи между физиологическими и психологическими явлениями основаны на взаимодействии различных систем организма и отличаются нелинейностью и многоуровневостью. Следовательно, чтобы распознать психические явления по физиологическим параметрам, требуется модель, учитывающая нелинейные взаимосвязи и взаимозависимость параметров входного образа. Обычно для распознавания сложных образов используются многослойные нейронные сети обратного распространения [6].

Несмотря на большое разнообразие вариантов нейронных сетей, все они имеют общие черты. Так все они, как и мозг человека, состоят из большого числа однотипных элементов - нейронов, которые имитируют клетки головного мозга, связанные между собой. На рисунке показана схема нейрона.

Из рисунка видно, что искусственный нейрон, так же как и живой, состоит из синапсов, связывающих входы нейрона с телом, которое осуществляет обработку входных сигналов и аксона, который связывает нейрон с нейронами следующего слоя. Каждый синапс имеет вес, определяющий, насколько соответствующий вход нейрона влияет на его состояние. Состояние нейрона определяется по формуле

$$S = \sum_{i=1}^n x_i w_i, \quad (1)$$

где n - число входов нейрона, x_i - значение i -го входа нейрона, w_i - вес i -го синапса.

Затем определяется значение аксона нейрона по формуле

$$y = f(S), \quad (2)$$

где f - некоторая функция, которая называется активационной.

Наиболее часто в качестве активационной функции используется так называемый сигмоид, который имеет следующий вид:

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-ax}}. \quad (3)$$

Основное достоинство этой функции в том, что она дифференцируема на всей оси абсцисс и имеет очень простую производную

$$f'(x) = af(x)(1 - f(x)). \quad (4)$$

При уменьшении параметра a , сигмоид становится более пологим, вырождаясь в горизонтальную линию на уровне 0,5 при $a = 0$. При увеличении a сигмоид все больше приближается к функции единичного скачка.

Нейронные сети обратного распространения - это мощнейший инструмент поиска закономерности

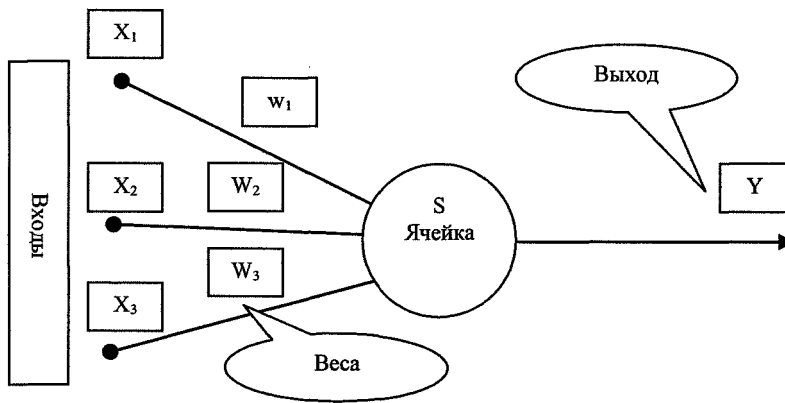


Схема одной ячейки нейронной сети «нейрона»

стей, прогнозирования, качественного анализа. Такое название - сети обратного распространения (back propagation) - они получили из-за используемого алгоритма обучения, в котором ошибка распространяется от выходного слоя к входному, т.е. в направлении, противоположном направлению распространения сигнала при нормальном функционировании сети [6].

Нейронная сеть (НС) обратного распространения состоит из нескольких слоев нейронов, причем каждый нейрон слоя i , связан с каждым нейроном слоя $i+1$, т.е. речь идет о полносвязной НС.

