

Материалы конференции

**«Интеграция информации в зрительном анализаторе:
от детектора признака к единому зрительному образу»,**
посвященной 85-летию со дня рождения академика

И.А. Шевелева



Конференция будет проходить 9 октября 2017 г. в
конференц-зале ИВНД и НФ РАН (5 эт.)

ул. Бутлерова 5а, Москва

ПРОГРАММА КОНФЕРЕНЦИИ

10:00 – 10:20 Открытие конференции: выступление директора ИВНД и НФ РАН, чл.-корр. РАН, профессора П.М. Балабана

10:20 – 11:00

М. А. Островский, М.П. Кирпичников

ОПТОГЕНЕТИКА И ЗРЕНИЕ

11:00 — 14:00 Заседание I: «От функций одиночного нейрона к модели зрительной коры»
(Устные доклады: 15 минут + 5 минут ответы на вопросы)

Е.М. Максимова

МИКРОЭЛЕКТРОДНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕТИНО-ТЕКТАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ У РЫБ

В.А. Бастаков, В.Ф. Гнубкин, С.Л. Кондрашев, П.В. Максимов, О.Ю. Орлов

КОДИРОВАНИЕ СИГНАЛА О ЦВЕТЕ В ЗРИТЕЛЬНЫХ ВОЛОКНАХ ON-ТИПА ЛЯГУШКИ

И.Н. Пигарев, Е.В. Левичкина

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ К АБСОЛЮТНОЙ ГЛУБИНЕ, ВЫЯВЛЯЕМАЯ В ПЕРВИЧНОЙ ЗРИТЕЛЬНОЙ КОРЕ КОШЕК В ЕСТЕСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ НАБЛЮДЕНИЯ.

И.В. Бондарь, Л.Н. Васильева, Б. Расс, К. Койано, Д.А. Леопольд

ИССЛЕДОВАНИЕ КОДИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ О БИОЛОГИЧЕСКИ ЗНАЧИМЫХ СТИМУЛАХ В НИЖНЕЙ ВИСОЧНОЙ КОРЕ ОБЕЗЬЯН

Е.С. Михайлова, А.В. Славуцкая, Н.Ю. Герасименко

НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОРИЕНТАЦИОННОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ЗРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА

К.А. Салтыков, Н.А. Лазарева, А.С. Тихомиров, М.А.Куликов

ХАРАКТЕРИСТИКИ ON- И OFF-РЕЦЕПТИВНЫХ ПОЛЕЙ В ТРЕХ ГРУППАХ НЕЙРОНОВ ПЕРВИЧНОЙ ЗРИТЕЛЬНОЙ КОРЫ КОШКИ С РАЗЛИЧНЫМ БАЛАНСОМ ВОЗБУДИТЕЛЬНЫХ И ТОРМОЗНЫХ ВЛИЯНИЙ

В.М. Верхлютов, А.В. Чижов

АНАЛИЗ ДВИЖУЩИХСЯ ВОЛН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ ЗРИТЕЛЬНОЙ КОРЫ

А.В. Чижов

ЭФФЕКТ ЗАХВАТА СТИМУЛА, КАЖУЩЕГОСЯ ДВИЖЕНИЯ, ОРИЕНТАЦИОННО-ДИРЕКЦИОНАЛЬНОЙ ИЗБИРАТЕЛЬНОСТИ И САККАД В МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПЕРВИЧНОЙ ЗРИТЕЛЬНОЙ КОРЫ

14:00 — 15:00 Перерыв; представление стендовых докладов

15:00 — 16:00

Maxim Volgushev

PLASTICITY IN VISUAL CORTEX: HOW THE BALANCE OF SYNAPTIC CHANGES IS MAINTAINED?

16:00 — 18:00 Заседание II: Молодежная сессия

(Устные доклады: 15 минут + 5 минут ответы на вопросы)

Н.Ю. Герасименко, А.Б. Киселева, Е.С. Михайлова

ЗАВИСИМОСТЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗРИТЕЛЬНОЙ ПРЯМОЙ МАСКИРОВКИ ОТ СЕМАНТИЧЕСКОЙ БЛИЗОСТИ МАСКИ И ТИПА ВЫПОЛНЯЕМОЙ ЗАДАЧИ

В.В. Козунов, А.Ю. Николаева, Т.А. Строганова

ДВА РАЗЛИЧНЫХ МЕХАНИЗМА ИНТЕГРАЦИИ ЗРИТЕЛЬНЫХ ПРИЗНАКОВ ФОРМИРУЮТ ВОСПРИЯТИЕ ОБЪЕКТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРЕОБЛАДАНИЯ СУБЪЕКТИВНОЙ ЗНАЧИМОСТИ ИЛИ СЕНСОМОТОРНОГО ОПЫТА ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ОБЪЕКТАМИ ДАННОЙ КАТЕГОРИИ

Л.Н. Васильева, И.В. Бондарь, Б. Расс, К. Койано, Д.А. Леопольд

ВЛИЯНИЕ ВОЗРАСТА ИЗОБРАЖАЕМОЙ ОСОБИ И РАЗМЕРА СТИМУЛА НА ПАРАМЕТРЫ ВЫЗВАННЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ В НИЖНЕЙ ВИСОЧНОЙ КОРЕ МАКАКИ

М.А. Шурупова, В.Н. Анисимов, А.В. Латанов

**ОСОБЕННОСТИ СТРАТЕГИИ ПРОСМОТРА СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ
ЗРИТЕЛЬНЫХ СЦЕН ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ КОГНИТИВНЫХ ЗАДАНИЙ**

В.С. Бугрова, И.В. Бондарь

**РАЗЛИЧНАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ ПЕРВИЧНОЙ
ЗРИТЕЛЬНОЙ КОРЫ В ОТВЕТ НА СИСТЕМНОЕ ФАРМАКОЛОГИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ**

В.Н. Анисимов, А.В. Адиатуллин, М.В. Королева, К.М. Колкова, Н.В. Галкина, А.В.Латанов

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЙ ГЛАЗ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВОСПРИЯТИЯ
ЛОГОТИПОВ**

П.М. Есир, М.В. Цодыкс

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ В ПЕРВИЧНОЙ ВИЗУАЛЬНОЙ КОРЕ С
ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИ КОЛЬЦА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЯХ**

18:00 Подведение итогов конференции. Фуршет.

Стендовые доклады:

(Представление стендовых докладов: 9 октября 2017 г., 14:00 — 15:00)

А. Т. Алипер

СТРУКТУРА РЕЦЕПТИВНЫХ ПОЛЕЙ СПОНТАННО АКТИВНЫХ ГАНГЛИОЗНЫХ КЛЕТОК
СЕТЧАТКИ РЫБ

М.В. Константинова, В.Н. Анисимов, Л.В. Терещенко, А.В. Латанов

СВЯЗЬ ЗРИТЕЛЬНОГО ВНИМАНИЯ И СУБЪЕКТИВНОГО ВОСПРИЯТИЯ ВРЕМЕНИ

В.В. Лавров

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ФРАГМЕНТОВ В МАТРИЦЕ ОБРАЗА

А. В. Овчинников

СОМАТОСЕНСОРНЫЕ И ЗРИТЕЛЬНЫЕ ВЫЗВАННЫЕ ПОТЕНЦИАЛЫ НА ПАТТЕРН ДЛЯ
ОЦЕНКИ ПАТОЛОГИЧЕСКОЙ АВТОРИТМИКИ У ЛИЦ С МИОФАСЦИАЛЬНОЙ БОЛЬЮ

О.Ю. Орлов

ДВА УРОВНЯ ИНТЕГРАЦИИ В ИЛЛЮЗИИ ШАРА

Л.В. Терещенко, А.В. Буйневич, В.В. Шульговский, А.В. Латанов

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ АСИММЕТРИЯ ДВИЖЕНИЙ ГЛАЗ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ
ОБЕЗЬЯНАМИ ЗРИТЕЛЬНОВЫЗВАННЫХ САККАД

Оптогенетика и зрение

М. А. Островский, М.П. Кирпичников

*Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН
Институт биоорганической химии им. М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН
Биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова*

Оптогенетика – быстро развивающееся, междисциплинарное направление в биологии. Оно объединяет физиологию, генную инженерию, оптику, и имеет реальную перспективу выхода в медицину. Под оптогенетикой понимается способ регуляции светом физиологической активности клетки с помощью доставленного в неё и экспрессируемого в ней гена свето-активируемого белка. Чрезвычайно полезным для развития оптогенетики оказался опыт, накопленный в области генной терапии. Восстановление зрения (протезирование дегенеративной сетчатки) – первое, наиболее реальное и ближайшее практическое применение оптогенетики в клинической практике (Островский, Кирпичников, 2015а; Кирпичников, Островский, 2015б).

