

**Kukharova Tatyana Valerevna** – Saint-Petersburg State Electrotechnical University «LETI»; e-mail: unit-4@yandex.ru; 70 Michurin street, Essentukskaya, Predgorny district, Stavropol reg., 357350, Russia; phone: +79614790988; postgraduate student.

УДК 612.821

**Е.П. Муртазина, Б.В. Журавлев**

**АНАЛИЗ НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЦЕССОВ  
РАССОГЛАСОВАНИЯ В АКЦЕПТОРЕ РЕЗУЛЬТАТА ДЕЙСТВИЯ  
НА МОДЕЛЯХ ОБУЧЕНИЯ ЖИВОТНЫХ И ЧЕЛОВЕКА**

*Проведён анализ активности нейронов мозга животных, психофизиологических показателей человека в процессе рассогласования целенаправленной деятельности. Выявлены нейрофизиологические, вегетативные механизмы рассогласования в акцепторе результата действий при совершении ошибок, других видах недостижения результата. Предложены методы, алгоритмы анализа индивидуально-типологической выраженности процессов рассогласования, влияния на последующую деятельность, которые могут позволить разработать новые способы объективной психофизиологической оценки и прогнозирования успешности деятельности человека.*

*Рассогласование; результативность; нейрофизиологические механизмы.*

**H.P. Murtazina, B.V. Zhuravlev**

**THE ANALYSIS OF NEUROPHYSIOLOGICAL INDICES PROCESSES  
MISMATCH IN ACCEPTOR RESULT OF ACTION ON THE MODELS  
OF LEARNING ANIMAL AND HUMAN**

*The analysis of brain neuronal activity of animals, the human's psychophysiological indices in the process of disagreeing the goal-directed behavior is carried out. The neurophysiological mechanisms of disagreement in the acceptor of results after errors, other forms of the nonattainment of result are revealed. Are proposed the methods, algorithms for analysis individual- typological manifestation of disagreement processes, influence on the subsequent work, which can make it possible to develop the new methods of psychophysiological evaluation and predicting the success of human activities.*

*Disagreement; results; neurophysiological mechanisms.*

Теория функциональных систем П.К.Анохина рассматривает поведенческий акт как определенный набор узловых механизмов включающих в себя афферентный синтез с блоками доминирующей мотивации, памяти, пусковых и обстановочных афферентаций, стадию принятия решения, формирования акцептора результатов действия и программы действия, достижения результата и обратную афферентацию о параметрах результата [1]. Аппарат акцептора результатов действия (АРД) формируется для оценки параметров полезного результата организмом. Считается, что в основе его функционирования лежат нейрофизиологические механизмы взаимодействия клеточных элементов в центральной нервной системе и периферических рецепторных образований. Достижение результата вызывает процесс «согласования» в АРД и возникновение положительного эмоционального состояния. Однако при недостижении необходимого результата, удовлетворяющего доминирующую мотивацию организма или субъекта, возникает процесс «рассогласования», что формирует отрицательное эмоциональное состояние и как следствие поиск новых афферентаций через ориентировочно-исследовательскую (ОИР) поисковую форму поведения для создания нового эфферентного синтеза или программы достижения результата. Однако при длительном недостижении

результатов целенаправленной деятельности могут возникать различные следствия процессов рассогласования: смена исходной мотивации, замещающие реакции, стрессорные состояния.

Впервые процесс рассогласования был обнаружен в лаборатории П.К. Анохина ученым Стрежом, который подменил мясосухарный порошок, используемый в качестве подкрепления условно-рефлекторной деятельности собак, на кусок натурального мяса. Этот процесс характеризовался вначале появлением ОИР, а затем, естественно, поеданием мяса [1].

А.И.Шумилина с соавторами в опытах на кроликах выявила феномен реверберации медленных колебаний в ЭЭГ различных структур мозга при рассогласовании ожидаемого электрокожного подкрепления и его отсутствия [4].