В общем случае задача обучения нейронной сети сводится к нахождению некой функциональной зависимости $Y=F(X)$ где X - входной, а Y - выходной векторы. В общем случае такая задача, при ограниченном наборе входных данных имеет бесконечное множество решений. Для ограничения пространства поиска при обучении ставится задача минимизации целевой функции ошибки нейронной сети, которая находится по методу наименьших квадратов:

$$E(w) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^p (y_j - d_j)^2, \quad (5)$$

где y_j - значение j -го выхода нейросети, d_j - целевое значение j -го выхода, p - число нейронов в выходном слое, Обучение нейросети производится методом градиентного спуска, т.е. на каждой итерации изменение веса производится по формуле

$$\Delta w_{ij} = -\eta \cdot \frac{\partial E}{\partial w_{ij}}, \quad (6)$$

где η - параметр определяющий скорость обучения

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ij}} = \frac{\partial E}{\partial y_j} \cdot \frac{\partial y_j}{\partial S_j} \cdot \frac{\partial S_j}{\partial w_{ij}}. \quad (7)$$

где y_j - значение выхода j -го нейрона, S_j - взвешенная сумма входных сигналов, определяемая по формуле (1). При этом множитель

$$\frac{\partial S_j}{\partial w_{ij}} \equiv x_i, \quad (8)$$

где x_i - значение i -го входа нейрона.

Далее рассмотрим определение первого множителя формулы (7)

$$\frac{\partial E}{\partial y_j} = \sum_k \frac{\partial E}{\partial y_k} \cdot \frac{\partial y_k}{\partial S_k} \cdot \frac{\partial S_k}{\partial y_j} = \sum_k \frac{\partial E}{\partial y_k} \cdot \frac{\partial y_k}{\partial S_k} \cdot w_{jk}^{(n+1)}, \quad (9)$$

где k - число нейронов в слое $n+1$.

Введем вспомогательную переменную

$$\delta_j^{(n)} = \frac{\partial E}{\partial y_j} \cdot \frac{\partial y_j}{\partial S_j}. \quad (10)$$

Тогда мы сможем определить рекурсивную формулу для определения δ_j^n n -го слоя если нам известно δ_j^{n+1} следующего $n+1$ -го слоя.

$$\delta_j^n = \left[\sum_k \delta_k^{n+1} \cdot w_{jk}^{n+1} \right] \frac{\partial y_j}{\partial S_j}. \quad (11)$$

Нахождение же для последнего слоя нейронной сети не представляет трудности, так как нам известен целевой вектор, т.е. вектор тех значений, которые должна выдавать НС при данном наборе входных значений

$$\delta_j^N = (y_j^N - d_j) \frac{\partial y_j}{\partial S_j}. \quad (12)$$

И, наконец, запишем формулу (6) в раскрытом виде

$$\Delta w_{ij}^N = -\eta \cdot \delta_j^N \cdot x_i^N. \quad (13)$$

Рассмотрим теперь полный алгоритм обучения нейросети.

1. Подать на вход нейронной сети один из требуемых образов и определить значения выходов нейронов нейросети.

2. Рассчитать δ^N для выходного слоя нейронной сети по формуле (12) и рассчитать изменения весов Δw_{ij}^N выходного слоя N по формуле (13).

3. Рассчитать по формулам (11) и (13) соответственно δ^n и Δw_{ij}^n для остальных слоев НС, $n=(N-1)\dots 1$.

4. Скорректировать все веса нейронной сети $w_{ij}^n = w_{ij}^n(t-1) + \Delta w_{ij}^n t. \quad (14)$

5. Если ошибка существенна, то перейти на шаг 1.

На этапе 2 сети поочередно в случайном порядке предъявляются вектора из обучающей последовательности.

Простейший метод градиентного спуска, рассмотренный выше, очень неэффективен в случае, когда производные по различным весам сильно отличаются. Это соответствует ситуации, когда значение функции S для некоторых нейронов близко по модулю к 1, или когда модуль некоторых весов много больше 1. В этом случае для плавного уменьшения ошибки надо выбирать очень маленькую скорость обучения, но при этом обучение может занять nepозволительно много времени.

Простейшим методом усовершенствования градиентного спуска является введение момента m , когда влияние градиента на изменение весов изменяется со временем. Тогда формула (13) примет вид

$$\Delta w_{ij}^n = -\eta \cdot \delta_j^n x_i^n + \mu \Delta w_{ij}^n (t-1). \quad (13.1)$$

Дополнительным преимуществом от введения момента является способность алгоритма преодолевать мелкие локальные минимумы.

