

K.V. Судаков

**В.М. БЕХТЕРЕВ: СОВРЕМЕННЫЕ НЕЙРОНАУКИ И СИСТЕМНАЯ
ОРГАНИЗАЦИЯ ФУНКЦИЙ ГОЛОВНОГО МОЗГА**

НИИ нормальной физиологии имени П.К. Анохина РАМН, г. Москва

Реферат. Изложен материал о В.М. Бехтереве — основоположнике современного интегративного направления всестороннего изучения нервной системы у человека фундаментальными и клиническими дисциплинами, получившего современное название «нейронауки». Преемственность научных идей В.М. Бехтерева отчетливо просматривается в теории функциональных систем, предложенной П.К. Анохиным, особенно в формировании функциональными системами аппарата предвидения потребных результатов — акцептора результатов действия. Приведенные в статье экспериментальные данные развивают неврологические представления В.М. Бехтерева о структурно-функциональной организации головного мозга и раскрывают значение коллатералей пирамидного тракта в организации в головном мозге опережающих реальные события многоуровневых акцепторов результатов действия.

К.В. Судаков

**В.М.БЕХТЕРЕВ: Х•ЗЕРГЕ ЗАМАН
НЕЙРОФ•НН•РЕ ••М БАШ МИЕ ФУНКЦИЯЛ•РЕН
СИСТЕМАЛЫ ОЕШТЫРУ**

Кешене • нерв системасын •ентекл•п өйр•нүд• х•зергэ заман интергратив юн•лешен• нигез салучы В.М.Бехтерев турында материал б•ян ител•. Галимне• ф•нни идеял•рене• д•вамчылыгы П.К.Анохин т•кьдим итк•н функциональ системалар теориясенд• аеруча калку кү рен•. М•кал•д• китерелг•н эксперименталь м•гълуматлар баш миене• структур-функциональ үсүштүрүнде — В.М.Бехтеревны• неврологик күзаллауларын үстер•, баш миэ эшч•нлегенд• пирамида юлы коллатериальл•рене• •h•миятен ачып бир•.

K.V. Sudakov

**V.M. BEKHTEREV: MODERN NEUROSCIENCES AND
SYSTEMIC ORGANIZATION OF CEREBRAL FUNCTIONS**

Stated on a paper is the material about V.M. Bekhterev — a founder of a contemporary integrative approach for many-sided studying human nervous system by fundamental and clinical disciplines, the so called “neuroscience”. Continuity of V.M. Bekhterev’s scientific ideas is very well seen in functional system theory, offered by P.K. Anokhin. And especially well seen it is in forming by functional systems of device for prognosing necessary results — acceptor of action results. Experimental data, set forth in the paper, develop V.M. Bekhterev’s ideas about structurally — functional organization of brain and reveal significance of pyramid tract collaterals in organization multilevel acceptors of action results, outstripping real events.

Современные нейронауки характеризуются все углубляющимся познанием молекулярно-генетических основ жизнедеятельности. При этом теряется целостный организм человека в его теснейших связях с окружающей, и в первую очередь социальной, средой. Не умаляя важности молекулярно-генетических основ жизнедеятельности, следует настойчиво стремиться к объединению аналитических и синтетических подходов к познанию нейрофизиологических функций человека. Именно в эту сторону были направлены научные интересы В.М. Бехтерева, когда он основал новое интегративное направление в изучении нервной системы, названное им неврологией.

В неврологию В.М. Бехтерев включил комплексные нейроморфологические, нейрофизиологические, нейрофармакологические, нейроэмбриональные, нейропсихологические и иммунные фундаментальные научные дисциплины в их тесном взаимодействии с клиниками нервных болезней, психиатрии и нейрохирургии. По существу, он основал то направление в комплексном изучении нервной системы, которое в настоящее время получило название «нейронауки». В.М. Бехтерев совершенно отчетливо понимал, что успехи в лечении нервных и психических заболеваний нервной системы невозможны без комплексных фундаментальных исследований строения и функций нервной системы в норме и при патологии. В Австрии он организовал международное общество неврологов, развитию которого в Европе, по-видимому, помешала первая мировая война, а в России — Октябрьская революция.