На поздней стадии развития дегенеративного процесса (пигментный ретинит) в настоящее время могут быть протезированы:

- сохранившиеся внутренние сегменты колбочек (Chuong et al., 2014);
- ON-биполярные клетки (*van Wyk et al, 2015; Cehajic-Kapetanovic et al, 2015; Gaub et al, 2015*);
- ганглиозные клетки (*Wu et al, 2013*).

Внутренние сегменты колбочек наименее надёжны для такого протезирования с точки зрения их сохранности в ходе развития дегенеративного процесса; биполярные клетки более надёжны; ганглиозные клетки дегенеративной сетчатки наиболее надёжны для оптогенетического протезирования. При этом следует иметь в виду, что при протезировании ганглиозных клеток теряется обработка информации на всех вышележащих уровнях сетчатки.

Светочувствительные «инструменты» оптогенетического протезирования могут быть различными. Наиболее перспективны из них – это родопсины. Среди них в первую очередь это:

- катионные каналные родопсины (ChR2) из одноклеточной хлорофитовой (зелёной) водоросли *Chlamydomonas reinhardtii* (деполяризующие мембрану клетки (*Sineshekov et al, 2002; Wu et al, 2013*)) и анионные каналные родопсины (ACR) из одноклеточной криптофитовой водоросли *Guillardia theta*, деполяризующие мембрану клетки (*Govurunova et al., 2015; Sineshekov et al., 2015; Dolgich et al., 2015; Malyshev et al., 2017*);
- химера Opto-mGluR6, состоящая из светочувствительного домена меланопсина и ON-биполяр-специфичного метаботропного глутаматного рецептора mGluR6 (*van Wyk et al, 2015*);

– собственно родопсин палочек сетчатки человека (*Cehajic-Kapetanovic et al, 2015; Gaub et al, 2015*).

Катионный и анионный каналные родопсины хлорофитовых и криптофитовых одноклеточных водорослей наиболее реальные, на сегодняшний день, «инструменты» для оптогенетического протезирования ганглиозных клеток. Располагая двумя каналными родопсинами – катионным (ChR2) и анионным (ACR), становится возможным создание эффективного ON-OFF рецептивного поля ганглиозной клетки дегенеративной сетчатки (Долгих и др, 2015; Malyshev et al, 2017).

Насущными задачами для успешного протезирования дегенеративной сетчатки с помощью методов оптогенетики являются:

- оптимизация параметров катионных и анионных каналных родопсинов (световой чувствительности, проводимости, времени жизни, спектров поглощения);
- повышение уровня их экспрессии в клетке;
- поиск специфических промоторов для субпопуляций (ON, OFF, ON-OFF) ганглиозных клеток, а также субпопуляции OFF-биполярных клеток;
- возможное восстановление, вслед за монохроматическим, цветового зрения, используя спектрально отличающиеся каналные родопсины или другие оптогенетические «инструменты»;
- использование адено-ассоциированного вируса, разрешённого FDA США для генной терапии в офтальмологии и клинических испытаний оптогенетического протезирования дегенеративной сетчатки с помощью одного только каналного родопсина (ChR2) (<http://retrosense.com>), для клинических испытаний оптогенетического протезирования ганглиозных клеток (пигментный ретинит) с помощью двух каналных родопсинов – биоинженерно улучшенных катионных \ChR2\ и анионных \ACR\ родопсинов.

Опыты на животных (как правило, трансгенные мыши с пигментным ретинитом) не позволяют оценить качество восстановленного зрения. Для этого требуются клинические испытания. Авторы ведущихся сейчас в США клинических испытаний полагают, что, в случае успеха оптогенетического протезирования ганглиозных клеток дегенеративной сетчатки, пациенты смогут различить предметы (стол и стулья). Успехи в электронном протезировании зрения (система Argus II), когда пациенты различают буквы и простые зрительные сцены, свидетельствуют об поистине безграничной пластичности мозга, и позволяют надеяться на клинический успех оптогенетического протезирования дегенеративной («слепой») сетчатки.

Микроэлектродное исследование ретино-тектальной системы у рыб

Е.М. Максимова

Институт проблем передачи информации им. А.А.Харкевича РАН, Москва

maximova@iitp.ru

Единство плана строения и развития зрительной системы у позвоночных и беспозвоночных животных во многом определяет и единообразие первичной обработки зрительного изображения. У разных видов позвоночных одинаково число морфофизиологических типов ганглиозных клеток (ГК) - выходных нейронов сетчатки (двадцать), одинаково и число первичных зрительных центров (десять), построенных по принципу экранных структур. Степень их развития и мощность афферентации, однако, различна у разных животных. У рыб главным первичным зрительным центром является тектум оптикум (ТО), куда приходит 98% всех зрительных волокон от ГК разных типов, которые распределяются там ретинотопически на шести уровнях ретинореципиентного слоя, где контактируют с дендритами нейронов собственно ТО. Мы регистрировали экстраклеточно одиночные реакции в ТО живой рыбы микроэлектродами (по Джестеленду) с платиновой шляпкой 5μ. Компьютеризованная установка для стимуляции, регистрации и обработки результатов создана в нашей группе В.В. и П.В. Максимовыми.

В ТО карася было исследовано 13 типов ретинальных элементов: 6 типов дирекционально избирательных, 2 типа ориентационно избирательных, 2 типа детекторов пятна и 2 типа элементов со спонтанной активностью, усиливающейся потемнением или посветлением. При погружении микроэлектрода перпендикулярно поверхности ТО реакции разных типов отводятся всегда на соответствующих глубинах в выше упомянутом порядке, а их рецептивные поля, размером 4.5°, либо совпадают, либо незначительно смещены друг относительно друга. Кроме того, исследованы реакции четырех типов дирекционально избирательных нейронов собственно ТО. Одновременная регистрация (при одном положении микроэлектрода) одиночных реакций от аксональных окончаний двух ГК или ГК и нейрона позволяют «увидеть» их взаиморасположение и задуматься о возможной функциональной связи. Наши электрофизиологические данные во многом подтверждены результатами, полученными на мальках *Danio rerio* методом Ca⁺⁺ имаджинга и генетического мечения методом Brainbow. Зрительная система рыб, доступная для независимых исследований разными методами, интересна не только сама по себе, но и как удобный модельный объект.

Кодирование сигнала о цвете в зрительных волокнах оп-типа лягушки

В.А. Бастаков¹, В.Ф. Гнубкин², С.Л. Кондрашев³, П.В. Максимов¹, О.Ю. Орлов¹

¹ *Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича, РАН, Москва;*

² *Карадагский морской заповедник, Республика Крым;*

³ *Институт биологии моря им. А.В. Жирмунского, ДВО РАН, Владивосток.*

graf@iitp.ru (О.Ю. Орлов).