Учитывая все преимущества нейронной сети для распознавания сложных образов, данная модель чрезвычайно подходит для обеспечения психодиагностики по физиологическим параметрам.

Очевидно, что диагностика эмоциональной компетентности по физиологическим параметрам составляет большие трудности по многим причинам. Во первых, это нелинейность взаимосвязей между физиологическими параметрами и психологическими характеристиками эмоциональной компетентности, представляющей один из высших механизмов регуляции целостного поведения человека. Гипотетически можно предположить, что различные показатели вегетативной и центральной регуляции отражают деятельность определенных функциональных систем, входящих в состав множества функций регуляции поведения, в которые, в частности, входит и эмоциональная регуляция. Таким образом, создается некая иерархическая система, нижним этажом которой представлены элементарные физиологические параметры, на промежуточном этапе находятся физиологические функциональные системы, обеспечивающие различные регуляторные и когнитивные функции, на верхнем же этапе находятся различные когнитивные и регуляторные способности которые можно измерить с помощью психологических тестов. Особенности такой модели будет то, что средний этаж этой схемы будет зависеть от группы физиологических переменных, в то же время любое психологическое свойство также будет зависеть от группы функциональных систем, находящихся на промежуточном этапе. Построение модели такой системы возможно с помощью математического моделирования нейронных сетей. При этом нейронная сеть будет представлять собой трехслойный перцептрон, на входной слой которого подаются значения физиологических переменных, выходным слоем перцептрона будут психо-

логические характеристики. Промежуточный же слой будет представлять физиологические факторы или функциональные системы, лежащие в основе регуляции поведения человека и отражения окружающего мира. Последовательно подавая на вход этого перцептрона физиологические переменные и обучая его методом обратного распространения ошибки рассогласования между результатом распознавания психологической характеристики и самой психологической характеристикой, измеренной по тесту, можно построить такую модель, которая позволит достаточно успешно диагностировать профиль психологических характеристик эмоциональной компетентности по физиологическим параметрам. При этом, структура такой обученной нейронной сети, отраженная в матрице связей между ячейками разных слоев (нейронами), может достаточно адекватно отражать реальные взаимосвязи между функциональными системами (факторами) и психологическими и физиологическими параметрами.

В качестве входных параметров данной модели мы выбрали факторные оценки, вычисленные из первичных физиологических параметров, рассмотренные в работе [1]. Большим преимуществом использования таких факторных оценок в нейронной модели является их независимость между собой (ортогональность факторов) и близость к нормальному распределению (нормализованность) этих оценок. В указанной работе с помощью факторного анализа проведенного над матрицей корреляций, связывающих показатели функционального состояния КГМ (кора головного мозга) (выраженные в спектральных плотностях различных ритмов ЭЭГ) и параметры вегетативных реакций (отраженные в изменении ЧСС (частота сердечных сокращений), АД (артериальное давление) и КГР (кожно-гальваническая реакция) на эмоциогенные и интеллектуальные нагрузки). В результате можно выделить следующие факторы.

1. Снижения активации кожно-кинестетического анализатора на интеллектуальную нагрузку.
2. Ритмичности передних и латеральных отделов коры мозга.
3. Реактивности НС (нервной системы).
4. Сосудистых реакций на вербальные интеллектуальные задачи.
5. Распространения низкочастотных ритмов в медиальных лобных и затылочных отделах.
6. Изменения АД на эмоциогенную нагрузку.
7. Изменения ЧСС на эмоциогенную нагрузку.
8. Распределения альфа ритма в КГМ.
9. Активации мозга за счет высокочастотных ритмов с акцентом на левое полушарие.
10. Кожно-гальванической реакции на эмоциогенное воздействие.
11. Тахикардии во время выполнения интеллектуальных задач.
12. Повышения высокочастотных ритмов во фронтальных областях КГМ.