В.М. Бехтерева с полным основанием можно считать основоположником современной нейронауки. К сожалению, как это нередко бывает,

его имя мало известно зарубежным исследователям нервной системы и не было упомянуто ни на одном из международных совещаний по нейронаукам. Тем не менее научные идеи бехтеревской неврологии оказали серьезное влияние на развитие многосторонних исследований нервной системы в Советском Союзе, а потом в России.

Одним из направлений комплексного изучения нервной системы явился системный подход, в частности теория функциональных систем, которую предложил П.К. Анохин. Знаменательно, что он по приезде в Ленинград для изучения функций головного мозга первое время работал под руководством В.М. Бехтерева. Ему было поручено исследовать влияние на обследуемых лиц различных музыкальных ладов. Только стремление к экспериментальной деятельности на животных было причиной перехода П.К. Анохина в лабораторию И.П. Павлова.

Как известно, согласно системному подходу, провозглашенному канадским биологом Л. фон Берталанфи и его многочисленными последователями, различные явления и процессы необходимо рассматривать в совокупности составляющих их элементов, при которой последние получают новое качество [14]. Однако исходя из общераспространенной теории систем неясно, что же объединяет отдельные элементы в системы, и как эти системы функционируют.

Теория функциональных систем, предложенная П.К. Анохиным, принципиально отличается от классического системного подхода. В ней четко определен системообразующий фактор, в качестве которого в построении различных функциональных систем всегда выступают полезные для самих функциональных систем и объединяющие их целостных организаций приспособительные результаты [1]. Кроме того, функциональные системы отличает динамика их организации.

Функциональные системы — динамические, самоорганизующиеся и саморегулирующиеся построения, все составные элементы которых содружественно объединяются для достижения полезных для самой системы и организма в целом приспособительных результатов. Полезными приспособительными результатами являются продукты метаболических реакций в тканях, различные показатели внутренней среды

и, наконец, результаты поведенческой и психической деятельности человека. Все это свидетельствует о том, что в целом организме имеется множество гармонически взаимосвязанных функциональных систем, взаимодействующих по принципам доминирующей иерархии, мультипараметрического и последовательного взаимодействия [6]. Основной характеристикой функциональных систем различного уровня организации, отличающей их от классических систем как набора составляющих их элементов является динамика их работы. Полезные для организма приспособительные результаты деятельности функциональных систем постоянно оцениваются с помощью обратной афферентации, поступающей от рецепторов, воспринимающих параметры результатов, в центры функциональных систем. По принципу саморегуляции отклонение результата от уровня, определяющего оптимальную жизнедеятельность, само является причиной мобилизации всех компонентов каждой функциональной системы для возвращения этого результата к оптимальному уровню.

Нами постулирован принцип системного квантования деятельности функциональных систем [7], который состоит в том, что континuum деятельности различных функциональных систем расчленяется на отдельные дискретные отрезки, или системокванты — от потребности к ее удовлетворению. Системокванты являются дискретными единицами динамической деятельности функциональных систем. Каждый системоквант поведенческой и психической деятельности человека включает исходную метаболическую или психическую потребность, формирующуюся на ее основе доминирующую мотивацию, поведение, направленное на удовлетворение исходной потребности, промежуточные и конечные результаты этой деятельности, постоянно оцениваемые субъектами с помощью обратной афферентации в плане удовлетворения или, наоборот, неудовлетворения исходной потребности.

П.К. Анохиным сформулированы представления о динамической организации центральной архитектоники функциональных систем поведенческого и психического уровней организации. Центральная архитектоника

функциональных систем этого уровня включает динамические последовательно развертывающиеся стадии: афферентного синтеза, принятия решения, предвидения потребного результата — акцептор результатов действия, эфферентный синтез, действие и постоянную оценку акцептором результатов действия с помощью обратной афферентации, параметров достигаемых субъектами полезных для организма результатов (рис. 1).