В последующем, нами были проведены исследования нейрофизиологических механизмов процессов рассогласования на уровне центральных нейронов головного мозга при пищедобывательном, питьевом и оборонительном поведении животных. Проанализирована активность более 1500 нейронов в 14 структурах головного мозга в условиях свободного поведения (пищевое и питьевое) и при мягкой иммобилизации животных за лапы к станку (оборонительное). Исследовали сенсомоторную, зрительную и инсулярную области коры, ретикулярную формацию, латеральные и вентромедиальные отделы гипоталамуса, таламус, хвостатое ядро и др. Активность нейронов регистрировалась внеклеточно стеклянными микроэлектродами на магнитный регистратор с которого запись переводилась на компьютер для обработки данных. Использовали стандартные статистические методы обработки, а также особое внимание уделяли гистограммам распределения межспайковых интервалов разрядной деятельности нейронов.

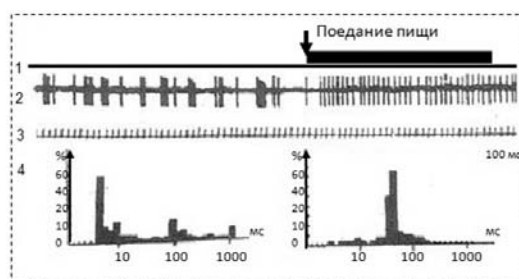
В результате было обнаружено, что при положительных подкрепляющих воздействиях (пища, вода) у мотивированного животного наблюдается значительная перестройка интервального паттерна спаковой активности нейронов, которая находила отражение на интервальных гистограммах в виде смены бимодального распределения на одномодальное (рис. 1,а).

Такой переход интервального паттерна отражал процесс согласования в аппарате АРД, который формирует положительное эмоциональное состояние у животных. Однако, в двух контрольных сериях экспериментов, где проводили отмену подкрепления или замену пищи на несъедобный (поролон) предмет, наблюдалось в первом случае усиление мотивации, что проявлялось в резко выраженной пачечной активности (бимодальное распределение на гистограмме) и активное поведение у кормушки. Во втором случае, процесс рассогласования проявлялся в виде активного оборонительного поведения (длительное стучание задними лапами), а на интервальной гистограмме доминировали моды в области 45 мс и 150 мс, что характерно для отрицательного эмоционального состояния животных (рис. 1,б).

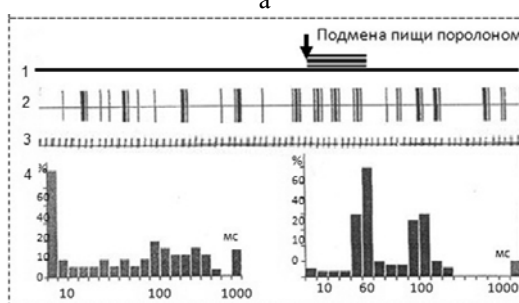
Таким образом, можно говорить о том, что процесс рассогласования в АРД характеризуется ОИР поведением, выраженной пачечной активностью нейронов различных отделов головного мозга и отрицательным эмоциональным состоянием при недостижении полезного приспособительного результата.

В исследованиях, проведенных на испытуемых добровольцах, которые обучались выполнению корректурной пробы (кольца Ландольта), нами были предложены объективные критерии оценки процессов рассогласования, возникающих у людей при совершении ошибочных действий [3]. Испытуемые выполняли в течение 5 дней корректурный зрительно моторный тест по 10 серий ежедневно. Каждая проба длилась 1 минуту, в течение которой человек должен был максимальное количество раз, с минимальным количеством ошибок распознать место разрыва в кольце (из 8 вариантов) и нажать соответствующую клавишу. В перерывах (1 минута) между этими 10 сериями испытуемому сообщались результаты деятельно-

