

Литература

1. Аветисов Э.С. и др. Особенности монокулярных и бинокулярных движений глаз в процессе фиксации неподвижной точки // Система бификсации в норме и при патологии. М., 1979.
2. Адрианов О.С. Проблема структурной организации правого и левого полушарий головного мозга // Нейропсихологический анализ межполушарной асимметрии мозга. М., 1986.
3. Аксенова И.В. Онтогенетическая динамика функциональной асимметрии мозга при вербальной перцепции // Вопр. психологии. 2005. № 1.
4. Ананьев Б.Г. Опыт исследования монокулярной локализации объекта // Проблемы психологии / Под ред. Б.Г. Ананьева. Л., 1948.
5. Ананьев Б.Г. Системный механизм восприятия пространства и парная работа полушарий головного мозга // Проблемы восприятия пространства и пространственных представлений. М., 1961.
6. Блум Ф., Лейзерсон А., Хофстедтер Л. Мозг, разум, поведение: Пер. с англ. М., 1988.
7. Галюк Н.А. Асимметрия зрительного восприятия как индивидуальная характеристика старших школьников в условиях современного обучения: Автореф. дис. ... канд. психолог. наук / ИГПУ. Иркутск, 1998.
8. Галюк Н.А. Психология асимметрии: Учеб. пособие / Предисл. доц. Д.В. Иванова. Иркутск, 2002.
9. Литинский Г.А. Функциональная асимметрия глаз // Русский офтальмологический журнал. 1929. Т. 9. № 4.
10. Матова М.А., Бережковская Е.Л. Функциональная асимметрия и симметрия пространственного восприятия у спортсменов разных специальностей // Теория и практика физической культуры. 1980. № 11.
11. Реброва Н.П., Чернышева М.П. Функциональная межполушарная асимметрия мозга человека и психические процессы. СПб., 2004.
12. Суворова В.В., Матова М.А., Туровская З.Г. Асимметрия зрительного восприятия: психофизиологическое исследование. М., 1988.
13. Таланов В.Л., Тысячнюк М.С. Межиндивидуальные и возрастные различия в особенностях зрительного восприятия // Механизмы регуляции физиологических функций. Л., 1988.
14. Хомская Е.Д. и др. Нейропсихология индивидуальных различий: Учеб. пособие / Е.Д. Хомская, И.В. Ефимова, Е.В. Будыка, Е.В. Ениколопова. М., 1997.
15. Хомская Е.Д. Нейропсихология. 3-е изд. СПб., 2003.

*М.Ю. Ходанович***, Ю.В. Бушов*, Ю.В. Вячистая***

ПРОЦЕССЫ АКТУАЛИЗАЦИИ ДОЛГОВРЕМЕННОЙ ПАМЯТИ ПРИ ОТМЕРИВАНИИ ИНТЕРВАЛОВ ВРЕМЕНИ У ЧЕЛОВЕКА

*Томский государственный университет,

**НИИ биологии и биофизики, г. Томск

Считается, что на основе жизненного опыта у человека формируется субъективная единица измерения времени, некий временной эталон, который используется индивидом при определении длительности событий (СВЭ). Этот эталон хранится в долговременной памяти и обладает относительной устойчивостью [1]. Однако до сих пор неясно, что же собой представляет этот эталон, где, в какой зоне мозга он хранится и каковы механизмы извлечения его из долговременной памяти. В то же время в большинстве исследований, направленных на изучение механизмов восприятия времени [2, 3], процессы актуализации долговременной памяти практически не рассматриваются.

Одним из наиболее перспективных взглядов на изучение этих процессов является подход, основанный на анализе электрофизиологических коррелятов восприятия времени, в частности, связанных с

событиями потенциалов мозга (ССПМ). Этот метод до сих пор остается одним из ведущих в экспериментальной психофизиологии, поскольку позволяет в принципе проследить основные этапы обработки информации мозгом при оценке временных параметров стимула, а также изучить источники этих потенциалов и определить, какие структуры мозга участвуют в этом процессе.

К настоящему времени накоплено значительное количество экспериментальных данных, указывающих на то, что процессы актуализации долговременной памяти находят отражение в характеристиках ССПМ. Большинство исследователей связывают процесс вспоминания с появлением позитивного компонента на участке 400–800 мс от начала предъявляемого стимула [4, 5]. Однако имеются работы, в которых этот процесс связывается с появлением негативного компонента такой же латентности [6].