голод, жажда, страх и др., строятся на основе восходящих активирующих влияний гипоталамических центров на кору больших полушарий головного мозга. Эти мотивациогенные центры гипоталамуса рассматриваются нами как своеобразные «пейсмекеры» биологических мотиваций. Разрушение этих центров полностью элиминирует влечение животных к потребным объектам внешнего мира. Исследования [5, 12]

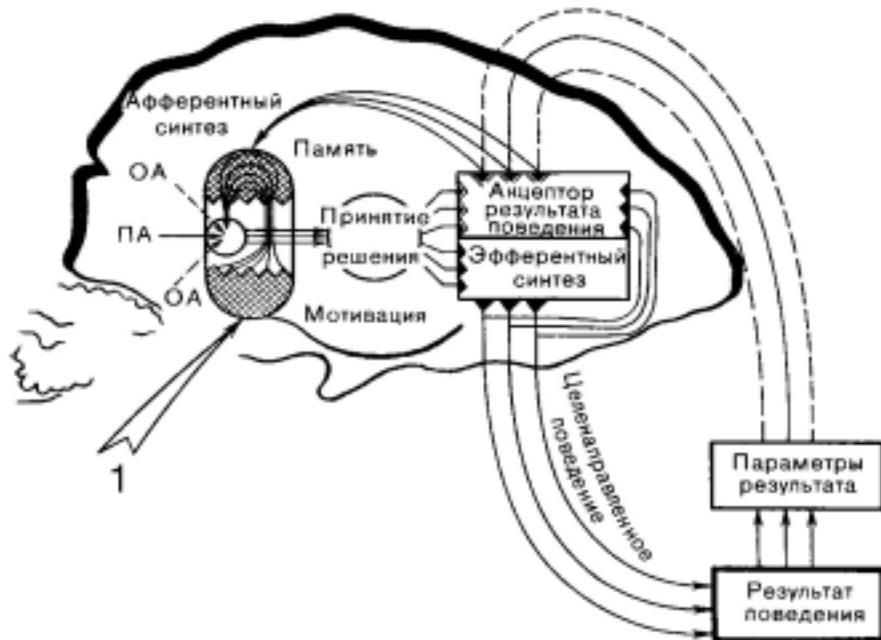


Рис.1. Системная центральная архитектоника поведенческого и психического актов. Объяснения в тексте.
ОА — обстановочная, ПА — пусковая афферентации.

Центральная архитектоника, определяющая отношение живых существ к внешней среде, составляет внутренний субъективный механизм целенаправленной деятельности человека и животных, нейрофизиологический субстрат доминанты, открытой А.А. Ухтомским [13]. В построении системоквантов поведения и психической деятельности человека ведущая роль принадлежит двум крайним компонентам системной центральной архитектоники соответствующих функциональных систем — доминирующей мотивации и подкреплению. В каждой функциональной системе акцептор результатов действия постоянно оценивает адаптивную значимость достигаемых субъектами результатов. При этом постоянно перестраивается вся центральная архитектоника функциональных систем, что в конечном счете ведет к удовлетворению исходной потребности субъектов (рис. 2).

Наши многолетние научные исследования показали, что такие биологические мотивации, как

показали, что высшие мотивации у человека и животных определяются пейсмекерами, расположенными в коре больших полушарий. На основе активирующих влияний мотивациогенных центров изменяются конвергентные и химические свойства нейронов разных отделов головного мозга. В лимбических структурах головного мозга возрастает экспрессия ранних генов: c-fos и c-jun [8]. Все эти процессы составляют энергетическую основу целенаправленной деятельности живых существ. При наличии доминирующих мотиваций нейроны различных отделов головного мозга проявляют пачкообразную активность с характерным для каждой мотивации паттерном распределения межимпульсных интервалов [11]. Проведенные нами опыты показали, что доминирующие мотивации тесно связаны с активностью нейронов, составляющих в функциональных системах акцепторы результатов действия.