Данные факторы отражают основные тенденции изменения функционального состояния ЦНС и ВНС (вегетативная нервная система) у детей от 4 до 6 лет. Факторные оценки, вычисленные для каждого ребенка являлись исходной физиологической информацией, которая загружалась при обучении в 1 слой нейронной сети обратного распространения ошибки, 3 слой представлял параметры эмоциональной компетентности детей.

В табл. 1 представлены результаты построения такой модели с точки зрения качества распознавания. В первой колонке таблицы, отражены психологические характеристики эмоциональной компетентности, которые диагностировались с помощью нейронной сети. Вторая колонка представляет средний квадрат ошибки диагностики показателя, отраженного в первой колонке. Третья колонка отражает максимальный квадрат ошибки, допущенной нейронной сетью при диагностике одного из испытуемых. В четвертой колонке таблицы находятся коэффициенты корреляции, между спрогнозированным нейронной сетью значением, и данной способностью ребенка, измеренной психологическими тестами.

Как видно из табл. 1, квадрат ошибки варьирует от 0,558 до 1,286, учитывая, что разброс показателей по тестам от 0 до 5. Корреляция варьирует от 0,629 до 0,776.

Кроме этого проводилась кросс-проверка надежности диагностики, представленной в табл. 1 в 4-6 колонках.

При кросс-проверке математическая модель нейронной сети обучалась на выборке, исключаяющей одного из испытуемых, а диагноз строился по этому испытуемому. Такая процедура была проведена 48 раз с исключением каждого испытуемого. Таким образом, корреляции и средние

значения считались для испытуемых, исключенных из группы обучения, то есть фактически для внешней выборки. Качество распознавания, при кросс-проверке, варьирует по квадрату ошибки от 0,646 до 1,573, а по коэффициенту корреляции от 0,447 до 0,706. Все корреляции значимы на уровне $p < 0,01$.

В табл. 2 отражена структура модели, объединяющая входной слой физиологических параметров и второй слой сети, отражающий функциональные системы, регулирующие эмоциональную компетентность ребенка и представленные нормализованными весовыми коэффициентами межнейронных связей. Близкое к нулю значение, будет отражать отсутствие связи входного физиологического параметра с данной функциональной системой.

Положительный вес (выше 1) отражает сильную взаимосвязь данного показателя с активацией той или иной функциональной системы (связь с этим показателем больше среднего на 1 сигму). Отрицательное значение связи (меньше -1) отражает сильную обратную зависимость от этой системы. Следовательно, интерпретация сущности функциональной системы, отраженной тем или иным нейроном промежуточного слоя, как и в факторном анализе, должна осуществляться с учетом не только весовых коэффициентов, но и теоретических знаний о закономерностях физиологической регуляции поведения человека, а также уточняться на основе связей с выходным психологическим слоем данной модели. В первом столбце (см. табл. 2) отражены входные факторы, отражающие совокупности физиологических параметров, описанных выше. В первой строке таблицы находятся предположительные названия функциональных систем, осуществляющих регуляцию эмоциональной компетентности ребенка (табл. 3).

Таблица 1

Показатели качества диагностики эмоциональной компетентности с помощью математической модели нейронной сети

Показатели ЭК	Качество распознавания в выборке обучения			Качество распознавания при кросс-проверке		
	Средний квадрат ошибки	Максимальный квадрат ошибки	Корреляция с диагнозом	Средний квадрат ошибки	Максимальный квадрат ошибки	Корреляция с диагнозом
Узнавание эмоций по рисунку	1,286	10,361	0,629	1,573	10,347	0,503
Выражение эмоций мимикой	0,691	2,911	0,664	0,933	2,911	0,540
Узнавание эмоций по голосу	1,434	8,577	0,440	1,481	8,577	0,483
Выражение эмоций голосом	0,583	4,742	0,741	1,193	5,302	0,447
Выражение эмоций рисунком	0,685	3,521	0,514	0,746	3,521	0,465
Эмоциональная компетентность	0,558	2,187	0,776	0,646	3,076	0,706

Структура взаимосвязей между входным слоем нейронной сети, отражающей физиологические параметры с промежуточным слоем нейронной сети

