

НЕЙРОКИБЕРНЕТИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ПОВЕДЕНИЯ

К.Н. Дудкин, И.В. Чуева

Институт физиологии им. И.П. Павлова РАН, Санкт-Петербург, Россия,
cognition@pavlov.infran.ru

Введение

Формирование кибернетики в середине XX века, во многом, было подготовлено предшествующими достижениями в мировой физиологии и психологии. И.М. Сеченов, И.П. Павлов и их последователи, создав русскую физиологическую школу, впервые выявили ряд основных принципов организации поведения. Поставив задачу изучения организации поведения *«всего нераздельно животного организма»* (по Павлову), включающего психическую и физиологическую деятельность, они не только определили основной вектор развития физиологии, но и стали предтечами кибернетики.

Сеченов впервые в 1863 году ввёл в физиологию принцип зависимости восприятия (сенсорных процессов) от прошлого опыта (памяти) и рассмотрел чувствование, как *сигнал*, заложив идею *саморегуляции* в рефлекторную схему [1, 2]. Павлов не только открыл и изучил механизмы *условного рефлекса*, но и в 1916 году высказал идею о механизмах, предшествующих сенсорному анализу (*рефлекс цели*) и представляющих собой *«стремление к обладанию определённым раздражающим предметом»*, введя в физиологию понятие *«стремление к цели»* [3-5]. Идеи Павлова развили его последователи П.К. Анохин, предложивший понятия «функциональная система» и прогнозирующий механизм - акцептор действия [6], и Н.А. Бернштейн, разработавший концепцию о «физиологии активности» с механизмами «программирования потребного будущего» [7]. Позднее идея о целеустремлённых системах стала одной из центральных в кибернетике [8, 9].

В докладе предпринята попытка прочтения трудов Сеченова [1, 2] и Павлова [3-5], посвященных физиологическим исследованиям *«всего нераздельно животного организма»*, включающего психическую и физиологическую деятельность, с позиций современной нейрокибернетики. Это даёт возможность осознать, что этими учеными не только был заложен фундамент исследований нейрофизиологических основ организации поведения, но и выдвинуты нейрокибернетические идеи.

Полагаем, что именно Сеченов и Павлов заложили основы науки о поведении и сформулировали задачи изучения нейрофизиологической организации механизмов, осуществляющих анализирующую и синтезирующую деятельность организма. Понимая, что ни психологическая, ни физиологическая понятийная база полностью не адекватна новым задачам, они вводили новые научные понятия. *Сигнал, анализатор, анализ сигналов, центральное торможение, саморегуляция, мышление, образы, признаки* (по Сеченову), *условный и ориентировочный рефлексы, анализ и синтез сигналов, подкрепление, мотивация, рефлекс цели, рефлекс свободы, мышление, первая и вторая сигнальные системы* (по Павлову) составили понятийную основу для изучения нейрофизиологических основ организации поведения.

Постановка задачи

На основании нашего многолетнего изучения механизмов организации поведения обезьян (макак резус) при обучении их инвариантному зрительному узнаванию [10-13], а также работ Сеченова [1, 2] и Павлова [3-5] предлагается новая функциональная модель целеустремленного условно-рефлекторного поведения, которая позволяет судить об организации структурных нейрофизиологических механизмов, включенных в его формирование. Данная работа является развитием исследований взаимодействия сенсорных, когнитивных и управляющих процессов при формировании поведения. Она основана на положении, что поведение реализуется, исходя из биологических и социальных потребностей, которые формируют цели, мотивации, установки, взаимодействующие с сенсорным восприятием и механизмами памяти. Объекты внешнего мира, обладая различными качествами и «значением», воздействуют на организм, обуславливая формирование разнообразных когнитивных структур, образующих «модель мира» в его памяти [10-13].

Нейрофизиологические принципы организации поведения, сформулированные в концепциях Сеченова и Павлова, во многом обуславливают современную методологическую базу когнитивной нейрофизиологии и нейрокибернетики. Исходя из этого, считаем необходимым - рассмотреть их в этом современном контексте, тем более, что во второй половине 20-го века во многие физиологические направления хлынули потоки новых идей, концепций, методов, понятий и новой терминологии. Большинство из них основывалось на информационном и системном (кибернетическом) подходах.