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского гуманитарного научного фонда № 05-06-06021а.

Целью настоящего исследования явился поиск ЭЭГ-коррелятов процесса актуализации долговременной памяти при восприятии интервалов времени.

В ранее проведенных исследованиях нами было показано, что наиболее вероятным коррелятом этого процесса является негативный компонент, возникающий в интервале между первым и повторным нажатием на клавишу при отмеривании интервала времени [7].

Методика

Объект исследования

В исследованиях участвовали практически здоровые лица, добровольцы (11 мужчин, 9 женщин) в возрасте от 18 до 24 лет, студенты томских вузов. Предварительно все испытуемые тестировались на нормальное цветовосприятие. В ходе опыта состояние испытуемого контролировалось посредством измерения артериального давления и частоты пульса, а также предъявления (в начале и в конце опыта) анкеты самооценки функционального состояния. Испытуемый располагался в удобном кресле в слабоосвещенной звукоизолированной камере. Работа испытуемых оплачивалась.

Стимулами служили цифры разных цветов, появляющиеся на экране монитора. В первой серии (А) цифры красного, синего и зеленого цветов задавали интервалы времени, которые необходимо было отмерить двойным нажатием на клавишу «пробел». Во второй серии (Б) испытуемым предъявляли цифры пяти разных цветов: в ответ на предъявление цифры красного цвета необходимо было отмерить соответствующий интервал времени в секундах, в ответ на предъявление цифры синего цвета – нажать на клавишу соответствующее число раз, цифры других цветов не требовали реакции испытуемого. В обеих сериях предъявлялось не менее 30 цифр каждого цвета. В серии А стимулы следовали в случайном порядке. В серии Б стимулы также следовали в случайном порядке, но с условием, что между цифрами красного и синего цветов должно быть не меньше трех цифр других цветов. Эти требования к последовательности стимулов были введены для того, чтобы испытуемый при отмеривании интервалов времени был вынужден всякий раз обращаться к хранящемуся в долговременной памяти субъективному эталону времени, а не к кратковременному следу памяти, оставленному предыдущим стимулом. Зрительный стимул исчезал с экрана монитора, когда испытуемый заканчивал выполнение задания, то есть нажимал на клавишу последний раз. Интервал между последним нажатием на клавишу «пробел» и предъявлением следующего стимула составлял 1000 мс.

Регистрация

электрофизиологических показателей

Параллельно с предъявлением зрительных стимулов регистрировали ЭЭГ, ЭОГ и КГР. Регистрация ЭЭГ осуществлялась с помощью 16-канального энцефалографа ЭЭГ-16 фирмы MedicoG в частотном диапазоне от 0.23 до 30 Гц. Для регистрации ЭЭГ использовали общепринятую систему отведений 10–20 %. ЭЭГ записывали монополярно в 15 отведениях: F3, Fz, F4, C3, Cz, C4, T3, T4, T5, T6, P3, Pz, P4, O1 и O2, объединенный референтный электрод устанавливался на мочки левого и правого уха испытуемого, а земляной – фиксировался на правом запястье. ЭЭГ регистрировалась при открытых глазах и фиксированном взоре.

С целью устранения артефактов, связанных с движениями глаз и электродермальной активностью, параллельно с записью ЭЭГ регистрировали КГР (по методу Тарханова) и ЭОГ. Все указанные показатели записывались в память компьютера через аналого-цифровой преобразователь (АЦП). При вводе аналоговых сигналов в ЭВМ частота дискретизации составляла 200 Гц.

Обработка данных

При обработке использовали лишние артефакты участки ЭЭГ, которые выделялись визуально. Эпоха анализа, включая фоновый фрагмент 100 мс, составляла 700 мс для зрительных стимулов и 1000 мс для нажатий на клавишу «пробел» (500 мс до и 500 мс после нажатия). Выделенные ССПМ фильтровали с помощью фильтра Хемминга с полосой пропускания 0–30 Гц. На основе предстимульного фрагмента длительностью 100 мс определяли базовую линию. Латентный период (ЛП) моторного ответа измеряли от начала предъявления зрительных стимулов.