Нейроны	Гомеостатическая регуляция сердечной ритмики созревающими мозговыми механизмами	Отражение гомеостатической регуляции сосудистых реакций с созревающими мозговыми механизмами	Снижение доминирования КГМ у старших девочек	Преобладание гормональных подкорковых влияний на формирование эмоциональной регуляции у мальчиков	Общее снижение активации НС у некоторых детей	Снижение ориентировочной реакции при снижении ритмичности КГМ	Снижение ФС мозга в медиальных отделах и повышения вегетативных	Десинхронизация медиальных медленных ритмов и повышение вегетативных у мальчиков
Снижение активации кожно-кинестетического анализатора на интеллектуальную нагрузку	0,15	-0,38	-0,06	-0,46	-0,48	-1,22	0,51	0,52
Ритмичности передних и латеральных отделов коры головного мозга	-0,58	0,36	0,77	1,45	0,89	-1,01	0,71	0,81
Реактивность нервной системы	-0,33	-1,38	-0,95	-1,34	-0,96	0,25	-2,35	-0,58
Сосудистые реакции на вербальные интеллектуальные задачи	-0,49	-0,42	-0,70	0,54	-1,11	0,64	1,59	1,10
Распространение низкочастотных ритмов в медиальных лобных и затылочных отделах	-0,29	0,74	0,48	0,54	1,36	0,59	1,01	-1,12
Изменение артериального давления на эмоциогенную нагрузку	-0,57	-1,08	-0,59	0,60	-0,98	-0,63	0,58	1,34
Изменение ЧСС на эмоциогенную нагрузку	-0,20	0,27	0,83	0,33	0,14	0,48	-0,07	-0,54
Распределение альфа ритма в коре головного мозга	1,98	1,63	-1,28	-0,15	-0,42	0,73	0,69	-0,90
Активация мозга за счет высокочастотных ритмов с акцентом на левое полушарие	-0,27	-0,15	0,01	-1,32	0,71	-1,22	-0,29	-0,74
Кожно-гальваническая реакция на эмоциогенное воздействие	0,22	0,35	-0,75	-1,75	-0,52	-1,55	-0,50	-1,22
Тахикардия во время выполнения интеллектуальных задач	-1,09	-0,74	0,39	1,04	0,83	0,77	0,12	1,15
Повышение высокочастотных ритмов во фронтальных областях коры головного мозга	-0,76	-1,23	0,12	-0,66	-1,19	-0,07	-1,60	-1,25
Возраст	2,63	2,22	2,72	-0,35	2,17	2,24	-0,63	-0,14
Пол	-0,38	-0,19	-1,00	1,54	-0,45	0,01	0,21	1,56

1 НЕЙРОН. Вторая колонка таблицы отражает взаимосвязи физиологических параметров с первой функциональной системой. Основные влияния эта система испытывает от ритмичности различных областей КГМ в области альфа ритмов, а так же возраста и характеристик тахикардии на интеллектуальную нагрузку (с отрицательным весом). Можно сказать, что остальные параметры отражают

снижение спектральной плотности как медленных, так и быстрых ритмов КГМ, уменьшение сосудистых реакций, некоторое повышение ЧСС и КГР на эмоциогенную нагрузку. Эту функциональную систему можно назвать **гомеостатическая регуляция сердечной ритмики созревающими мозговыми механизмами (созревание КГМ без централизации регуляции сердечной ритмики)**.

Таблица 3

Структура взаимосвязей между промежуточным слоем нейронной сети и выходным слоем, отражающим параметры эмоциональной компетентности