Принципы организации поведения по И.М. Сеченову.

Основу поведения по Сеченову составляет психическая деятельность, которая ранее была объектом изучения только психологии. Сеченов сделал теоретическую попытку [1] сформулировать физиологические принципы поведения - особой формы функционирования организма во внешней среде. Он рассмотрел физиологический феномен - «рефлекс» в качестве глобального принципа взаимодействия организма с внешней средой, трактуя его как процесс, состоящий из трех основных составляющих: чувствования, психической деятельности и движения. Четкие и рельефные формулировки Сеченова можно выразить графически (рис. 1). Психические процессы он считал звеном рефлекса между афферентными сенсорными входами и эфферентными моторными выходами, предусматривая их локализацию в головном мозгу организма. Сеченов предусматривал две основные функции чувствования: определение характеристик действия (реакций организма) и их регуляция, при этом он впервые рассмотрел чувствование, как сигнал, заложив идею саморегуляции в рефлекторную схему, которая осуществляется посредством обратной связи, реализуя кольцевое управление движением (рис. 1).

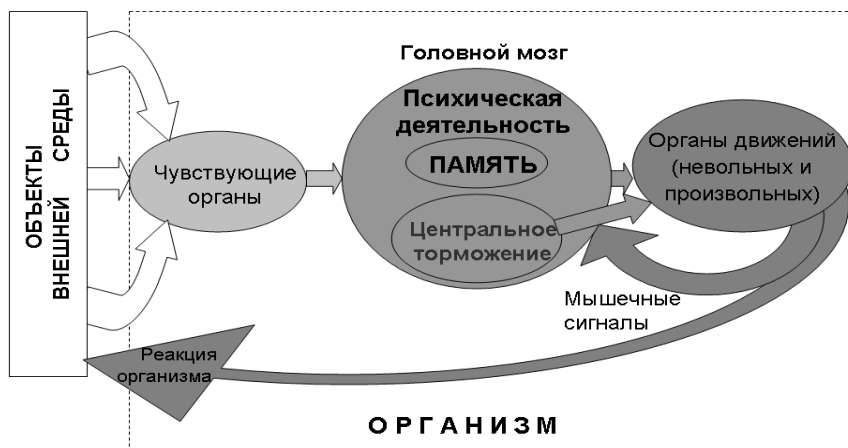


Рис. 1. Организация поведения по Сеченову (остальные пояснения в тексте)

Сеченов утверждал, что психическая деятельность невозможна без памяти. *«Видимое и слышимое нами всегда содержит в себе элементы, уже виденные и слышанные прежде. В силу этого во время всякого нового видения и слышания к продуктам последнего присоединяются воспроизводимые из склада памяти сходственные элементы, но не в отдельности, а в тех сочетаниях, в которых они зарегистрированы в складе памяти»* [2, с. 325]. Поэтому понимание воспринимаемой сенсорной информации базируется на сведениях, хранящихся в памяти, которая осуществляет связь между программами восприятия и исполнительными - моторными, являясь основой организации поведения. Поведение не заканчивается моторными реакциями, вызываемыми сокращениями мышц. Результаты их работы – мышечные сигналы - посредством обратной связи направляются в центры головного мозга (рис. 1). Дальнейшее управление поведением, где основную роль играют уже психические процессы, производится в соответствии с этими сигналами, отображающими пространственно-временную структуру всех изменений во внешней среде.