Цветовое зрение многих видов бесхвостых амфибий проявляется в ряде врожденных форм поведения, из которых особенно широко известно и изучено предпочтение голубого света в положительном фототаксисе. Особенно же четко выражено цветовое предпочтение самцами травяной лягушки и серой жабы в брачный период в отношении моделей самок, которое до сих пор остаётся практически не известным для зарубежных биологов. Сопоставление привлекательности разноокрашенных моделей позволяет оценить участие фоторецепторов разных спектральных классов в этом выборе, и дать этому количественные оценки (коэффициенты их участия в конечном эффекте). Самцы травяной лягушки предпочитают красные или оранжевые модели, что в известной мере соответствует природной брачной окраске самок; в отличие от них, самцы серой жабы явно предпочитают синие модели. Хотя такое предпочтение не находит никакого естественного объяснения в окраске самок жаб в брачный период, их самцы представляют собой идеальный объект исследования, поскольку, в отличие от лягушки, демонстрируют эту форму целостного поведения в контролируемых лабораторных условиях, и по отношению к неподвижным стимулам. В целом, это позволило количественно оценить роль синечувствительных фоторецепторов – так называемых зеленых палочек, в данной форме цветового предпочтений самцов жаб.

Понятно, что это интегральное поведение опирается на ретинальную афферентацию, и роль проекции волокон ON-типа в ядро Беллончи (дорзального таламуса) в предпочтении голубого света в положительном фототаксисе лягушек хорошо известна. Для расширения сведений о цветокодировании в волокнах этого типа, в опытах с отведением ответов одиночных элементов из дорзального таламуса регистрировали залпы импульсов в ответ на разнообразные смены мониторных цветов (так называемый «цветовой сдвиг» - color shift – в трехмерной цветовой пространстве лягушки). Существенно, что характерные особенности паттернов воспроизводимы от опыта к опыту, и от особи к особи, на большом интервале времени исследования. Надежно показана монотонность изменения паттерна залпа импульсов при постепенном изменении любого из многих испробованных типов модификации стимула. В целом это позволяет уверенно говорить о наличии «метрики» - регулярной и воспроизводимой зависимости залпа импульсов от факторов возбуждения приемников в волокнах данного типа.

Чувствительность к абсолютной глубине, выявляемая в первичной зрительной коре кошек в естественных условиях наблюдения

И.Н. Пигарев¹, Е.В. Левичкина^{1,2}

¹*Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН, Москва, Россия.*

²*Отдел оптометрии и зрения. Университет Мельбурна, Австралия.*

Механизмы трехмерного зрения, исследованные у людей и животных, позволяли определить расстояние до объекта или относительно плоскости фиксации взора, или относительно положения других объектов в зрительной сцене. Очевидно, что для эффективного представления трехмерного окружения, дающего представление об абсолютных расстояниях до окружающих объектов, в зрительной системе должны работать дополнительные механизмы константности восприятия глубины. Нейроны со свойствами, отражающими отдельные черты константности глубины, были описаны в теменной коре и экстрастриарных затылочных зрительных зонах. Также было показано, что и в первичной зрительной коре - зоне V1, ответы некоторых нейронов на стимулы постоянных угловых размеров менялись в зависимости от абсолютного расстояния до глаз животного.

В настоящей работе выясняли, не появятся ли в первичной зрительной коре нейроны с настройкой на абсолютную глубину в условиях применения зрительных сцен, реально расположенных на разных расстояниях от поведенчески активного животного и при сохранении естественных движений глаз. Активность нейронов первичной зрительной коры регистрировали у кошек с безболезненно фиксированной головой, сидящих на тележке перед большим экраном. Тележка медленно приближалась к проецируемым на всю поверхность экрана синусоидальным решеткам. Каждый нейрон тестировали при приближении тележки к двум решеткам, пространственные частоты которых отличались в два раза.

Если нейрон коры обладал предпочтением к частоте решетки, проецируемой на рецептивное поле сетчатки глаза, его активность должна иметь четкий максимум на определенном расстоянии животного от экрана. После увеличения пространственной частоты решетки вдвое расстояние до точки с максимальным ответом в силу геометрических соображений должно сократиться в два раза. Для нейронов, избирательных к абсолютной глубине, при смене решеток расстояние до точки максимального ответа должно остаться неизменным. В наших условиях 20% нейронов зоны V1 демонстрировали избирательность к абсолютному расстоянию, независимо от пространственной частоты предъявляемых решеток.

Исследование кодирования информации о биологически значимых стимулах в нижней височной коре обезьян

И.В. Бондарь¹, Л.Н. Васильева¹, Б. Расс², К. Койано², Д.А. Леопольд²

¹*Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, Москва*

²*Национальный институт психического здоровья, Бетезда, США*

bondar@ihna.ru

Нижняя височная кора приматов представляет собой область мозга, которую связывают с распознаванием сложных зрительных образов и, в частности, лиц. Ранее с помощью метода стабильной регистрации было показано, что нейроны одного из таких узлов (AF) сохраняют стабильный ответ на хорошо знакомые животному стимулы. В настоящей работе с помощью хронически имплантированных множественных микроэлектродов мы регистрировали у трех обезьян нейрофизиологический сигнал в подобластях нижней височной коры в ответ на предъявление набора зрительных стимулов, несущих социальную информацию.

Набор стимулов представлял собой изображения с социальным контекстом: груминг, агрессия, игра и др. В общей сложности использовали 120 цветных изображений животных, которые предъявляли обезьяне в течение 5 последовательных дней. В среднем, каждый стимул был предъявлен около 30 раз в каждый из экспериментальных дней. Во время эксперимента бодрствующая обезьяна должна фиксировала взор на центральной точке, появляющейся на экране, вслед за которой предъявляли зрительные стимулы. Успешную и длительную фиксации подкрепляли соком.

Для сравнения между категориями стимулов для каждого животного индивидуально были выбраны разные компоненты ВП, выявленные в разные промежутки прошедшего с момента начала зрительной стимуляции времени. У трех обезьян были обнаружены по временные участки ВП, на которых были найдены значимые различия в амплитуде ВП в ответ на изображения детенышей. В сообществах приматов детеныши и самки обладают особым статусом, и такое поведение должно быть обеспечено определенными нейронными сетями, позволяющими определять возраст и иерархический статус особи в стае. По всей видимости, именно в нижней височной коре происходит обработка информации о возрасте других обезьян.

Полученные на основе вызванных потенциалов данные были подтверждены и на уровне одиночных нейронов. Ответы нервных клеток коррелировали с такими параметрами зрительного стимула, как возраст, размер изображения и цветность. Можно предположить, что клетки разных узлов обработки информации о лицах могут реагировать не только на социальный статус, но и на удаление определенной особи от наблюдателя.

Нейрофизиологическое обеспечение ориентационной чувствительности зрительной системы человека

Е.С. Михайлова, А.В. Славуцкая, Н.Ю. Герасименко

Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, Москва

В зрительном мире фрагменты линий являются базисными признаками большинства объектов, поэтому их быстрое и надежное выделение важно для опознания изображения. Вопрос о центральных механизмах ориентационной чувствительности человека остается во многом открытым. И хотя результаты поведенческих работ указывают на возможность существования в зрительной системе человека механизма аналогичного тому, который есть в мозге животных, реальные экспериментальные подтверждения этого в современной нейрофизиологии практически отсутствуют.

В лаборатории физиологии сенсорных систем ИВНД и НФ РАН для анализа центральных механизмов ориентационной чувствительности зрительной системы человека был разработан комплексный подход, включающий анализ ЭЭГ высокой плотности и моделирование распределенных внутримозговых дипольных источников электрической активности. Получены новые сведения о центральных механизмах переработки информации об ориентации линий у человека. Показано, что в сенсорный этап вовлечена широкая сеть корковых структур, включающая, помимо затылочной, нижнетеменную и височную области коры. Ранние ориентационно-селективные ответы обнаружены в структурах, связанных навигационным поведением (энторинальная, парагиппокампальная и цингулярная области), что указывает на важность учета ориентационных характеристик для организации этой функции. Более поздний, когнитивный, этап переработки ориентаций характеризуется высоким уровнем активации префронтальных отделов коры (ПФК) и наличием там ориентационно - селективных ответов, что связано с локализацией в ПФК механизмов пространственной памяти и пространственных референтных систем. Показано, что нейрофизиологический коррелят “oblique” эффекта пластичен и характеризуется более высоким корковым ответом на наклонные ориентации на раннем этапе, а на более позднем - доминированием ответов на базовые ориентации. Выявлено, что в основе различий пространственных способностей и ориентационной чувствительности у мужчин и женщин лежат особенности центральных механизмов обработки этого вида информации. Полученные данные значительно расширяют сведения о системе структур мозга, обеспечивающей ориентационную чувствительность человека, подтверждают высокую экологическую значимость ориентационных характеристик, которые учитываются при формировании программ различных форм зрительного поведения.