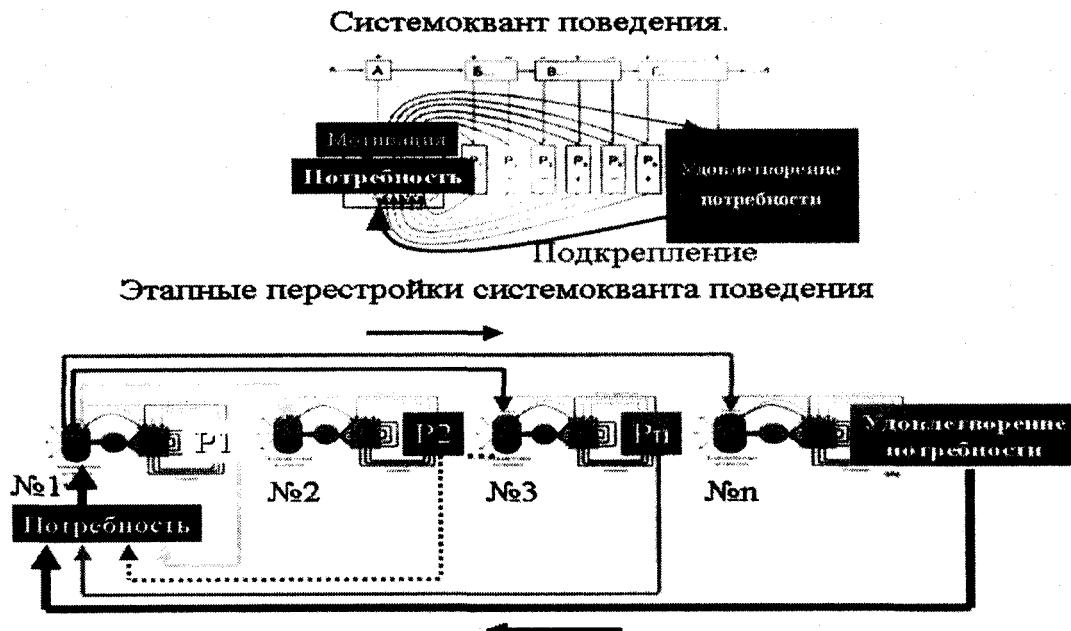


Рис.2. Динамика оценки акцептором результатов действия промежуточных и конечного (потребного) результатов системокванта поведения.

В.М. Бехтерев одним из первых обратил внимание на большое количество коллатералей, отходящих на различных уровнях центральной нервной системы от пирамидных трактов. Развивая эти морфологические данные, П.К. Анохин сформулировал гипотезу о роли коллатералей пирамидных трактов в формировании акцепторов результатов действия в различных функциональных системах [1]. Согласно предложенной П.К. Анохиным гипотезы, при формировании целенаправленного поведения живых существ одновременно с распространением возбуждений пирамидных нейронов коры головного мозга, по пирамидным трактам на исполнительные механизмы, определяющие мышечную деятельность и ее вегетативное обеспечение, копии этих возбуждений по коллатералиям пирамидных трактов распространяются к вставочным нейронам коры и подкорковых образований головного мозга. В этих нейронах благодаря их тесным циклическим взаимосвязям возбуждения циркулируют и сохраняются длительное время до поступления к ним обратной аfferентации о результатах деятельности. Эти вставочные нейроны характеризуются таким образом функциями ожидания.

Вставочные нейроны и составляют, по мнению П.К. Анохина, аппарат акцептора результатов действия. К этим вставочным нейронам постоянно поступает и сравнивается с ними обратная аfferентация от параметров достигаемых субъектами результатов.