Ключом к пониманию многих аспектов психической деятельности стали представления Сеченова, основанные на открытии им центрального торможения (1862 г). Он истолковал «центральное торможение» как нервный механизм психических функций – воли и мышления, который локализован в структурах головного мозга. Человек в процессе взаимодействия с внешней средой влияет на нее посредством своих действий – волевых актов [2]. Сеченов впервые установил, что наряду с центрами, возбуждающими рефлекс, в головном мозгу есть центры, которые рефлекс тормозят. Совместная их деятельность обуславливает реакции организма на сигналы, поступающие в головной мозг, т.е. определяет организацию поведения организма. По Сеченову управление поведением определяют психические процессы, важнейшей составляющей которых являются процессы памяти (рис. 1). Благодаря памяти возникает восприятие и понимание объектов внешнего мира. *«Мыслить можно только знакомыми предметами и знакомыми свойствами или отношениями; значит, для мысли должно быть дано наперед умение различать предметы друг от друга, узнавать их и затем различать в предметах их свойства и взаимные отношения; а все это дается первично чувством»* [2, с. 273].

Узнавание по Сеченову [2, с. 478] обусловлено способностью организмов - *выделять и запоминать наиболее характерные признаки, а процесс узнавания осуществляется посредством сопоставления по тождеству результатов текущего сенсорного анализа с воспроизводимым содержанием долговременной памяти*. Эти чёткие формулировки могут быть выражены графически (рис. 2). Процессы узнавания включают в себя переработку информации об объектах внешнего мира и выделение признаков, в результате которых сенсорная информация преобразуется в ощущения – впечатления; репродукцию из памяти содержащихся в ней признаков и образов; сопоставление по тождеству полученных впечатлений и воспоминаний о них. При взаимодействии организма с внешней средой формируются когнитивные структуры (в современной трактовке): представления, понятия, образы, признаки, и эта информация хранится в долговременной памяти (рис. 2).

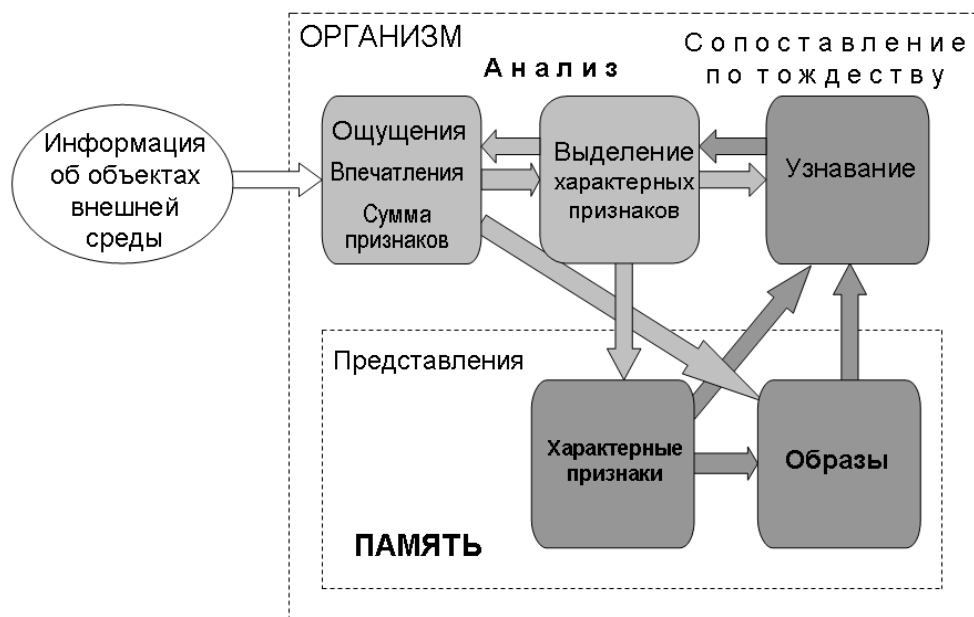


Рис. 2. Взаимодействие сенсорных и когнитивных процессов по Сеченову (пояснения в тексте)

Сформулировав положение, согласно которому признаки и образы – продукты физиологической структурно-функциональной организации, Сеченов указал направление, являющееся одним из основных в современных когнитивных исследованиях.

Организация поведения по И.П. Павлову.

Работы И.П. Павлова и его школы - новая эпоха в развитии науки о поведении – «высшей нервной деятельности». Павлов, также как и Сеченов, считал, что организм и внешняя среда – единая система, и во всех своих исследованиях руководствовался системным подходом. Он

изучал не только внутренние механизмы саморегуляции физиологических процессов, но и механизмы, обеспечивающие непрерывное взаимодействие и неразрывное единство организма и окружающей среды. На протяжении всей своей научной жизни Павлов интересовался взаимодействием нервной системы с деятельностью внутренних органов.