Выделение и обработка ССПМ проводились с помощью программ, разработанных в нашей лаборатории, статистическая обработка – с помощью программ Statistica 6.0 и Eeglab 4.5b для Matlab 6.5. Оценка достоверности различий потенциалов проводилась поточечно с использованием непараметрического критерия Вилкоксона для внутригрупповых сравнений. Компоненты ССПМ выделяли с помощью Анализа Независимых Компонентов (ICA, Independent Component Analysis, алгоритм runica) [8]. Затем для выделенных компонентов проводился анализ их источников методом эквивалентного диполя с помощью алгоритма DIPFIT [9].

Результаты исследований

Латентный период (ЛП) моторного ответа и точность отмеривания

В серии А ЛП моторного ответа и отмериваемые интервалы на стимулы разных цветов значимо не

различались. ЛП моторного ответа в серии А на стимулы красного (1256.16 ± 123.80 мс) и синего (1195.65 ± 121.54 мс) цветов, требующие отмеривания интервала, достоверно ($p < 0.01$) превышал ЛП моторного ответа на подобные стимулы в серии Б (849.86 ± 20.62 и 792.90 ± 20.78 мс соответственно). ЛП моторного ответа при выполнении конкурирующего задания был достоверно короче ($p < 0.01$), чем тот же показатель при отмеривании интервалов.

Дисперсионный анализ показал, что конкурирующее задание значимо влияет на длительность отмериваемых интервалов ($F(1, 18) = 130.25$, $p = 0.00000$). При наличии конкурирующего задания (серия Б) испытуемые отмеривали более длительные интервалы времени. При этом в серии А отмериваемые интервалы увеличивались пропорционально требуемым интервалам, в серии Б отмериваемые интервалы на цифру «4» (4835.33 ± 257.95 мс) были достоверно больше, чем на цифру «5» (4138.66 ± 271.20).

ССПМ, зарегистрированные на предъявление зрительных стимулов разного цвета в режиме отмеривания без конкурирующего задания (серия А)

Ранние различия небольшой амплитуды (менее 0.5 мкВ) между указанными кривыми 5–10 мс от начала зрительного стимула наблюдались только в отведении С3. Более поздние различия наблюдались в следующих отведениях различия на участке 320–700 мс в отведениях F3, T4, T5 и P3. Однако эти различия также были статистически не значимы и не носили систематического характера (рис. 1). Так, ССПМ на стимулы красного цвета был более негативен, чем ССПМ на стимулы синего цвета в отведении T4, P3 и более позитивен – в T5 на том же временном промежутке. В отведениях Fz, F4, T3, Cz, C4, Pz, P4, T6, O1, O2 значимых различий не было. Таким образом, четких значимых различий, связанных с предъявлением стимулов разного цвета, в этой серии не обнаружено.

ССПМ, зарегистрированные на предъявление зрительных стимулов разного цвета при отмеривании с конкурирующим заданием (серия Б)

Наиболее ранние различия (с 5 до 85 мс от начала стимула) между ССПМ на предъявление стимулов красного и синего цветов наблюдаются во всех височных, затылочных, фронтальных, левом центральном и правом парietальном отведениях. Указанные различия связаны с тем, что ССПМ на этих участках на стимул красного цвета был более негативным, чем ССПМ на стимул синего цвета (рис. 1). Более поздние достоверные различия на участке от 250 до 470 мс между указанными кривыми обнаружены во всех парietальных, затылочных, правых височных, правом центральном и центрально-фронтальном отведениях. Различия также связаны с тем, что ССПМ на этих участках ССПМ на стимул красного цвета были более негативны, чем ССПМ на стимул синего цвета (рис. 1).

Таким образом, при сравнении ССПМ выявлено наличие двух негативных волновых различий для ССПМ на стимулы красного цвета по сравнению с ССПМ на стимулы синего цвета:

- ранний компонент с максимальной амплитудой $1,5$ мкВ и пиковой латентностью 30–50 мс от начала стимула, наиболее выраженный в затылочных отведениях;
- поздний компонент с максимальной амплитудой 2 мкВ и пиковой латентностью 380–400 мс от начала стимула, наиболее выраженный в левом теменном и правом затылочном отведениях.