Исследование поддержано грантами РГНФ №12-36-01291-а, РФФИ №14-04-00706, Программой ОФФМ РАН «Интегративная физиология».

Характеристики on- и off-рецептивных полей в трех группах нейронов первичной зрительной коры кошки с различным балансом возбуждательных и тормозных влияний

К.А. Салтыков, Н.А. Лазарева, А.С. Тихомиров, М.А.Куликов

Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, Москва

Для изучения организации *on*- и *off*- рецептивных полей (РП) нейронов первичной зрительной коры кошки использовались два типа тестирования: небольшими вспыхивающими световыми пятнами (классическое картирование) и при сопровождении такого тестирования дополнительной активацией возбуждательного центра РП осциллирующей решеткой (сочетанное картирование). При помощи иерархического кластерного анализа и процедуры многомерного шкалирования показано, что исходная популяция нейронов неоднородна и в ней выделяются три группы, которые существенно различаются по характеру возбуждательно-тормозного взаимодействия.

Для РП нейронов первой группы характерно преобладание возбуждательных процессов над тормозными, а для РП нейронов второй группы, наоборот, тормозных процессов над возбуждательными. У нейронов этих групп относительно высокая степень консолидации (удельный вес) возбуждательных и тормозных зон РП, которая имеет сходные значения у *on*- и *off*-возбуждательных зон нейронов каждой группы при двух типах картирования, но выше у *on*-, чем у *off*- тормозных зон при сочетанном картировании. Нейроны третьей группы отличаются от нейронов первой и второй групп сбалансированностью возбуждательно-тормозного взаимодействия и низкой консолидацией как возбуждательных, так и тормозных зон РП при двух типах картирования.

Настоящее исследование показало, что нейроны каждой из трех групп характеризуются сходной трансформацией структуры их рецептивных полей при сочетанном картировании, что позволяет предположить различные для каждой группы механизмы горизонтального взаимодействия нейронов.

Анализ движущихся волн с использованием модели зрительной коры

В.М. Верхлютов¹, А.В. Чижов²

¹*Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, Москва*

²*Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе РАН, С.-Петербург*

Движущиеся волны (TW - traveling waves) мозга наблюдали у различных животных, включая беспозвоночных, оптическими и электрическими методами (Delaney K.R. et al., 1994; Wu J.Y. et al., 2014). У приматов и человека в коре головного мозга зарегистрированы TW со скоростью порядка 0.2 м/с (Rubino D. et al., 2006, Takahashi K. et al., 2011). При анализе ЭЭГ человека показано, что динамика распределений потенциалов на скальпе может отражать перемещение TW по сложной складчатой поверхности коры головного мозга (Верхлютов В.М., 1996; Hindriks R. et al., 2014) и скорость распространения этих TW соответствует экспериментальным данным, полученным при непосредственной регистрации от поверхностных слоёв коры. Недостатком прямой регистрации TW матрицами микроэлектродов является невозможность полностью восстановить структуру волн и обнаружить их эпицентр (Martinet L.E. et al., 2017). Совмещение нейросетевой модели и модели распространения TW по поверхности коры головного мозга человека может помочь в локализации эпицентров эпилептической активности при нейрохирургических вмешательствах и решить сложную задачу нейровизуализации локальных потенциалов коры на относительно больших площадях неинвазивными методами. Однако, при нейросетевом моделировании получены TW со скоростями не более нескольких сантиметров в секунду (Чижов с соавт., 2016).

Для анализа TW использовали пространственно-распределённую биофизически детальную популяционную модель кусочка зрительной коры (3,2*6,4 мм) на основе рекуррентно возбуждающихся нейронов типа Ходжкина-Хаксли (Chizhov A.V., 2014). В данном случае была включена только одна возбуждающая популяция нейронов с NMDA-рецепторами. Моделировали волны инициированные 1 и 2 стимулами при разных значениях синаптической проводимости и поперечного профиля. На модели удалось воспроизвести различные конфигурации волн, такие как, циркулярные, плоские и спиральные. Для циркулярных и плоских волн скорость распространения достигала 0,5 м/с.

Работа поддержана РФФИ, проекты № 17-04-02211а, 15-29-01344офи_м.

Эффект захвата стимула, кажущегося движения, ориентационно-дирекциональной избирательности и саккад в математической модели первичной зрительной коры

А.В. Чижов^{1,2}

¹*Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова Российской академии наук,* ²*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия,*

e-mail: anton.chizhov@mail.ioffe.ru

Ответы первичной зрительной коры на зрительные стимулы выявляют ряд эффектов, отражающих характер обработки информации. Непротиворечивое описание механизмов этих эффектов является актуальной задачей. Этой цели служит описание в рамках единой математической модели множества данных, полученных в различных экспериментальных условиях *in vivo* и на переживающих срезах. Предлагаемая математическая модель обеспечивает биофизически-подробное описание механизмов работы первичной зрительной коры в терминах активности нейрональных популяций и на основе модели одиночной популяции, выведенной для нейронов типа Хождкина-Хаксли (conductance-based refractory density – CBRD-подход). На основе CBRD-подхода построена комплексная модель коры как слоистого гетерогенного континуума с учётом структуры ориентационных гиперколонок. Модель воспроизводит ряд известных экспериментальных внутриклеточных и оптических записей в первичной зрительной коре кошек и обезьян, в частности: эффекты настройки на ориентацию и направление движения элементов зрительного стимула; эффект удержания активности, вызванной кратким стимулом; эффект кажущегося движения стимула; и влияние саккадического перемещения стимула на характер спайковой активности. Согласно модели, наиболее важным фактором проявления эффектов выступает сила возбуждающих внутрикорковых связей.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований с грантов 15-04-06234а и 17-04-02211а.

Plasticity in visual cortex: how the balance of synaptic changes is maintained?

Maxim Volgushev

*University of Connecticut, Storrs CT, USA
& Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology RAS, Moscow, Russia.*

Visual cortex is plastic – both during development when neuronal networks for processing signals from visual environment are formed, and over the lifetime as visual system learns to recognize new stimuli. Cellular mechanism of the refinement of connectivity during development and future learning is Hebbian-type associative synaptic plasticity. However, Hebbian learning rules introduce a positive feedback on changes of synaptic weights and neuronal activity, making learning systems prone to runaway dynamics. Further, Hebbian learning rules do not reinforce synaptic competition, necessary for establishing selective connectivity in development. The need for mechanism(s) which constrain the tendency for runaway dynamics and reinforce synaptic competition has been well-articulated by theoretical and modeling studies. However, biological basis of such mechanisms remains elusive.

In my talk I will consider several biological candidate mechanisms to serve these roles, such as homeostatic synaptic scaling, heterosynaptic depression, heterosynaptic weight-dependent plasticity, and compare properties of these diverse forms of plasticity observed in experiments to the requirements identified in theoretical and modeling studies.