Эксперименты, связанные с изучением пищеварительной системы, в начале XX века привели его к открытию и дальнейшему всестороннему изучению условных рефлексов. Павлов и его коллеги обнаружили, что один только вид или запах пищи действуют как сигнал для образования слюны. Следовательно, *«Можно любое явление внешнего мира сделать временным сигналом раздражающего слюнные железы объекта, если раздражение слизистой оболочки этим объектом связать во времени один или несколько раз с действием этого явления на соответствующую воспринимающую поверхность тела»* [4].

И.П. Павлов впервые экспериментально доказал, что работа пищеварительной системы зависит от нервной системы и обусловлена нервными и психическими управляющими механизмами (рис.3). Эти исследования привели к открытию условных рефлексов. Именно за эти исследования И.П. Павлову в 1904 году была присуждена Нобелевская премия.

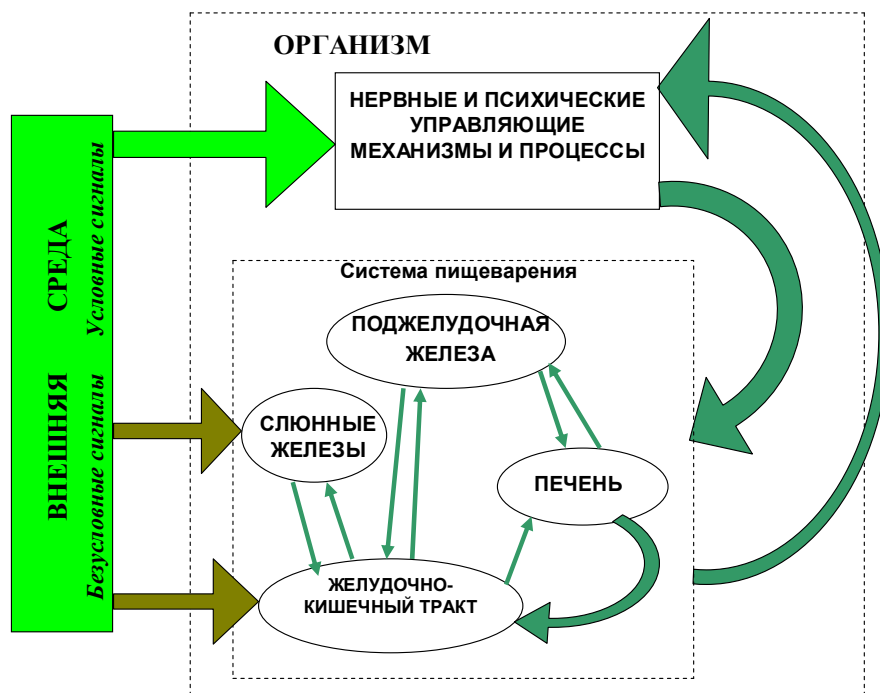


Рис. 3. Схема системы пищеварения по И.П. Павлову
(пояснения в тексте)

По Павлову, условный рефлекс - элементарное психическое явление, которое является и чисто физиологическим явлением. После 1902 г. Павлов полностью сконцентрировался на изучении высшей нервной деятельности, лежащей в основе поведения. В этих исследованиях он опирался на работы Сеченова, посвященные введению физиологических основ в психиче-

ские процессы, и неоднократно подчеркивал своё единомыслие с ним [3, с. 217]. В работах Павлова и его сотрудников был выработан и окончательно сформирован новый язык описания механизмов организации поведения – высшей нервной деятельности. *Условный рефлекс* он использовал, как методологический инструмент для выявления закономерностей поведения [4, с. 517 – 518]. Связь организма с внешней средой он сформулировал в виде одного из основных принципов теории рефлекторной деятельности [4, с. 452].