ССПМ, зарегистрированные при первом нажатии на клавишу «пробел» в процессе отмеривания интервалов времени с конкурирующим заданием (серия Б)

Установлено, что ССПМ на участке 230–120 мс перед первым нажатием на клавишу «пробел» достоверно различались практически во всех отведениях. Значимые различия между ССПМ, выделен-

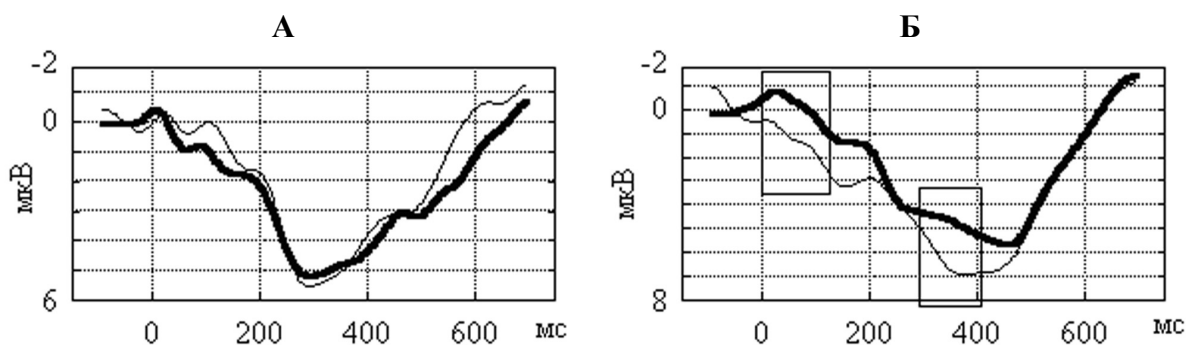


Рис. 1. Среднегрупповые ССПМ (N=19) на предъявление красных (толстая линия) и синих (тонкая линия) зрительных стимулов – цифр, в отведении O2. А – цифры обоих цветов задают интервал для отмеривания, Б – цифры красного цвета задают интервал для отмеривания, на цифры синего цвета требуется нажать соответствующее цифре число раз на клавишу.

ными при отмеривании интервалов времени, по сравнению ССПМ, зарегистрированными при выполнении конкурирующего задания, обнаружены во всех центральных и височных отведениях, в правом и центральном фронтальных, левом парietальном и правом затылочном отведениях (рис. 2). После нажатия на клавишу «пробел» значимых различий в динамике ССПМ между отмериванием и выполнением конкурирующего задания не обнаружено.

Анализ различий ССПМ в серии с конкурирующим заданием (серия Б) и без него (серия А)

Ранние различия между ССПМ на стимулы красного цвета в сериях А и Б наблюдались только в отведениях Т6 и О2 и были связаны с тем, что ССПМ на стимул красного цвета в серии Б был более негативен, чем ССПМ на такой же стимул в серии А. При сравнении ССПМ на стимулы синего цвета в сериях А и Б обнаружено, что ранние волновые различия имели другую направленность, чем различия ССПМ на стимулы красного цвета: в серии Б ССПМ на эти стимулы был более позитивен, чем в серии А. Различия наблюдались на участке с

5 до 55 мс от начала стимула в отведениях Fz, F4, C3, Cz, O1, O2, T3, T5 и P4.

Более поздние волновые различия на участке 200–500 мс от начала стимула в сериях А и Б наблюдались как на стимулы красного (во всех фронтальных, центральных, парietальных, передневисочных и левом затылочном отведениях), так и на стимулы синего цветов (во всех отведениях) и носили однонаправленный характер: в серии Б ССПМ были более позитивны, чем в серии А.

При сравнении ССПМ на первое нажатие на клавишу «пробел» при отмеривании (стимулы красного цвета) в сериях А и Б обнаружено, что негативные волновые различия на участке 230–120 мс перед нажатием сохраняются, но являются статистически значимыми только в отведениях С3 и О2. Появляются также значимые различия после нажатия на клавишу пробел: для серии Б ССПМ на этом участке более негативен в отведениях P3, Pz и О2 и более позитивен в отведении F3. Различия ССПМ на стимул синего цвета в сериях А и Б связаны главным образом с увеличением амплитуды моторного потенциала в серии Б.