Гипотетические представления П.К. Анохина нашли подтверждения в ряде экспериментов. В.В. Синичкиным и В.А. Правдивцевым микроэлектродными исследованиями показано, что вставочные нейроны сенсомоторной и зрительной коры отвечают на различные сенсорные раздражения и на антidiромную стимуляцию центрального конца перерезанного на уровне олив продольговатого мозга пирамидного тракта через его коллатерали. Исследования В.В. Синичкина, В.А. Правдивцева и С.К. Судакова, кроме того, показали, что в сенсомоторной коре и дорсальном гиппокампе вставочные нейроны отвечали на раздражения мотивационных центров гипotalамуса, ноцицептивные раздражения и на антidiромную стимуляцию перерезанного на уровне олив продольговатого мозга пирамидного тракта [11]. Все это указывает на то, что на вставочных нейронах коры головного мозга и дорсального гиппокампа осуществляется встреча сенсорных и мотивационных эмоциональных возбуждений с возбуждениями, распространяющимися к ним по коллатералиям пирамидного тракта. Мы полагаем, что именно вставочные нейроны, составляющие акцепторы результатов действия различных функциональных систем, проявляют при мотивационных состояниях пачечную активность.

Удовлетворение потребности — подкрепление выступает в качестве другого звена системной деятельности головного мозга. Подкрепление

включает в себя взаимодействие субъектов с предметами окружающей их среды, действие параметров достигаемых результатов на соответствующие рецепторы и обратную афферентацию, поступающую от этих рецепторов к акцептору результатов действия. При этом под влиянием обратной афферентации, поступающей к акцепторам результатов действия от различных параметров достигнутых результатов, пачечная активность составляющих их нейронов сменяется на регулярную, характеризующуюся одним доминирующим межимпульсным интервалом [10]. При этом снижается экспрессия ранних генов в лимбических структурах головного мозга, изменяется чувствительность нейронов различных структур головного мозга к нейромедиаторам, нейропептидам и иммунным факторам [2, 4, 8].

Все это указывает на то, что на вставочных нейронах головного мозга встречаются мотивационные, сенсорные и подкрепляющие возбуждения и осуществляется их информационная оценка.

Мы полагаем, что акцептор результатов действия в функциональных системах поведенческого и психического уровней организации представляет разветвленную по различным структурам головного мозга организацию, включающую сенсорные, эмоциональные и мотивационные компоненты. Многоуровневая архитектоника акцепторов результатов действия оценивает различные параметры достигаемых субъектами результатов (рис.3). При этом обратная афферентация, поступающая в головной мозг от зрительных рецепторов адресуется к вставочным нейронам зрительной коры, обонятельная — к вставочным нейронам обонятельных структур, тактильная — к тактильным структурам, слуховая — к слуховым центрам головного мозга и т.д.

На основе проведенных опытов нами сформулировано положение о многоуровневой организации акцепторов результатов действия в различных функциональных системах. Подкрепляющие возбуждения отпечатываются на структурах акцепторов результатов действия разных функциональных систем в виде своеобразных образов («отпечатков действительности» по И.П. Павлову). Опережающее извлечение этих образов, направляющих субъектов на удовлетворение ведущих потребностей, осуществляется доминирующими мотивациями (рис.4). В каждой отдельной функциональной