В формировании поведения животных и человека по Павлову много сходного, однако, человек имеет важное отличие - речь. Введенный им новый термин - «вторая сигнальная система» обозначает чрезвычайно сложный «дополнительный инструмент». Благодаря чему человек для формирования поведения может использовать смысл речевых или письменных сообщений. «Вторая сигнальная система» рассматривается Павловым как бесконечно более сложная, чем «первая сигнальная система» (первичные сигналы и символы, воспринимаемые животными). Очевидно, Павлов был хорошо знаком с взглядами Сеченова, который более 100 лет назад предложил концепцию о признаках и образах и утверждал, что они являются продуктами структурно-функциональной физиологической организации [2, с.355]. То, что Павлов не использовал понятия: «признаки» и «образы», хотя, в неявном виде они присутствуют в его концепциях, можно понимать, как максималистскую позицию в принципиальном отказе от применения любых психологических терминов. Сеченов сформулировал концепцию о *конкретном предметном мышлении* [2, с. 358] при сопоставлении по тождеству реального впечатления и воспоминания о нём при узнавании предмета. «...*Это есть наипростейшая форма мысли, свойственная даже животным, форма, с которой начинается умственная жизнь*» [2, с. 496]. По Сеченову при узнавании предметов необходимо различать их свойства и характеристики: “...*различение в предметах их свойств есть уже род мышления предметами и их свойствами...*” [2, с. 358]. Фактически в своих работах Сеченов впервые дал физиологическое объяснение взаимодействия восприятия и мышления.

По Павлову организм взаимодействует с внешней средой на основе анализа воспринимаемой информации и синтезирующей деятельности нервной системы: “... *надо различать элементарный анализ и также элементарный синтез от высшего анализа и синтеза. Если первые (специально анализ) свое первое основание имеют в свойствах и деятельности периферических концов анализаторов, то высший синтез и анализ осуществляется благодаря, главным образом, свойствам и деятельности центральных концов анализаторов*” [3, с.159]. Павлов разработал и реализовал программу изучения «анализаторов».

Их «*центральные концы*» локализованы в коре больших полушарий. Чёткость и рельефность формулировок Павлова позволяет передать их смысл в функциональной схеме (рис. 4). Объекты внешней среды, воздействуя на организм по двум основным каналам (условный и безусловный стимулы), вступают с ним во взаимодействие. Сенсорная информация (условный стимул) проходит несколько этапов переработки: элементарный анализ и элементарный синтез в периферических концах анализаторов; высший анализ и высший синтез в центральных концах анализаторов. При анализе и на периферии зрительной системы, и в коре больших полушарий отображения объектов раскладываются на части, единицы (формируются описания объектов); при синтезе части вновь соединяются в целое. Выработка условного рефлекса заключается в том, что механизмы мотивации безусловных рефлексов, активированные безусловными стимулами, и механизмы, которые реализуют рефлекс цели, активно участвуют в анализе сенсорной информации и синтезе результатов этого анализа, по-видимому, на

всех этапах (рис. 4). Они формируют и биологическое значение индифферентного ранее объекта (условного стимула), и стремление к реализации цели (посредством управляющих процессов, связанных с рефлексом цели).