Нейроны	Узнавание эмоций по рисунку	Выражение эмоций мимикой	Узнавание эмоций по голосу	Выражение эмоций голосом	Выражение эмоций рисунком	Эмоциональная компетентность
Гомеостатическая регуляция сердечной ритмики созревающими мозговыми механизмами	0,86	0,05	0,04	0,23	1,59	0,57
Отражает гомеостатическую регуляцию сосудистых реакций с созревающими мозговыми механизмами	-0,25	-0,39	0,68	1,00	0,51	0,14
Снижение доминирования КГМ у старших девочек	0,69	1,38	0,84	1,65	1,08	0,73
Преобладание тормозящих подкорковых влияний на формирование эмоциональной регуляции у мальчиков	-0,64	-0,28	-0,85	-1,27	-0,85	-0,26
Общее снижение активации НС у некоторых детей	0,88	1,30	1,05	0,28	-1,00	1,00
Снижение ориентировочной реакции при снижении ритмичности КГМ	1,25	0,65	0,88	0,10	0,27	1,00
Снижение ФС мозга в медиальных отделах и повышения вегетативных	-1,64	-1,52	-0,73	-0,48	-1,49	-1,61
Десинхронизация медиальных медленных ритмов и повышение вегетативных у мальчиков	-1,15	-1,19	-1,92	-1,51	-0,12	-1,57

2 НЕЙРОН. Отражает функциональную систему, активность которой связана с несколькими показателями центральной и вегетативной регуляции. Как и предыдущая функциональная система, данная система тесно связана с созреванием КГМ, отражающимся, в увеличении спектральной плотности в области альфа ритмов при увеличении возраста. Однако большую роль в этой системе играет снижение реактивности НС, отраженное в понижении спектральной плотности в области бета ритмов и уменьшении реакции артериального давления. Следовательно, **данный нейрон отражает гомеостатическую регуляцию сосудистых реакций с созревающими мозговыми механизмами (созревание КГМ без централизации сосудистых реакций).**

3 НЕЙРОН. Отражает активацию функциональной системы у девочек старшего возраста, в отличие от мальчиков у которых данная система в этом возрастном диапазоне не формируется.

Данная система характеризуется низким созреванием КГМ (снижение спектральной плотности альфа-ритмов), возможно связанным с сильным влиянием подкорковых структур, которое отражается в незначительном увеличении спектральной плотности в области дельта- и тета-ритмов как в латеральных и передних, так и в центральных и задних отделах. Следовательно, данную систему можно назвать **снижение доминирования КГМ у старших девочек.**

4 НЕЙРОН. Отражает функциональную систему, формирующуюся у мальчиков. Эта функциональная система связана в большей степени с из-

менениями спектральных плотностей в области высокочастотных (бета- и гамма-ритмов) и низкочастотных (дельта- и тета-ритмов). При этом увеличение активации данного нейрона связано с увеличением медленно-волновой ритмики и снижением высокочастотной. Таким образом, эту систему можно назвать **преобладание тормозящих подкорковых влияний на формирование эмоциональной регуляции у мальчиков.**

5 НЕЙРОН. Отражает формирование функциональной системы, связанной с преобладанием медленноволновой ритмики в медиальных, лобных и затылочных отделах мозга, снижением высокочастотной ритмики в лобных отделах, а также снижением сосудистых реакций на вербальные интеллектуальные задачи. Влияние этих отличий на эмоциональную компетентность происходит при увеличении возраста. Такие изменения могут отражать **общее снижение активации НС** у некоторых детей старшего дошкольного возраста.

6 НЕЙРОН. Отрицательно связан с 2 факторами, включающими КГР, также данная функциональная система тесно связана со снижением спектральной плотности в области бета 2 и гамма-ритмов, а также в диапазонах дельта-, тета- и в меньшей степени альфа-ритмов в латеральных и передних отделах КГМ. Учитывая большое влияние этой функциональной системы на КГР и зависимость от функционального состояния мозга, данную систему можно назвать **снижение ориентировочной реакции при снижении ритмичности КГМ у детей старшего дошкольного возраста.**

7 НЕЙРОН. Тесно связан с факторами отражающими медленноволновую ритмику и отрицательно связан с факторами, отражающими высокочастотную ритмику. Также он имеет положительную взаимосвязь с фактором сосудистых реакций на вербальные задачи. Следовательно, увеличение активации этого нейрона отражает снижение функционального состояния мозга при увеличении сосудистых реакций. Деактивация этого нейрона будет отражать противоположные явления.