I will argue that a novel form of heterosynaptic plasticity – weight-dependent heterosynaptic plasticity – represents a strong candidate to fulfill theoretically predicted roles of maintaining synaptic homeostasis and reinforcing synaptic competition. This form of heterosynaptic plasticity requires raises of intracellular calcium concentration in the postsynaptic neuron, but does not require activity at the presynapse for the induction. It can be induced by conventional protocols used for the induction of associative plasticity, such as spike-timing dependent plasticity (STDP). It is weight-dependent: synapses with initially low release probability tend to potentiate, while synapses with initially high release probability tend to be depressed.

Finally, I will discuss how modulation of heterosynaptic plasticity may help to maintain homeostasis on a longer time scale during sleep-wake cycle. I will present experimental evidence for modulation of heterosynaptic plasticity by adenosine, one of the factors mediating sleep pressure, and results of computer simulations showing how this modulation may switch the mode of operation of neurons between an unbalancing regime, which is dominated by associative plasticity and supports drastic changes of synaptic weights, and a homeostatic regime of tightly constrained synaptic changes.

Зависимость эффективности зрительной прямой маскировки от семантической близости маски и теста и типа выполняемой когнитивной задачи

Герасименко Н.Ю., Киселева А.Б., Михайлова Е.С.

Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, Москва

Одним из важных моментов обработки в мозге человека информации, поступающей из внешнего мира, и формирования правильного поведения является четкое разделение значимых и незначимых сигналов. Прямая зрительная маскировка – эффективный метод исследования влияния предшествующей нерелевантной информации на опознание значимого стимула. Цель настоящей работы - анализ зависимости поведенческих и нейрофизиологических показателей опознания человеком сложных зрительных изображений от степени семантической близости целевого и маскирующего изображений, а также характера выполняемой задачи.

Исследование состояло из двух серий экспериментов. В первой испытуемые опознавали черно-белые контурные изображения животных и предметов, которым предшествовали изображения-маски, категориально сходные или отличные от тестового. Регистрировали время реакции, точность опознания и зрительные ВП в 32 отведениях. Показано, что при категориальном сходстве тестового стимула и маски значимо снижается точность опознания, возрастает время реакции и его дисперсия. Такое ухудшение опознания тестового изображения сопровождалось снижением амплитуды $N2$ и $P3$ компонентов ВП. Для более раннего компонента $N2$ эффекты локализовались преимущественно в передних отделах коры, а позже, во временном окне компонента $P3$, изменения были более отчетливы в центрально-теменных и теменных областях.

Во второй серии сравнивали влияние категориальной близости маски и стимула на поведенческие параметры опознания при категоризации изображений на базовом и суперординатном уровнях. Окружающие нас предметы могут быть отнесены одновременно к категориям разного иерархического уровня. Например, изображение собаки на базовом уровне будет опознаваться как собака, а на суперординатном уровне как животное. В качестве масок и тестовых стимулов использовали черно-белые фотографии животных и предметов. При задаче базовой категоризации испытуемый опознавал четыре тестовых изображения, а при суперординатной – относил изображение к неодушевленным предметам или к животным. Регистрировали правильность ответа и время реакции. Эффективность прямой маскировки зависела от типа выполняемой задачи: при опознании на базовом уровне наибольший маскирующий эффект оказывала маска принадлежавшая к той же категории (животные для животных и предметы для предметов), а при опознании на суперординатном уровне, напротив, категориальная близость облегчала опознание. Полученные результаты согласуются с данными, представленными в исследовании Tanaka (1999) о различной локализации в коре мозга процессов, лежащих в основе базовой и суперординатной категоризации.

Работа поддержана грантом РФФИ № 15-06-08447.

Два различных механизма интеграции зрительных признаков формируют восприятие объекта в зависимости от преобладания субъективной значимости или сенсомоторного опыта во взаимодействии с объектами данной категории

В.В. Козунов, А.Ю. Николаева, Т.А. Строганова

Научно-образовательный центр нейрокогнитивных исследований (МЭГ-центр), Москва

Механизмы мозга, которые связывают отдельные признаки сенсорного входа в осмысленный образ, зависят от предшествующего опыта взаимодействия с объектом и характеризуются отличиями в нейронной активности для различных категорий объектов. Недавние исследования с использованием репрезентативного анализа сходства (RSA) позволили определить пространственные паттерны активности мозга при восприятии отдельных категорий объектов, а также определить моменты времени, когда категориальная структура возникает в нейронных репрезентациях. Однако, никогда эти задачи не решались одновременно в рамках одного эксперимента.

В данной работе мы использовали адаптированный нами для применения к магнитоэнцефалографическим (МЭГ) данным метод многомерной классификации пространственно-временных паттернов активности в сочетании с RSA для выделения и изучения характеристик качественно различных этапов мозговой обработки зрительного входа. Нашей целью было разделение отличий при восприятии объектов из двух различных категорий на связанные с этапом формирования смысловой структуры и с более поздними стадиями обработки, ассоциированными с оперированием смысловой информацией.

Мы определили временные границы трех этапов обработки в мозге, соответствующие низкоуровневой обработке, связыванию отдельных признаков в осмысленный образ и «супра-категориальному» этапу. Специфические для формирования категории лиц пространственно-временные паттерны были обнаружены в затылочно-теменных областях вентрального зрительного пути исключительно во временном окне этапа связывания признаков. Напротив, специфичная для инструментов активность была найдена как на этапе категоризации, так и на более позднем этапе. В пределах этапа связывания признаков данная активность была найдена на межтеменной борозде (IPS) левого полушария и была задержана во времени относительно активности специфичной для лиц.

Кроме того, мы обнаружили, что специфическая для лиц активность в вентральных областях усиливалась в ходе перцептивного обучения по мере многократного повторения соответствующих стимулов. Напротив, специфическая для инструментов активность в дорзальном регионе снижалась в процессе предъявления повторяющихся стимулов. Наши результаты свидетельствуют о существовании двух механизмов связывания, локализованных в разных областях мозга и обладающих различной динамикой нейронных сетей, которые определяют интеграцию зрительных признаков в целостный объект в зависимости от преобладания субъективной значимости (лица) или сенсомоторного опыта (инструменты) во взаимодействии с объектами данной категории.

Влияние возраста изображаемой особи и размера стимула на параметры вызванных потенциалов в нижней височной коре макаки

Васильева Л.Н.¹, Расс Б.², Койано К.², Бондарь И.В.¹, Леопольд Д.²

¹ *Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии Российской академии наук, лаборатория физиологии сенсорных систем, Москва, Россия*

² *Национальный институт психического здоровья, Бетесда, США*

Нижняя височная кора считается высшим сенсорным центром обработки информации о лицах в мозге приматов. В ней насчитывается несколько функционально обособленных участков, которые активируются в ответ на изображения лиц сильнее, чем на изображения других объектов. Лица являются особой категорией стимулов для социальных животных. В настоящем исследовании мы решили изучить роль трех функциональных участков нижней височной коры в обработке социальной информации. В данной работе были задействованы 3 макаки-резуса (1 самец, 2 самки), которым предъявляли два набора стимулов по 120 изображений. Первый набор стимулов состоял из изображений с социальным содержанием: лица взрослых макак, лица детенышей макак, обезьяны играют, агрессивное поведение и т.д. Во второй набор входили изображения лиц макак разного размера (3.8, 7.7 и 15.3°) и разного возраста (взрослые, подростки, детеныши). В ответ на предъявление изображений был зарегистрирован нейрофизиологический сигнал в нижней височной коре каждого животного, который был потом подвергнут частотной фильтрации в диапазоне 1-100 Гц для получения зрительных вызванных потенциалов (ЗВП). Были получены средние формы ЗВП для каждого стимула и с ними проводили последующие стадии анализа. На основании анализа данных по набору стимулов с социальной информацией был сделан вывод о том, что лица взрослых макак и детенышей вызывают другой ответ, нежели другие стимулы с социальным содержанием. Чтобы исследовать влияние возраста изображаемой особи на параметры ЗВП, нами был проведен предварительный выбор компонента ЗВП с помощью парных сравнений. Наш выбор пал на компонент 140 мс после предъявления стимула, амплитуду которого мы взяли в качестве зависимой переменной для дисперсионного анализа с двумя факторами (возраст изображаемой особи и размер стимула). Дисперсионный анализ показал, что и размер стимула, и возраст изображаемого животного достоверно влияют на амплитуду исследуемого компонента. Изображения большего размера вызывают увеличение амплитуды данного компонента, и предъявление изображений детенышей вызывает увеличение амплитуды компонента по сравнению с изображениями взрослых макак.