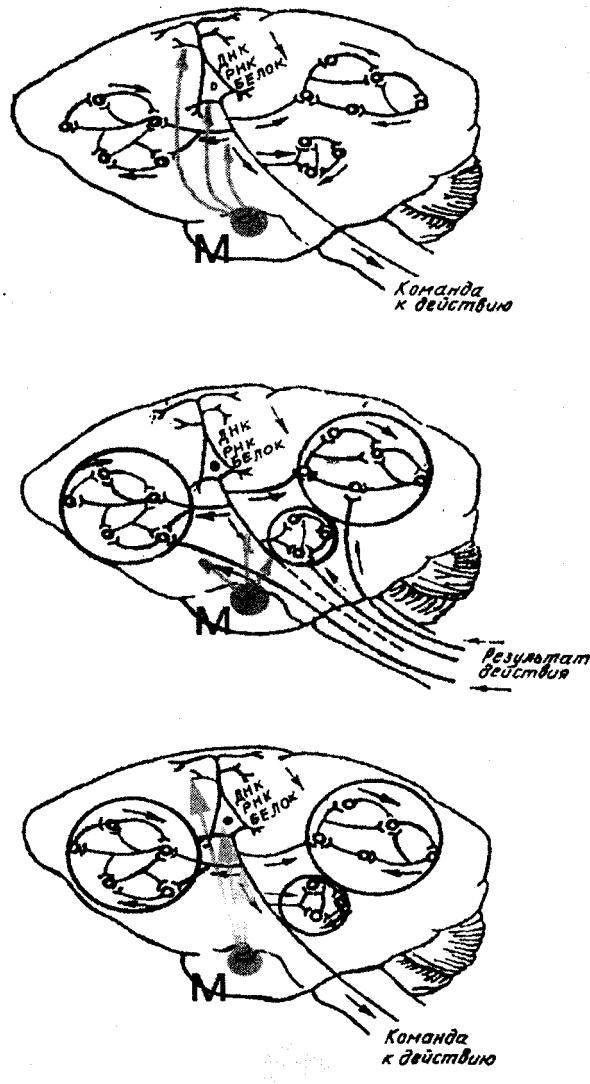


Рис.3. Многоуровневая организация акцептора результатов действия.

Вверху — распространение мотивационного возбуждения через пирамидный нейрон сенсомоторной коры головного мозга по пирамидному тракту и его коллатералиям.

Средний рисунок — обратная афферентация от параметров достигнутых результатов распространяется к различным структурам акцептора результата действия.

Нижний рисунок — доминирующая мотивация опережающе активирует сформированной обратной афферентацией аппарат акцептора результатов действия.

системе этот образ может, по-видимому, иметь различную форму. Так, А.М. Иваницким показана специфическая динамика распространения образов памяти по различным структурам головного мозга в форме информационного синтеза [3].

На структурах акцепторов результатов действия запечатлены внешний мир, способы достижения потребных результатов, а также эмоциональное состояние, сопровождающее