сти: количество общих нажатий и число совершенных ошибок. Для оценки индивидуально-типологических особенностей процессов согласования или рассогласования в АД нами был предложен расчет и сопоставление относительных изменений значений результативности и ошибочности между последовательными сериями циклов в процессе всего обучения. Определялись показатели влияния изменения количества ошибок на последующую результативность: доля (Д) и степень (Р) влияния ошибочности, а также степень мотивированности субъектов к достижению количественных или качественных показателей деятельности (ПК – показатель качества) [3]. В результате анализа полученных данных, были выявлены 3 группы испытуемых: 1) отсутствие прироста суммарной результативности во всех ошибочных циклах при равном количестве их количестве с успешными циклами (50 % испытуемых); 2) увеличение результативности в ошибочных циклах (25 % испытуемых) и 3) снижение результативности с высоким количеством ошибочных циклов (25 % испытуемых). Показатель качества, отражающий стремление испытуемых к уменьшению числа ошибочных действий за счет снижения количественных параметров, был сопоставлен нами с общей ошибочностью деятельности. У большинства испытуемых обнаруживается линейный характер зависимости между этими характеристиками: после увеличения ошибок и адекватной самооценки этого испытуемого в последующих циклах растёт стремление к качественной деятельности и возникает коррекция, т.е. снижение суммарного количества нажатий. Более значительное влияние ошибок на последующую деятельность при их одинаковом уровне, т.е. выраженное рассогласование, в большей степени было характерно для женщин.



а



б

Рис. 1. Примеры динамики разрядной деятельности нейронов головного мозга животных в процессе положительного подкрепления (а) и в процессе рассогласования, вызванного подменой пищи несъедобным объектом (б).

1 – поведенческие отметки, 2 – импульсная активность нейронов, 3 – отметка времени, 4 – гistogramмы распределения межимпульсных интервалов

Этот же принцип анализа относительных показателей результативности и ошибочности деятельности нами был применён для оценки индивидуально-типологических особенностей процессов рассогласования при выполнении сложного зрительно-моторного теста «Стрелок». В обследовании приняли участие 120 добровольцев (11 юношей и 5 девушек в возрасте 18–24 лет). В тесте испытуемый должен попадать по движущейся на экране компьютера мишени, с помощью луча, управляемого компьютерной «мышью». Чем ближе к месту вылета мишени производился «выстрел», тем выше начислялся балл за попадания (10–20) или за промахи (0,1–9,9). В ходе тестирования на экране монитора демонстрировался результат («Попадание!», «Промаш!», «Пропуск!») и балл за каждую попытку, а также суммарные баллы в сериях попыток. Испытуемые после чтения инструкции выполняли 5 серий по 10 попыток в каждой. В процессе всего тестирования, особенно в паузах между сериями (длительностью 15 секунд), испытуемые отслеживали динамику собственной результативности и ошибочности.

Для каждой серии попыток «стрельбы» рассчитывались коэффициент рассогласования и обратное к нему значение показателя устойчивости к рассогласованию и анализировалась их динамика в процессе обучения и автоматизации навыка. Алгоритмы их вычислений впервые предложены нами и запатентованы как компонент системы оценки индивидуально-типологических особенностей целенаправленной деятельности личности [5]. При вычислениях коэффициента рассогласования (КР) определяются: суммарное количество ошибок в серии попыток – КО (промахов и пропусков); количество ошибок, после которых вновь совершена ошибка О-; количество ошибок О+, после которых осуществлено попадание по мишени, т.е. успешная попытка. Алгоритм расчета КР для каждой серии заключается в вычислении нормированного по количеству ошибок КО соотношения О- к О+, т.е. попыток с неисправленными и исправленными ошибками. Коэффициент рассогласования КР тем выше, чем больше общее количество и доля неисправленных ошибок. Обратной величиной КР является коэффициент устойчивости к рассогласованию. На рис. 2 приведён пример индивидуальной динамики коэффициента рассогласования и соотношения ошибочных и результативных актов после предыдущих ошибочных действий.