Особенности стратегии просмотра статистических и динамических зрительных сцен при выполнении когнитивных заданий

М.А. Шурупова, В.Н. Анисимов, А.В. Латанов

Биологический факультет МГУ, кафедра высшей нервной деятельности, Москва
shurupova.marina.msu@gmail.com

Тесная взаимосвязь между параметрами движений глаз, ментальной задачей и зрительным вниманием была замечательно продемонстрирована еще в первых работах по изучению движений глаз Г. Бузвеллом (Buswell, 1935) и А.Л. Ярбусом (1961). К настоящему времени проведен широкий ряд исследований по изучению закономерностей функционирования зрительной системы при просмотре зрительных сцен, как статических (СтС) (Mills et al., 2011) так и динамических (ДинС), хотя в случае ДС таких исследований крайне мало (Dorr et al., 2010). Было показано, что при просмотре СтС при выполнении когнитивного задания, длительности фиксации становятся короче, а амплитуды саккад возрастают по сравнению со свободным просмотром той же сцены (Smith, Mital, 2013). Наряду с этим, при просмотре сцен выделяют две моды зрения - амбьентную (АМ) и фокальную (ФМ), характеризующиеся определенным соотношением параметров фиксации и саккад: при АМ – короткие фиксации и длительные саккады, а при ФМ – длительные фиксации и короткие саккады (Unema et al., 2005).

Исследовали параметры движений глаз при просмотре 3-х СтС и 3-х ДинС в двух вариантах просмотра – свободном, без задания (СП) и просмотром с когнитивным заданием, например, определить историческую эпоху (ПЗ). В исследовании участвовало 25 испытуемых в возрасте 19-25 лет. Движения глаз регистрировали с использованием высокочастотной цифровой видеокамеры FastVideo (250 Гц).

Мы выявили достоверное уменьшение длительностей фиксации при ПЗ по сравнению с СП для всех когнитивных заданий как для СтС, так и для ДинС ($p < 0,01$), а также достоверное увеличение амплитуд саккад при выполнении одного когнитивного задания для СтС и ДинС ($p < 0,005$). Кроме того, по соотношению параметров длительностей фиксации и амплитуд саккад при ПЗ мы выявили АМ и ФМ как для СтС, так и для ДинС. Таким образом, нам удалось показать значительное влияние когнитивного задания на параметры движений глаз при просмотре как СтС, так и ДинС. Уменьшение длительности фиксации и увеличение амплитуды саккад свидетельствуют о поисковой стратегии испытуемых при сканировании зрительной сцены с целью выполнения задания. Выраженность АМ, обеспечивающей зрительный поиск при ПЗ, отражает процессы глобального зрительного сканирования, которые вовлекаются при выполнении когнитивного задания, в то время как при СП, по-видимому, происходит относительно независимая смена мод зрения.

Различная стабильность функциональных модулей первичной зрительной коры в ответ на системное фармакологическое воздействие

В.С. Бугрова, И.В. Бондарь

Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, Москва

Адаптация нейронных сетей к постоянно меняющимся условиям зрительного окружения активно является предметом интенсивных исследований, однако в настоящее время все еще остается много открытых вопросов. Основной целью данной работы было изучение стабильности функциональных модулей первичной зрительной коры при дополнительном введении пропофола на фоне постоянной перфузии. В работе было проведено сравнение стабильности функциональных колонок нейронов с различными ориентационными и дирекциональными настройками.

Эксперименты проведены на 7 взрослых кошках. В качестве анестетика системного действия использовали пропофол. Для исследования стабильности функциональных карт, дополнительно краткосрочно вводили пропофол в условиях стабильного уровня анестезии. Длительность одного эксперимента составляла 60 минут. В качестве стимула использовали решетки пространственной частотой 0.2 цикла/градус и контрастом 100%. Через пятнадцать минут после начала эксперимента однократно инфузировали дозу пропофола (2-4 мг/кг). Регистрацию оптического сигнала продолжали еще 45 минут.

Для обработки экспериментальных данных использовали анализ Фурье, позволяющий надежно выделять картирующий сигнал из совокупности периодических сигналов. Поточечный и развернутый во времени анализ полученных в ходе эксперимента изображений позволяет строить фазовые и амплитудные функциональные карты коры. В зависимости от типа стимуляции и методов обработки экспериментальных данных на фазовых картах зрительной коры выделяют функциональные модули, задействованные в анализе информации об ориентации стимула или направлении его движения.

Полученную часовую запись разбивали на отрезки по 10 минут, получая таким образом 6 усреднённые амплитудные карты, соответствующие определенному этапу эксперимента в зависимости от момента введения дополнительной дозы пропофола (две карты за 15 минут до введения и четыре карты после введения с интервалом в 10 минут). На полученных амплитудных картах выделяли области интереса (ОИ) фиксированного размера в полях 17 и 18, которые соответствовали функциональным модулям. Количество ОИ было не регламентировано и варьировалось индивидуально у каждого животного (в среднем около 40).

Для каждой области интереса вычисляли среднюю амплитуду ответа. Затем определяли отношение средней амплитуды ответа в карте к средней амплитуде ответа первой карты, полученной до однократного введения пропофола в каждой области интереса. Данные были получены отдельно для ориентационных и дирекциональных популяций нейронов. Через 15 минут после введения анестезирующего агента, мы видим падение активности на 25-30%. Позднее начинается медленное восстановление активности, которое продолжается еще и через 1 час после введения пропофола. Далее мы провели сравнение снижения амплитуды ответа на дирекциональных и ориентационных картах, и обнаружили большее падение интенсивности ответа на дирекциональных картах, что говорит о меньшей стабильности нейронов, чувствительных к движению.

Использование параметров движений глаз для оценки восприятия логотипов

В.Н. Анисимов^{1,2}, А.В. Адиатуллин², М.В. Королева², К.М. Колкова², Н.В. Галкина², А.В.Латанов¹

¹ *Кафедра высшей нервной деятельности, биологический факультет, МГУ им. М.В. Ломоносова*

² *АО Нейротренд*

Зрительные объекты составляют значительную часть создаваемой человеком окружающей среды, в том числе в экономической сфере, где логотип формирует целевое отношение к бренду и оказывает значительное влияние на продвижение компании на рынке. Одной из актуальных задач в современных маркетинговых исследованиях является разработка научных инструментальных подходов для изучения особенностей восприятия визуальной маркетинговой продукции, в частности, логотипов и влияния этих особенностей на формирование лояльности к бренду. Для этой цели широко применяется метод айтрекинга с последующим анализом параметров движений глаз, отражающих процессы зрительной обработки.

Нами проведено два эксперимента по исследованию восприятия неизвестных респондентам логотипов в различном аудиовизуальном контексте на основе параметров движений глаз.

1. При просмотре испытуемыми (8 респондентов) документального фильма с видами природы предъявляли 20 логотипов с экспозицией по 6 с каждый. После просмотра фильма с 20 логотипами испытуемым предъявляли 60 логотипов (20 виденных ранее и 40 незнакомых). Выявлены значимые различия между логотипами, виденными ранее, и незнакомыми логотипами по числу зрительных фиксаций (медианы 5 против 4, соответственно, различия по критерию Манна-Уитни - $U=2.1$, $p=0.035$) и по общей продолжительности фиксации взора на них (1400 против 1256 мс, $U=2.21$, $p=0.028$).