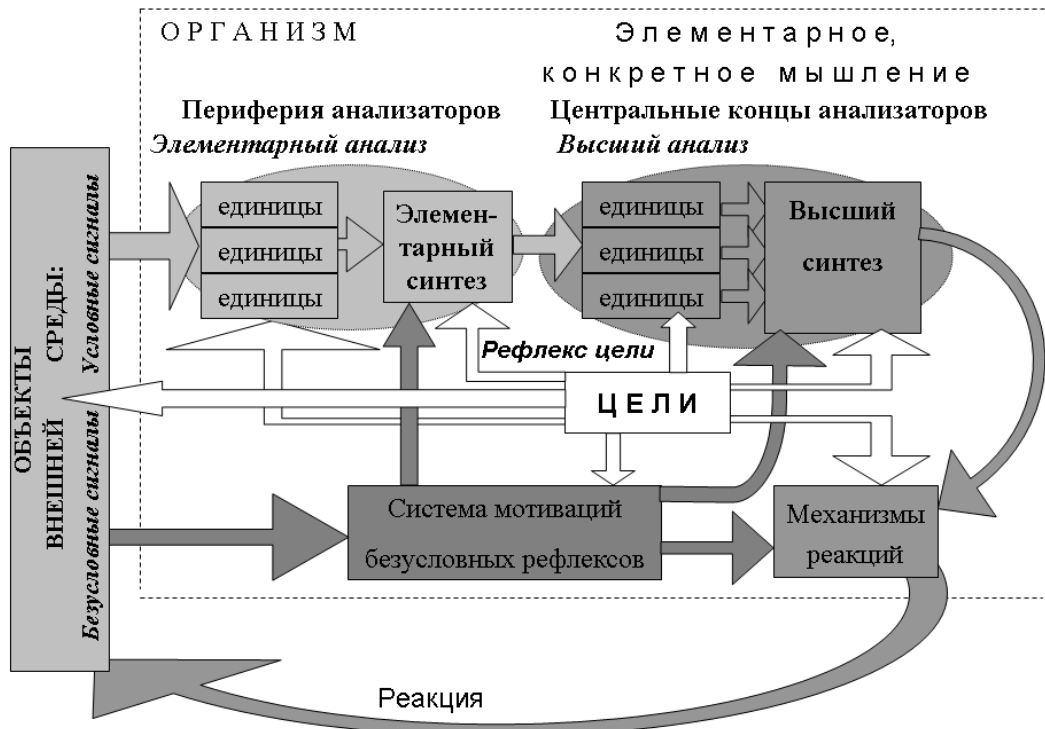


Рис. 4. Организация условно-рефлекторного поведения по Павлову (пояснения в тексте)

Информация об объектах внешнего мира по Павлову при «анализе» расчленяются на единицы, части, которые представляют собой нервные процессы (рис. 4). По Сеченову анализ предметов заключается в выделении их признаков и свойств. При «синтезе» по Павлову из составляющих, полученных при анализе, под управлением процессов мотивации и цели вновь формируется нечто целое (биологически значимый образ?). По Сеченову образ – представление, репродуцируемое из памяти для сравнения по тождеству реального впечатления с воспоминанием о нем (рис. 2). Все нервные процессы по Павлову - продукты функционального разнообразия структурной организации коры и его интересовали правила, по которым производится и анализ, и синтез в коре больших полушарий. В процессе познания Павлов, интерпретируя результаты исследований, включал в свои концепции новые понятия. «В окончательном результате большими полушариями собаки постоянно производится в разнообразнейших степенях как анализирование, так и синтезирование падающих на них раздражителей, что можно и должно назвать элементарным, конкретным мышлением. Это мышление таким образом обуславливает совершенное приспособление, более тонкое уравновешивание организмом окружающей среды» [4, с. 473]. Это положение соответствует современному понятию «обогащение внутренней модели мира» в процессах формирования по-

ведения, ибо именно конкретное мышление лежит в основе создания и дальнейшего развития модели мира.

Новая модель организации условно-рефлекторного поведения



Рис. 5. Модель организации условно-рефлекторного поведения

Схема объясняет взаимодействие сенсорных, когнитивных и управляющих (внимания, мотивации и цели) процессов при реализации этого поведения. На вставке – обезьяна (макака – резус) в приматологической установке при решении задачи зрительного узнавания. Остальные пояснения в тексте.

Как же положения И.М. Сеченова и И.П. Павлова соотносятся с современными парадигмами? В процессе зрительного узнавания обычно постулируется три зрительных уровня: низкий, связанный с процессами обработки и сегментации объектов; средний, заключающийся в символическом описании свойств, выделенных в процессе сегментации; высокий, на котором происходят понимание воспринятой информации, классификация и узнавание объектов. При организации поведения в процессе обучения различению зрительных объектов участвуют все эти три уровня. Обучение основывается на способности организмов выделять и запоминать, переводя в долговременную память, наиболее характерные разделительные признаки [2, 10-13].