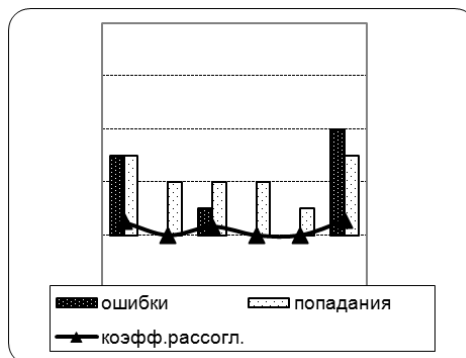


Рис. 2. Пример динамики соотношения показателей результативности в попытках после совершения ошибок и коэффициента рассогласования. Ось абсцисс – серии выполнения зрительно-моторного теста «Стрелок», левая ось ординат – количество ошибок, правая ось ординат – значения коэффициента рассогласования

В результате апробации, предложенного нами способа оценки процессов рассогласования, было выявлено три группы испытуемых, которые:

- ◆ обладают способностью к успешной мобилизации с последующей адекватной коррекцией деятельности;
- ◆ проявляют выраженное рассогласование, которое проявляется в последующих увеличениях ошибок, т.е. ведёт к дезорганизации деятельности;
- ◆ способны к парадоксальному улучшению показателей результативности действий именно после ошибок.

Как и в предыдущей серии обследований на базе корректурной пробы, при выполнении теста «Стрелок» проявляется гендерное различие – более высокие показатели рассогласования у женщин после совершенных ошибок.

Нами ранее были выявлены достоверные индивидуальные различия в динамике частоты сердечных сокращений как перед, так и после выполнения действия, в зависимости от его результата [2]. В спектральных характеристиках кардиоритма успешные серии выполнения сенсомоторного теста сопровождались выраженной периодичностью дыхательных волн variability сердечных сокращений, синхронизированных с ритмом деятельности. При увеличении ошибочности в серии попыток доминировала variability кардиоритма в медленном (Low Frequency) диапазоне частот, взаимосвязанная с усилением вегетативной регуляции деятельности сердца и отражающая отрицательное эмоциональное состояние.

Предложенный нами подход к анализу процессов рассогласования после ошибок или согласования при успешной деятельности в акцепторе результатов действия базируется на нейрофизиологических механизмах оценки мозгом результатов деятельности. В работе Karanasiou I [6]. с соавторами было выявлено, что характеристики фронтально-центрального компонента N200 вызванных потенциалов мозга, называемого «индексом переориентации внимания» коррелировал с сигналом о совершенной ошибке, вызывающим необходимость сравнения реального и требуемого ответа. Кроме того, этими авторами выявлено, что размах амплитуды компонента N200 вызванных потенциалов взаимосвязан с соотношениями предъявленного и предыдущего стимулов, особенно в лобных областях коры головного мозга. Многими авторами выявлены различия и взаимосвязь характеристик вызванных потенциалов мозга на само ошибочное действие и на предъявление обратной связи о нём. Показано, что ведущую роль в процессах контекстной оценки и сопоставления результатов деятельности играет передняя цингулярная кора и дофаминэргические системы мозга [7].

Таким образом, системный подход и предложенные нами на его основе алгоритмы анализа процессов рассогласования в акцепторе результатов действий при целенаправленной деятельности человека-оператора могут способствовать разработке новых инновационных психофизиологических методов оценки и прогнозирования успешности профессиональной деятельности, а также расширят возможности изучения нейрофизиологических и сомато-вегетативных механизмов регуляции процессов обучения и памяти.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анохин П.К. Биология и нейрофизиология условного рефлекса. – Медицина, 1968. – 547 с.
2. Гуляева С.И. Муртазина Е.П., Журавлев Б.В. Особенности двигательной активности и сердечной деятельности человека при выполнении теста «Стрелок» // ЖВНД. – 2002. – Т. 52, № 1. – С. 17-24.
3. Журавлев Б.В., Мещерякова (Муртазина) Е.П. Параметризация результатов в системе «человек-машина». В кн.: Научно-техническая революция «Человек-Машина». Сборник научных трудов / Под ред. К.В. Судакова. – М.: Изд-во 1-го Московского медицинского института им. И.М. Сеченова. 1989. – С. 127-132.