2. При просмотре испытуемыми (50 респондентов) видеоматериалов выступлений политиков предъявляли 20 логотипов с экспозицией по 6 с каждый. На основании отчетов испытуемых логотипы были разделены на 2 группы – запомненные и незапомненные. Выявлены значимые различия (по критерию Манна-Уитни) между запомненными и незапомненными логотипами по числу коротких (<180 мс, 5.8 против 5.2, $U=3.4$, $p=0.001$) и длительных (>180 мс, 11.2 против 10.3, $U=2.2$, $p=0.03$) фиксаций, а также суммарной продолжительности коротких (839 против 751 мс, $U=2.9$, $p=0.003$) и длительных (1654 против 1481 мс, $U=3.1$, $p=0.002$) фиксаций. Выявленные различия свидетельствуют о большей выраженности как амбиентной, так и фокальной зрительных мод при запечатлении запомненных по сравнению с рассматриванием незапомненных логотипов.

Полученные результаты могут быть использованы для создания модели оценки восприятия логотипов, а также других видов статичной визуальной маркетинговой продукции.

Исследование точности детектирования в первичной визуальной коре с помощью модели кольца при различных функциональных состояниях

П.М. Есир, М.В. Цодыкс

Радиофизический факультет, ННГУ им. Лобачевского, г. Н.Новгород

Для объяснения эффекта инвариантности кривой настройки (tuning curve) в первичной зрительной коре от контраста визуального стимула была предложена частотная модель кольца (firing rate ring model) [1]. Известно, что в первичной зрительной коре есть группы нейронов, генерирующих спайки при предъявлении простейших графических примитивов определённой ориентации. В феноменологической модели кольца группы нейронов связаны тем сильнее, чем более близкие ориентации они детектируют.

Также в ряде работ показано, что при различных функциональных состояниях (сон, расслабленность, сосредоточение внимание и т.д.) активность нейронов в коре меняется от синхронной к асинхронной. Согласно ряду работ это изменение вызвано выбросом, определённых нейромедиаторов (ацетилхолина, норадреналина и т.д.). В частности в коре выброс ацетилхолина уменьшает синаптические веса, одновременно повышая возбудимость пирамидальных нейронов[2]. В работе [3] показано, что состояния сосредоточенного внимания и расслабленности не являются дискретными, а в зависимости от уровня нейромедиаторов плавно меняются от одного к другому.

В нашей работе [4] на примере математической модели кольца, учитывающей явление синаптической пластичности, мы исследуем, как меняется точность детектирования внешнего стимула при переходе между функциональными состояниями. В модели влияние ацетилхолина реализуется через одновременное изменение эффективных весов между нейронами и деполяризующего тока. Было показано, что при промежуточном уровне ацетилхолина точность детектирования максимальна.

1. Ben-Yishai, R., Bar-Or, R. L. & Sompolinsky, H. Theory of orientation tuning in visual cortex. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 92, 3844–3848 (1995).
2. Giocomo, L. M. & Hasselmo, M. E. Neuromodulation by glutamate and acetylcholine can change circuit dynamics by regulating the relative influence of afferent input and excitatory feedback. Mol. Neurobiol. 36, 184–200 (2007).
3. Harris, K. D. & Thiele, A. Cortical state and attention. Nat Rev Neurosci 12, 509–523 (2011).
4. Esir, P., Simonov, A. & Tsodyks, M. Feature Detection in Visual Cortex during Different Functional States. Front. Comput. Neurosci. 11, 1–7 (2017).

Стендовые доклады

Структура рецептивных полей спонтанно активных ганглиозных клеток сетчатки рыб

А. Т. Алипер

*Институт проблем передачи информации им. А. А. Харкевича Российской академии наук,
Москва*

В зрительном анализаторе позвоночных животных первичная обработка зрительной информации осуществляется на уровне сетчатки. У низших позвоночных структурой, получающей подавляющее большинство ретинальных входов, является *tectum opticum* (ТО). Ганглиозные клетки (ГК) сетчатки, посылающие свои аксоны в поверхностные слои ТО, могут быть подразделены на несколько типов по признаку предпочтения к определенным характеристикам зрительных стимулов, вызывающих у них импульсный ответ. Окончания аксонов спонтанно-активных ГК (СА ГК) располагаются в самом глубоком подслое ретинорецепиентного слоя ТО. Предпочтительным стимулом для них является изменение уровня освещенности в рецептивном поле (РП). По предпочитаемому знаку контраста СА ГК делятся на два подтипа - световые СА ГК и темновые СА ГК.

Мы записывали экстраклеточную импульсную активность окончаний аксонов ГК в ТО серебряного карася (*Carassius gibelio*). Стимулы предъявлялись на экране CRT монитора. Параметрами стимулов и экспериментальных серий мы управляли посредством специально разработанного программного обеспечения.

Размеры возбуждаемой центральной части рецептивных полей (ВРП) СА ГК не отличаются от размеров ВРП других типов сетчаточных ГК. Однако, при увеличении размеров стимула импульсный ответ СА ГК продолжает расти даже когда размеры стимула значительно превосходят установленные размеры ВРП клетки. Ничего похожего у других типов ГК сетчатки рыб ранее не наблюдалось. С другой стороны при полном затемнении зрительной сцены (для темновых СА ГК) или ее засвечивании (для световых СА ГК) импульсный ответ значительно или полностью тормозится. Данные наблюдения свидетельствуют о наличии у РП СА ГК крупных и сложно организованных периферических областей.

Поддержано грантом РФФИ 16-04-00029

Связь зрительного внимания и субъективного восприятия времени

М.В. Константинова, В.Н. Анисимов, Л.В. Терещенко, А.В. Латанов

МГУ Биологический факультет, Кафедра ВНД, Москва

konstantinova@neurobiology.ru

Человек не обладает отдельной сенсорной системой для восприятия времени (Zakkaay, Block, 1996), поэтому изучение субъективного восприятия времени имеет большую научную ценность для понимания механизмов высших функций мозга. Большую часть информации об окружающем мире мы получаем через зрительный анализатор, цель настоящей работы – исследовать связь субъективного восприятия времени и зрительного внимания. Так как зрительное внимание тесным образом связано с глазодвигательными механизмами (Unema et al., 2005; Pannasch et al., 2008; Smith, Mital, 2013), мы изучали вовлечение фокальной и амбьентной мод зрения во время выполнения зрительной задачи в разных условиях восприятия времени.

В исследовании приняли участие две группы спортсменов: мастера спорта и кандидаты в мастера спорта (МС, 6 человек) и спортсмены-разрядники (СР, 8 человек). Испытуемые последовательно выполняли две зрительные задачи: задача Go/No go и задача Go/No go со сменой значимости стимула на противоположную (релевантный/нерелевантный) по сигналу экспериментатора (Go/No go change), в ходе выполнения которых регистрировались движения глаз методом видеоокулографии. Сразу после завершения пробы испытуемые оценивали длительность времени ее выполнения. Статистический анализ данных (длительность фиксации - ДФ и амплитуда саккад - АС) проводили с помощью метода многофакторного дисперсионного анализа, *t*-критерия Стьюдента (с поправкой Бонферони) и критерия согласия частот (*z*-критерий).

Испытуемые преимущественно либо недооценивали, либо переоценивали временные интервалы. Феномен переоценки временных интервалов сопровождается большими ДФ (в среднем 402 ± 6 против 380 ± 4 мс, $t=3,28$, $df=3748$, $p<0,01$) и меньшими АС (в среднем $19,1 \pm 0,2$ против $22,4 \pm 0,2$ град., $t=-10,39$, $df=4602$, $p<0,01$) по сравнению с феноменом недооценки. При переоценке интервалов времени доли длительных (более 200 мс) фиксации (9,6 против 7,6%, $z=2,48$, $p=0,013$) и низкоамплитудных (менее 5 град.) саккад (74,5 против 70,5%, $z=3,07$, $p=0,002$) больше, чем при их недооценке. Это свидетельствует о некотором доминировании фокальной моды зрения и большем вовлечении механизма *top-down* внимания при переоценке временных интервалов.