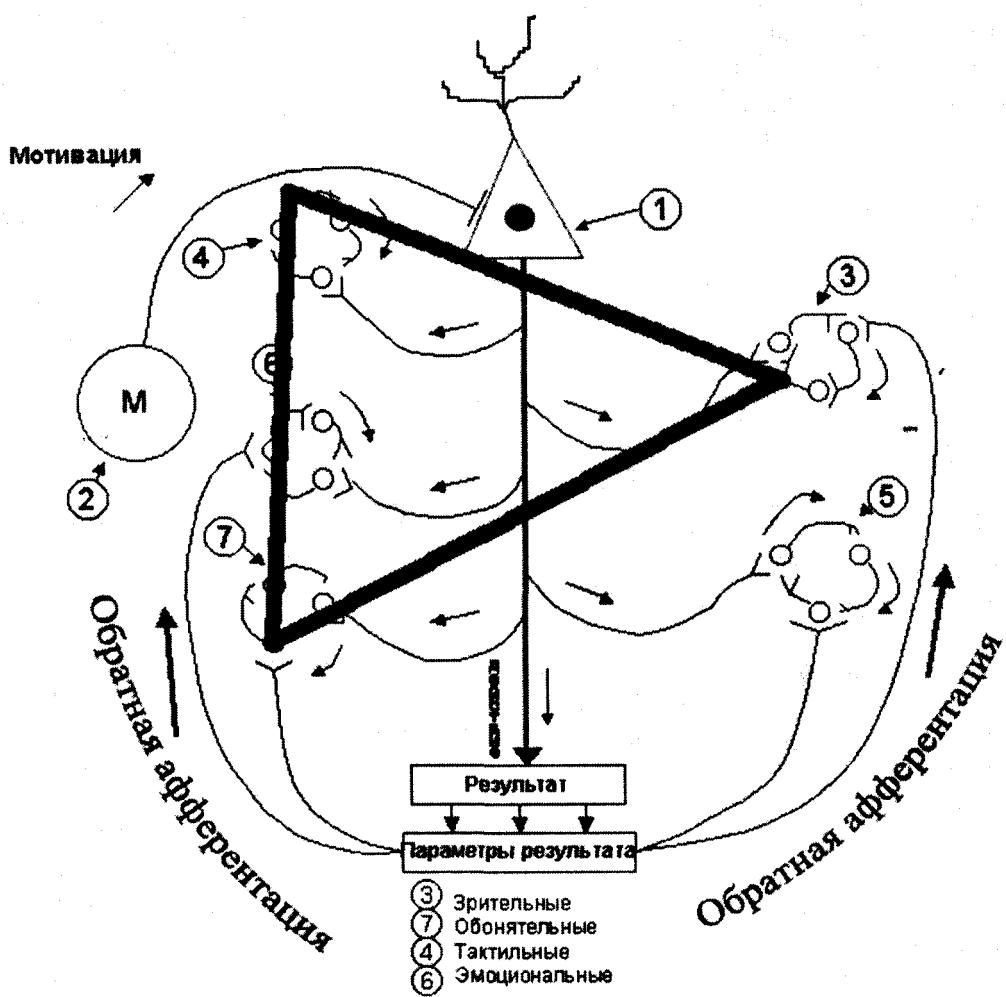


Рис.4. Схема многоуровневого образа акцептора результатов действия на структурах головного мозга.
Объяснения в тексте.

результативную деятельность субъектов. Специальные наши исследования показали, что после однократного или многократного подкрепления, т.е. обучения субъектов достигать потребные результаты, нейроны, составляющие акцепторы результатов действия, начинают экспрессировать специальные олигопептиды. Блокада синтеза белков на рибосомах нейронов циклогексимиидом подавляет механизм извлечения доминирующей мотивацией накопленного опыта и не приводит к соответствующему поведению.

Идентифицированные антидромным раздражением пирамидного тракта вставочные нейроны акцепторов результатов действия на фоне циклогексимида перестают отвечать на электрическое раздражение мотивационных центров гипоталамуса (рис.5). Нами идентифицирован ряд олигопептидов, восстановливающих целенаправленное поведение у кроликов при дополнительном их введении в

боковые желудочки головного мозга на фоне блокирующего мотивации действия циклогексимида. Пищевые реакции при этом восстанавливаются пентагастрином, оборонительные — брадикинином, а самораздражение — АКТГ₄₋₁₀. [8].

Эти опыты указывают на то, что параметры потребных результатов подкрепления отпечатываются на структурах акцепторов результатов действия не только в форме изменения конвергентных и нейрохимических свойств составляющих их нейронов, но и на информационной основе путем изменения паттернов нейрональной деятельности и путем экспрессии генетическим аппаратом этих нейронов специфических информационных олигопептидов. Извлечение этих эффекторных информационных молекул, составляющих образы подкреплений, опережающе осуществляется доминирующими мотивациями.

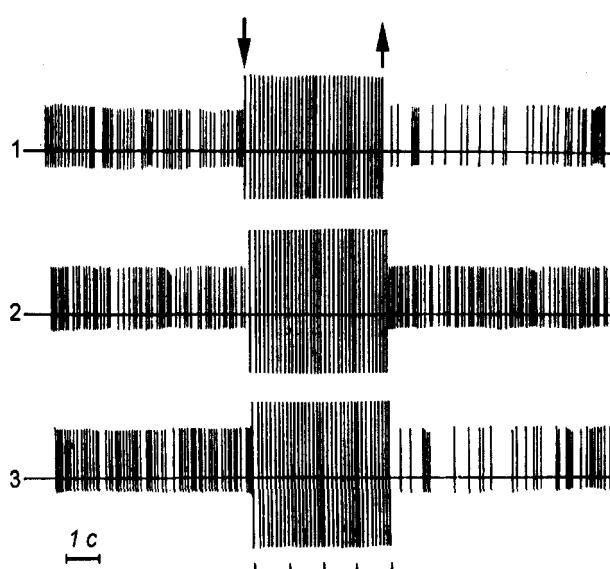


Рис.5. Блокада циклогексимидом ответов идентифицированного антидромной стимуляцией пирамидного тракта нейрона дорсального гиппокампа на раздражение мотивированного центра гипоталамуса.