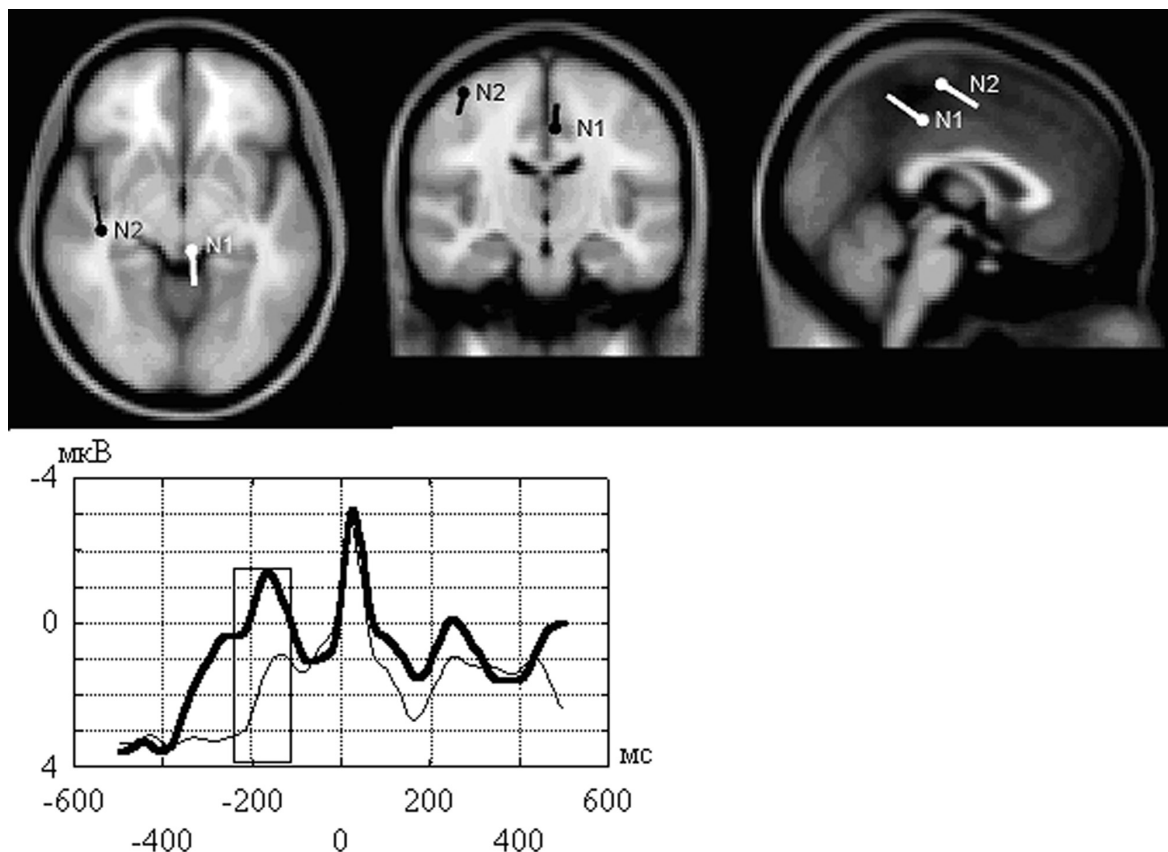


Рис. 2. Внизу – среднegrupповые ССПМ (N=19) на первое нажатие на клавишу «пробел» при отмеривании интервала времени (толстая линия) и выполнении конкурирующего задания (тонкая линия) в отведении Fz. Отмечены значимые различия между кривыми ($p < 0.05 - 0.001$). Вверху – локализация источников негативных компонентов, возникающих за 140 мс до нажатия на клавишу (N1) и через 140 мс после нажатия на клавишу (N2) при отмеривании интервала времени.