4. Журавлев Б.В., Шумилина А.И., Лосева Т.Н., Рычкова Г.Н. Поведенческие, вегетативные и электрофизиологические корреляты аппарата акцептора результат действия // Вестник АМН СССР. – 1985. – Т. 2. – С. 46-53.
5. Журавлев Б.В., Муртазина Е.П., Ломакина Т.Е. Патент на изобретение №2006103141/14 (003428), «Способ комплексной психофизиологической оценки индивидуально-типологических особенностей целенаправленной деятельности личности». Утвержден патент от 03.02.2006 г.
6. Karanasiou .I, Papageorgiou C., Tsianaka E. et al. Mismatch task conditions and error related ERPs// Behavioral and Brain Functions 2010, 6:14.
7. Baker TE, Holroyd CB. Dissociated roles of the anterior cingulate cortex in reward and conflict processing as revealed by the feedback error-related negativity and N200 // Biol Psychol. – 2011. – Apr; 87(1). – С. 25-34.

Статью рекомендовал к опубликованию д.м.н., профессор О.С. Глазачев.

**Муртазина Елена Павловна** – Федеральное государственное бюджетное учреждение «НИИ нормальной физиологии им. П.К. Анохина» РАМН; e-mail: murtazina@yandex.ru; 125315, г. Москва, ул. Балтийская, 8, к. 228; тел.: 84992310048; лаборатория общей физиологии функциональных систем; к.м.н.; доцент.

**Журавлев Борис Васильевич** – e-mail: zhuravlev-bv@yandex.ru; 125315, г. Москва, ул. Балтийская, 8, к. 224; тел.: 84992310048; лаборатория общей физиологии функциональных систем, д.м.н.; профессор.

**Murtazina Helen Pavlovna** – P.K. Anochin Institute of Normal Physiologie Russian Academy of Medical Science; e-mail: murtazina@yandex.ru; r. 228, 8, Baltiisky street, Moscou, 125315, Russia; phone: +74992310048; laboratory of common physiologie of functional systems, assistant professor; cand. of med. sc.; associate professor.

**Zhuravlev Boris Vasilevich** – e-mail: zhuravlev-bv@yandex.ru; r. 224, 8, Baltiisky street, Moscou, 125315, Russia; phone: 84992310048; laboratory of common physiologie of functional systems; doctor. med. sc.; professor.

УДК 004.934.2

**Н.Н. Филатова, К.В. Сидоров**

### **МОДЕЛЬ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ЗНАКА ЭМОЦИЙ ПО ЕСТЕСТВЕННОЙ РЕЧИ**

*Предложена модель интерпретации знака эмоционального состояния человека на основе анализа образцов его речи. Показана возможность применения характеристик нелинейной динамики для оценки информативных показателей эмоционального состояния человека. Предложен новый количественный признак  $\bar{R}_{\max}$  – усредненный максимальный вектор реконструкции аттрактора по четырем квадрантам. Показано, что нейтральное состояние характеризуется средними его оценками по сравнению с эмоцией гнева и счастья; закономерность сохраняется независимо от длительности образца. Предложена модель интерпретации знака эмоции по правилу объединения нечетких множеств, характеризующих значения  $\bar{R}_{\max}$  для соответствующих эмоциональных состояний.*

*Эмоция; эмоциональное состояние; речь; речевой сигнал; нелинейная динамика; нечеткое множество.*