Гипоталамус:

1 — ответ нейрона на электрические раздражения «центра голода» латерального гипоталамуса до введения циклогексимида; 2 — блокада ответа нейрона на фоне введения в боковые желудочки головного мозга циклогексимида; 3 — восстановление ответа нейрона на раздражение мотивационного центра гипоталамуса на фоне действия циклогексимида при введении в боковой желудочек головного мозга пентагастрин.

Стрелки — момент раздражения латерального гипоталамуса.

Выявленные нами механизмы построения акцепторов результатов действия, как мы считаем, лежат в основе формирования динамических стереотипов головного мозга и механизмов когнитивной деятельности человека [9]. Приведенные в настоящей статье данные развивают неврологические представления В.М. Бехтерева о структурно-функциональной организации головного мозга и показывают их дальнейшее развитие на основе теории функциональных систем.

ВЫВОДЫ

1. Ведущим в системной организации функций головного мозга является механизм взаимодействия доминирующих мотиваций с подкреплениями на структурах акцепторов результатов действия.

2. Акцепторы результатов действия в разных функциональных системах, определяющих поведение и психическую деятельность человека, представляют многоуровневое системное

объединение вставочных нейронов различных уровней головного мозга.

3. Подкрепляющие возбуждения формируют на структуре акцепторов результатов действия функциональных систем, исходно созданной доминирующими мотивациями, «отпечатки действительности», объединяющие сенсорные и эмоциональные компоненты, необходимые для последующих удовлетворений субъектами соответствующих исходных потребностей.

4. «Образы действительности», сформированные в акцепторе результатов действия, опережающие извлекаются доминирующими мотивациями путем экспрессии генетическим аппаратом головного мозга специальных белковых молекул.

*Работа выполнена при поддержке гранта
Президента РФ № НШ – 9825.2006.7.*

ЛИТЕРАТУРА

1. Анохин П.К. Биология и нейрофизиология условного рефлекса. — М., 1968.
 2. Журавлев Б.В., Муртазина Л.П., Сулин В.Ю. // Росс.физiol.журн. — 1997. — Т. 83. — № 11—12. — С. 19—28.
 3. Иваницкий А.М. // Журн. ВНД им. И.П. Павлова. — 1996. — Т. 46. — № 2. — С. 241—282.
 4. Крацов А.Н., Томилина И.В. // Вестник РАМН. — 1994. — № 10. — С. 12—17.
 5. Леонтьев А.Н. Деятельность. Сознание. Личность. — М., 1975.
 6. Судаков К.В. Рефлекс и функциональная система. — Новгород Великий, 1997.
 7. Судаков К.В. (ред.) Системокванты физиологических процессов. — М., 1997.
 8. Судаков К.В. Доминирующая мотивация. — М., 2004.
 9. Судаков К.В. // Журнал ВНД им. И.П. Павлова. — 2005. — Т.55. — № 2. — С.272—283.
 10. Судаков К.В., Журавлев Б.В., Кромин А.А., Шамаев Н.Н., Тимофеева Л.В. // Успехи физиол.наук. — 1988. — Т.19. — № 3. — С.24—44.
 11. Судаков С.К. // Нейрофизиология. — 1987. — Т.19.— № 5. — С. 601—606.
 12. Урываев Ю.В. // Журнал ВНД. — 1973. — Т.23. — С.1172—1178.
 13. Ухтомский А.А. Доминанта. — Л., 1966.
 14. Bertalanfy L. fon General theory of systems application to psychology // Inform. Sci. Soc. — 1967. — Vol.6. — P. 126.

Поступила 09.03.07.