Локализация источников выделенных компонентов ССПМ

С помощью анализа независимых компонентов изучена компонентная структура ССПМ на каждый из стимулов. Для части компонентов ССПМ удалось локализовать внутримозговые источники с помощью метода единичного эквивалентного диполя. Так, для серии Б негативный компонент, возникающий за 140 мс перед нажатием на клавишу «пробел», локализуется в теменной части сингулярной коры правого полушария, компонент с ЛП 170 мс после нажатия – в левой моторной коре (рис. 2). При выполнении конкурирующего задания негативный компонент, возникающий за 220 мс перед нажатием на клавишу, локализуется в левой префронтальной коре, компонент с ЛП 175 мс после нажатия – в левой моторной коре.

Обсуждение результатов

Полученные результаты свидетельствуют о том, что наличие конкурирующего задания и большой временной промежуток между стимулами, требующими отмеривания интервала времени, повлияли на точность воспроизведения интервалов и ЛП моторного ответа. Меньший ЛП в серии с конкурирующим заданием может быть следствием обучения, поскольку серия Б всегда проводилась после серии А, либо связан с выполнением менее монотонного задания.

Полученные результаты в отношении ранних различий ССПМ между стимулами разного цвета отличаются от ожидаемых. Предполагали, что ранние (до 100 мс от начала стимула) различия между ССПМ на стимулы красного и синего цветов будут обнаружены и в случае, когда на их предъявление требовалась одинаковая моторная реакция (серия А), так и в случае, когда задания на стимулы разных цветов различались (серия Б). Однако устойчивые ранние различия ССПМ на стимулы красного и синего цветов возникали только в том случае, когда цвет стимула имел сигнальное значение. Это противоречит некоторым литературным данным о влиянии цвета стимула на ранние компоненты ССПМ [10]. Вместе с тем обнаруженные волновые различия не могут отражать обращение к долговременной памяти, к субъективному эталону времени, поскольку на этапе до 100 мс от начала стимула этот стимул еще не опознан [11].

Полученные результаты свидетельствуют о наличии значимых различий между поздними компонентами на стимулы красного и синего цветов, требующих различной моторной реакции, на двух участках: негативный компонент на участке 350–500 мс от начала стимула (N350–500) и негативный компонент, возникающий за 250–150 мс до нажатия

на клавишу «пробел» при отмеривании интервала времени (N250–150). Исходя из того, что среднее время реакции (1256.16 ± 123.80 мс для серии А и 849.86 ± 20.62 для серии Б) значительно превышает ЛП негативного компонента на участке 350–500 мс от начала стимула, можно утверждать, что это разные компоненты, которые могут претендовать на корреляты обращения к долговременной памяти.

Поскольку сходные различия ССПМ на зрительные стимулы на участке 350–500 мс от начала стимула между сериями А и Б обнаружены для стимулов и синего, и красного цветов (P350–500), этот компонент, по всей видимости, связан с анализом сигнальной значимости цвета и выбором моторной программы. Именно эти этапы отсутствуют в серии без конкурирующего задания. Волновые различия между ССПМ на стимулы синего и красного цветов в серии Б, вероятно, связаны с формированием разнотипной моторной программы.

Для выявления участка, на котором происходит обращение к долговременной памяти, важно сопоставление следующих фактов: 1) N250–150 обнаруживается в ССПМ на стимул красного цвета для серии Б по сравнению с серией А; 2) в серии Б N250–150 обнаруживается в ССПМ на стимул красного цвета по сравнению с синим; 3) для стимулов синего цвета различия на этом участке между сериями А и Б отсутствуют. Таким образом, именно негативный компонент, возникающий за 250–150 мс до нажатия на клавишу, является наиболее вероятным коррелятом извлечения СВЭ из долговременной памяти при наличии конкурирующего задания.

Ранее [7] негативный компонент, предположительно связанный с обращением к долговременной памяти, был обнаружен нами в промежутке между нажатиями на клавишу при отмеривании интервала. Возможно, расхождение полученных данных объясняется разными стратегиями, которые используют испытуемые при отмеривании интервалов времени с выполнением конкурирующего задания разной сложности. В одном случае при формировании двигательной программы обращение к СВЭ происходит в регулируемой паузе между первым и вторым нажатием на клавишу, в другом случае – перед отмериванием предъявленного интервала времени.

Согласно литературным данным, в качестве мозговых структур, участвующих в процессе восприятия времени, рассматриваются гиппокамп [12], базальные ганглии [13], мозжечок, фронтальные и височные зоны коры [2]. Недавние исследования на обезьянах показали, что нейроны теменных областей коры имеют отношение к запоминанию эталонных интервалов времени [14]. В свете этих данных полученные нами результаты диполь-

ной локализации источников ССПМ нуждаются в дополнительной проверке и уточнении.