8 НЕЙРОН. Связан со снижением спектральных мощностей в области медленно-волновой ритмики и высокочастотной ритмики в сагиттальных, лобных и затылочных отделах. Кроме этого активация данного нейрона связана со снижением сосудистых реакций на эмоциогенные нагрузки, при уменьшении таковых на вербальные интеллектуальные задачи и со снижением КГР на эмоциогенную нагрузку.

Описание нейронов промежуточного слоя с точки зрения взаимосвязи с характеристиками эмоциональной компетентности

1 НЕЙРОН. Эта функциональная система положительно влияет практически на все показатели эмоциональной компетентности с особым акцентом на выражении эмоций рисунком. При выражении через рисунок обычно используется слабо ассоциированная позиция, что позволяет решать поставленную задачу с большим сохранением гомеостаза.

2 НЕЙРОН. Данный нейрон связан максимальными связями с выражением, голосом и узнаванием по голосу, имеет небольшую связь с выражением эмоций рисунком. Следовательно, данная функциональная система отражает симпатическую регуляцию сосудистых реакций параллельно с созреванием КГМ, и снижение реактивности НС влияет в большей степени на ЭК, связанную с вербальной коммуникацией. Возможно, снижение реактивности НС и парасимпатическая регуляция НС позволяют более спокойно вести себя в процессе речевой коммуникации, т.е. в более ассоциированной позиции в ситуациях непосредственно вызывающих эмоции.

3 НЕЙРОН. Сильно связан с успешностью эмоционального выражения голосом, мимикой и рисунком. Следовательно, данная ФС (функциональная система), отражающая снижение влияния КМ с некоторым преобладанием подкорки увеличивающееся с возрастом у некоторой группы девочек эта ФС может отражать преобладание подкорковых влияний в регуляции поведения, что будет способствовать лучшему выражению своего эмоционального состояния за счет лучшей репрезентации своих потребностей при увеличении влияния подкорковых структур на поведение.

4 НЕЙРОН. Данная ФС формируется в большей степени у мальчиков за счет отрицательной взаимосвязи с возрастом. Если инвертировать веса данного нейрона, то можем более адекватно пред-

ставить себе эмоциональную компетентность, обеспечивающую успешное выражение голосом, выражение рисунком и узнавание по голосу. Инверсия весов, соединяющих данный нейрон с предыдущим слоем, показывает, что данная ФС реализуется в большей степени у девочек с незначительным влиянием возраста, и связана с процессами активации КГМ отраженных в повышении высокочастотных ритмов и снижении низкочастотных. А также с одновременным повышением реактивности НС, но при преобладании парасимпатической регуляции сердечной ритмики.

5 НЕЙРОН. Сильно связан с выражением эмоций мимикой, а также с узнаванием эмоций по голосу. Наблюдается обратная корреляция с выражением эмоций рисунком. Таким образом, дети с преобладанием данной ФС более компетентны в ассоциированной позиции и при этом с акцентом на невербальные формы выражения эмоций. За этими способностями стоит ФС, которая отражает снижение возбуждения в лобных отделах КГМ, снижение высокочастотных и повышение низкочастотных ритмов, а также парасимпатические сосудистые реакции на интеллектуальную нагрузку. Очевидно, что такая ФС отражает доминирование подкорковых структур при повышении эмоциональной компетентности с возрастом.

6 НЕЙРОН. Данная ФС по своим характеристикам отражает снижение реакции на внешние стимулы при увеличении процесса переработки информации в НС, что может соответствовать углубленности в себя и интравертным признакам, что соответствует признакам ЭК, проявляющимся в узнавании эмоций и не выражении их.

7 НЕЙРОН. Связан с показателями ЭК отрицательно, следовательно, чтобы выявить ФС, отражающую ЭК, необходимо инвертировать веса данного нейрона как в последнем слое, так и в первом. Таким образом, оказывается, что все веса связаны с данным нейроном положительно и имеют выраженные связи. Этот показатель ЭК будет реализовывать ФС, отраженная повышением ФС мозга при снижении сосудистых реакций на интеллектуальные задачи, т.е. парасимпатическая регуляция сосудистых реакций при интеллектуальных нагрузках. Данная ФС, видимо, отражает оптимальное состояние ребенка для осуществления ЭК (эмоциональной компетентности).