В поведенческих экспериментах при различении преобразованных исходных стимулов (преобразование формы, размера, цвета, ориентации, пространственных отношений изображений) у обученных ранее обезьян выявлен перенос обучения, указывающий на инвариантное зрительное узнавание. Этот феномен означает, что при обучении выделяются разделительные признаки (характерные свойства стимулов), которые не изменяются после преобразования стимулов. Они запоминаются в долговременной памяти (ДП) обезьян, как биологически значимые когнитивные структуры, обеспечивающие инвариантное узнавание изображений (рис. 5). Закономерности их формирования определяются типом сенсорной информации и существованием в ДП отдельных подсистем для хранения и анализа пространственной и непространственной зрительной информации. Условная временная связь моторной реакции формируется не с условным стимулом, а с когнитивной структурой в ДП. Они же (эти структуры) исполняют роль установок (мотивов, цели) для выделения разделительных признаков в текущей входной информации. Решение при узнавании (рис. 5) реализуется обезьяной посредством условной моторной реакции (блок - механизмы моторной реакции) на основе вызова разделительных признаков из ДП в рабочую память (блок - узнавание). Здесь они сличаются с текущими результатами переработки сенсорной информации, посредством «сопоставления по тождеству». Управляющие процессы, обусловленные механизмами мотивации, внимания и цели (установки), определяют биологическую значимость когнитивных структур, которые становятся установками для принятия правильных решений при организации поведения (рис. 5). В системе внимания важную роль играет теменная кора, а в системе установок (цели) - префронтальная кора.

Заключение

Выявлено, что условно-рефлекторное поведение основано на взаимодействии сенсорных, когнитивных и управляющих (мотивации, цели и внимания) процессов. Условные временные связи в этом поведении устанавливаются между исполнительными реакциями и когнитивными структурами (разделительными признаками), формирующимися в коре головного мозга в процессе обучения инвариантному зрительному узнаванию. Эти же структуры выступают в роли установок (цели) для выделения разделительных признаков в текущем поведении. Фактически в процессе условно-рефлекторного поведения формируется целеустремлённая функциональная система, которая реализует требуемый результат действий.

Список литературы

1. Сеченов И.М. Рефлексы головного мозга // Медицинский вестник. № 47, № 48. 1863.
2. Сеченов И.М. Физиология и психология. Избр. произв. М.: Изд-во Акад. Наук. 1952. Т.1. 772 с.
3. Павлов И.П. Лекции о работе Больших Полушарий Головного Мозга. Л. ОГИЗ. 1937. 457 с.
4. Павлов И.П. Избр. произв. М. Изд. АН СССР. 1949. 639 с.
5. Павлов И.П. Полное собрание сочинений. Т.III. книга 1. М.- Л. 1951. 438 с.

6. Анохин П.К. Биология и нейрофизиология условного рефлекса. М.: Наука, 1968. 548 с.
7. Бернштейн Н.А. Новые линии развития в физиологии и их соотношение с кибернетикой // Философские вопросы физиологии высшей нервной деятельности и психологии. М.: Наука. 1963. С. 299–322.
8. Rosenblueth A., Wiener N., Bigelow H. Behavior, Purpose and Teleology // Philosophy of Science. N 11. 1943. P. 18 – 24.
9. Ackoff R.L., Emery F.E. On Purposeful Systems. A. Atherton. Chicago and New York. 1972.
10. Дудкин К.Н. Зрительное восприятие и память. Л. Наука. 1985. 209 с.
11. Дудкин К.Н. Принципы высшей нервной деятельности И.П. Павлова – надежный фундамент современной когнитивной нейрофизиологии // Рос. физиол. журн. им. И. М. Сеченова. 2001. Т. 87. № 6. С. 829 – 846.
12. Дудкин К.Н. И.П. Павлов и нейрофизиология познавательных процессов. СПб. Изд-во Ин-та физиологии им. И.П. Павлова РАН. 2007. 296 с.
13. Дудкин К.Н., Чуева И.В. Формирование когнитивных структур в условно-рефлекторном поведении обезьян: зависимость от типа сенсорной информации // Рос. физиол. журн. им. И.М. Сеченова. 2008. Т.94. №1. С. 81 – 94.