Выводы

1. Четкие ранние различия ССПМ до 100 мс, связанные с цветом предъявляемого стимула, возникают только в том случае, когда цвет имеет сигнальное значение.

2. Обнаруженные различия ССПМ на участке 350–500 мс от начала зрительного стимула, задаю-

щего интервал для отмеривания, предположительно связаны с анализом сигнальной значимости стимула и выбором моторной программы.

3. Наиболее вероятным коррелятом обращения к долговременной памяти для извлечения СВЭ при наличии конкурирующего задания является негативный компонент, возникающий за 250–150 мс до отмеривания интервала времени. Источник этого компонента находится в теменной части сингулярной коры правого полушария.

Литература

1. Фонсова Н.А., Шестова И.А. Восприятие окосекундных интервалов времени // Биологические науки. 1988. № 3.
2. Hazeltine E., Helmuth L.L., Ivry R. Neural mechanisms of timing. Trends in Cognitive Sciences // 1997. № 1.
3. Ivry R., Mangles J. The many manifestations of a cerebellar timing mechanism. Presented at the Fourth Annual Meeting of the Cognitive Neuroscience Society, 1997, March 23.
4. Paller K.A. Neurocognitive foundation of human memory // In: The philosophy of learning and motivation. 2001, V.40. D.L. Medin (Ed.), Academic Press, San Diego.
5. Schweinberger R.S., Pickering C., Mike Burton A., Kaufmann M. J. Human brain potential correlates of repetition priming in face and name recognition // Neuropsychologia. 2002, V.40.
6. Roesler F., Heil M., Hennighausen E. Distinct cortical activation patterns during long-term memory retrieval of verbal, spatial, and color information // Journal of Cognitive Neuroscience. 1995, № 7.
7. Ходанович М.Ю., Бушов Ю.В., Иванов А.С., Рябова Г.А., Вячистая Ю.В. Отражение процессов актуализации долговременной памяти при отмеривании интервалов времени в характеристиках, связанных с событиями потенциалов мозга у человека // Электронный журнал «Исследовано в России», 2004, 136. <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2004/136.pdf>
8. Delorme A., Makeig S. EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis// Journal of Neuroscience Methods 134 (2004).
9. Kavanagh R., Darccey T.M., Lehmann D., Fender D.H. Evaluation of methods for three-dimensional localization of electric sources in the human brain // IEEE Trans Biomed Eng, 1978.
10. Новикова Л.А., Григорьева Л.П., Толстова В.А., Фурсова А.Е. // Физиология человека. 1979. Т. 5. № 3.
11. Иваницкий А.М. Главная загадка природы: как на основе работы мозга возникают субъективные переживания // Психол. журн. 1999, Т. 20, N 3.
12. Меринг Т.А. О различных формах отражения времени мозгом // Вопр. филос. 1975. № 7.
13. O'Boyle D.J., Freeman J.S., Cody F.W.J. The accuracy and precision of timing of self-paced, repetitive movements in subjects with Parkinson's disease // Brain, 1996, № 119.
14. Leon M.I., Shadlen M.N. Representation of time by neurons in the posterior parietal cortex of the macaque // Neuron, 2003, № 38.

В.А. Чуриков

ОБРАЗ КАК ОСНОВА ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ ПСИХИКИ

Томский экономико-юридический институт

Введение

Было бы наивно полагать, что для всестороннего и глубокого описания психических процессов у человека и животных можно обойтись упрощенными качественными моделями, которые в настоящее время широко используются в психологии. Сюда можно отнести ассоциативную психологию, психоанализ, бихевиоризм, гештальтпсихологию и другие направления.

К. Поппер, основоположник критического рационализма в философии, ввел для анализа научных теорий критерий научности – принцип фальсифицируемости [1], на основе которого он показал, что психоанализ З. Фрейда не является полноценной научной теорией. Возможно, что многие направления в психологии также не удовлетворяют данному принципу, за исключением некоторых, таких как бихевиоризм, нейропсихология и некоторые другие.