8 НЕЙРОН. Чтобы выявить ФС, отражающую ЭК, так же инвертируем веса данного нейрона и в первом и в последнем слое. В результате мы получаем, что данный нейрон связан со всеми характеристиками ЭК с большим акцентом на речевую коммуникацию. ФС, отражающая данный нейрон, характерна в большей степени для девочек и отражает повышение амплитуды как высокочастотных, так и низкочастотных ритмов при парасимпатической регуляции сердечно-сосудистых реакций как на интеллектуальные, так и на эмоциогенные нагрузки.

Выводы. Результатом построения предложенной модели было описание 8 функциональных систем, тем или иным способом реализующих эмоциональную компетентность детей. Основными факторами, определяющими развитие эмоциональной компетентности детей, являются возраст и пол ребенка, которые могут отражаться как на процессе созревания коры головного мозга, так и в оптимизации вегетативных реакций на интеллектуальные и эмоциогенные нагрузки в сторону парасимпатической регуляции. При этом существуют различные способы реализации эмоциональной компетентности, которые можно разделить на два больших класса: 1) эмоциональная компетентность с повышением реактивности нервной системы, требующая высокой активации коры головного мозга с преобладанием в большей степени когнитивных функций в реализации эмоциональной компетентности; 2) преобладание подкорковых влияний на организацию эмоционального поведения ребенка, отражающимся в лучшем выражении эмоций, особенно в непосредственной вербальной и невербальной коммуникации.

Особым механизмом реализации эмоциональной компетентности является преобладание процессов переработки информации в коре головного мозга и снижение реактивности нервной системы на внешние стимулы, возможно коррелирующим с таким психологическим способом адаптации, как интроверсия.

Обращает внимание, что большинство описанных функциональных систем реализуют эмоциональную компетентность у мальчиков и девочек различными способами.

Данный метод диагностики, при детальной его проверке, позволит формализовать диагностику эмоциональной компетентности, учитывая физиологические характеристики ребенка, что в свою очередь позволит определять зону ближайшего развития, учитывая физиологические механизмы, стоящие за этими явлениями.

Литература

1. Вишневетская, Е.В. Психофизиологические корреляты эмоциональной компетентности детей дошкольного возраста / Е.В. Вишневетская, И.А. Горбунов // *Материалы 4 съезда РПО.* - Ростов на Дону, 2007.
2. Вишневетская, Е.В. Физиологические механизмы эмоциональной компетентности детей дошкольного возраста / Е.В. Вишневетская, И.А. Горбунов // *20 съезд физиологического общества им. Ил. Павлова.* - М., 2007.-С. 179.
3. Горбунов, И.А. *Диагностические возможности психофизиологических характеристик человека: автореф. дис. ... канд. психол. наук / И.А. Горбунов.* - СПб., 2005.
4. *Статистические модели нейронных сетей / В.С. Доценко, Л.Б. Иоффе, М.В. Фейгельман, М.В. Цодыкс // Итоги науки и техники. Серия «Физические и математические модели нейронных сетей». Т. 1, ч. 1: Спиновые стекла и нейронные сети / ред. А.А. Веденов.* - М: ВИНТИ, 1990. - С. 4-43.
5. Лафренье, П. *Эмоциональное развитие детей и подростков / П. Лафренье.* - СПб.: Прайм-Еврознак, 2004.
6. Осовский, С. *Нейронные сети для обработки информации / С. Осовский.* — М: Финансы и статистика, 2002.
7. Cicchetti, D., & Ganiban, J. *The organization and coherence of developmental processes in infants and children with Down syndrome. In K.M. Hodapp, J. Burack & E. Zigler (Eds.), Issues in the developmental approach to mental retardation. New York: Cambridge University Press, 1990.* - P. 169-225.
8. Scherer, K.R. *Vocal correlates of emotional arousal and affective disturbance. In H. Wagner & A. Manstead (Eds.), Handbook of social psychophysiology. New York: Wiley, 1989.* - P. 165-197.

Поступила в редакцию 10 декабря 2008 г.