Авторы выражают свою благодарность ГКУ «ЦСТ и СК» Москомспорта за возможность проведения на его базе экспериментальной работы, а также сотрудникам отдела спортивной психологии ГКУ «ЦСТ и СК» за помощь в организации экспериментов.

Распределение информационных фрагментов в матрице образа

В.В. Лавров

Центр научно-практической медиации "Согласие", Санкт-Петербург
vasilylavrov@yandex.ru

Построение образа обеспечивается интеграцией дискретной информации. Монтаж информационных фрагментов в цельный образ обусловлен их особенностями: во-первых, природой источника информации, во-вторых, ассоциативностью фрагментов, в-третьих, временем поступления и, что особенно важно, в-четвертых, весовыми параметрами [1, 2]. Вес фрагмента информации определяется значимостью признака для опознания образа. Информация, интегрированная в цельный образ, распределяется в матрице в соответствии с отмеченными особенностями. Для того, чтобы определить упорядоченность информационных фрагментов для последующего математического выражения, использовали методику визуализации. Задача испытуемых заключалась в выделении признаков объекта и в последующем изображении этих признаков на бумаге. Квадрат, круг, треугольник, линия и точка выбирались испытуемыми для изображения выделенных признаков объекта. Испытуемый самостоятельно определял, какие признаки изображать одним и тем же графическим символом, и какая величина символа соответствует весу информационного фрагмента. Размер и графические свойства изображенных элементов, а также их распределение в композиции служили ориентиром для выделения рядов и столбцов в матрице образа.

Анализ полученных графических композиций показывает, что построение образа сопряжено с распределением информационных фрагментов в структуре матрицы. Ее конструкция и вектор определяются поведенческой мотивацией, управляющей вниманием и монтажом фрагментов. Неспецифические системы мозга составляют механизм, ответственный за интеграцию информации в цельном образе. Выяснение матричных принципов формирования образа расширяет перспективу понимания не только цельности, но и изменчивости образа в ходе обучения при сохранении системности образной матрицы в условиях субъективности и недостатка достоверной информации относительно объекта.

1. Лавров В.В., Рудинский А.В. Формирование матрицы цельного образа при раздельном восприятии элементов комплексного объекта // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследования. 2016. Ч. 1. № 7. С. 91-95.
2. Лавров В.В. Между мозгом и психикой. - LAP. 2016. 171 с.

Соматосенсорные и зрительные вызванные потенциалы на паттерн для оценки патологической авторитмики у лиц с миофасциальной болью

к.м.н. А. В. Овчинников

Железнодорожная больница, г. Казань, Россия

avitov@yandex.ru

Введение: Очаги авторитмики или генераторы патологически усиленного возбуждения (ГПУВ) образуются в центральной нервной системе вследствие воздействия патогенными агентами, и имеют полиэтиологическую природу [Крыжановский Г.Н., 1980, 1997]. Происходит растормаживание нейронов и первичное возбуждение в форме устойчивой деполяризации нейронов, влекущей за собой вторичную недостаточность тормозных механизмов и приводящих к хронической боли.

Цель: Объективизация функциональных изменений нервной системы с помощью соматосенсорных и зрительных вызванных потенциалов при хронической ноцицептивной афферентации обусловленной патологической нейронной авторитмикой.

Материалы и методы: Оценивались параметры компонентов соматосенсорных (ССВП) и зрительных вызванных потенциалов на паттерн (ЗВПп) до и после лечения у лиц с мышечной болью и наличием миофасциальных триггерных пунктов при различной степени выраженности болевого синдрома. Активная авторитмика характеризовалась как увеличение амплитуды и уменьшение латентности любого компонента вызванного потенциала до лечения. Ослабление авторитмики соответствовало уменьшению амплитуды и увеличению латентности.

Результаты: Уменьшение боли соответствовало трансформации миофасциальных триггерных пунктов в латентные.

По сравнению с умеренно выраженной болью при выраженном болевом синдроме выявлялись значительные функциональные сдвиги (генераторы авторитмики) с преобладанием в роstralных отделах (на более высоких уровнях) нервной системы. При этом у ЗВПп генератороподобные изменения параметров достаточно близко соответствовали по латентностям параметрам генераторных аналогов компонентов ССВП.

С другой стороны, при умеренной боли выявлялось много слабоактивных генераторов, что указывало возможно на недостаточную активность антиноцицептивной системы. В данном случае генератороподобные структуры ЗВПп с большей или меньшей степенью выраженности выявлялись на всех предполагаемых нейроанатомических уровнях.

После лечения количество генераторов патологически усиленного возбуждения значительно уменьшалось и перемещалось в каудальные отделы нервной системы. Со стороны ЗВПп отмечались разнонаправленные изменения параметров компонентов ЗВПп.

Выводы: Имеются признаки межсенсорного взаимодействия соматосенсорной и зрительной системы при миофасциальном болевом синдроме на уровне ядер таламуса, гипоталамических структур, таламокортикальных отношений на фоне антагонистической активности патологической болевой и антиноцицептивной систем.

Указанные изменения параметров вызванных потенциалов могут являться нейрофизиологической основой последующих обострений миофасциального болевого синдрома.

Два уровня интеграции в иллюзии шара

О.Ю. Орлов

Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича, РАН, Москва

Иллюзия шара интересна тем, что в ней объединены два разных зрительных эффекта, которые есть все основания относить к разным уровням зрительной системы: один – скорее локальный, быть может даже сетчаточный; другой – достаточно высоко интегративный, почти заслуживающий аттестации «когнитивный», ибо соответствует нашей повседневной жизненной практике обычных условий освещения, и множественному жизненному опыту .

Один уровень – продукт одновременного контраста на границе круга равномерной окраски и «фона с вертикальным градиентом светлоты». Вертикальный градиент светлоты фона порождает также вертикальный градиент локального контраста, который «по Ярбусу» заполняет объективно равномерный круг субъективно воспринимаемым иллюзорным градиентом светлоты. Сам локальный контраст можно считать достаточно, широко распространенной (и потому «простой») операцией, жестким алгоритмом, доступным еще на уровне сетчатки (но никак не исключенном на любом «более высоком» уровне).

Тот факт, что иллюзорно «более светлый сверху» круг воспринимается, т.е. субъективно интерпретируется как объемный, выпуклый, условно говоря шарообразный объект – это, конечно же, продукт никак не сетчаточного уровня, а результат интеграции с участием жизненного зрительного опыта.

Уместно заметить, что граница между иллюзией («обманом зрения») и нормальным зрительным восприятием «иллюзорна»! То, что сегодня служит предметом множества работ по стереосинезу, во времена изобретения стереоскопа Уитстона и работ Дондерса и Гельмгольца называли иллюзией. Привычное нам кино (и телевиденье) обоснованно называли иллюзионом. Строго говоря, любое изображение, любое монохромное фото, любое монохромное кино, легко отличимое нами от действительности, может быть отнесено к разряду иллюзий: объект, явно отличный, но порождающий впечатление реалии. Чем ближе изображение к оригиналу, тем меньше объективных различий при их восприятии для всего аппарата зрения в целом, тем меньше оснований для разграничения этих двух миров.

Функциональная асимметрия движений глаз при выполнении обезьянами зрительновызванных саккад

Л.В. Терещенко, А.В. Буйневич, В.В. Шульговский, А.В. Латанов

Кафедра ВНД, Биологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва

У 3-х обезьян *Macaca mulatta* исследовали выполнение зрительно-вызванных целенаправленных саккад. В работе использовали две схемы пространственного положения целевых зрительных стимулов: 1) горизонтальную - периферические стимулы предъявляли по горизонтальному меридиану относительно центральной точки фиксации в интервале $-19.5/+19.5$ угл. градуса и 2) двумерную – предъявляли периферические стимулы в прямоугольной области с диапазонами $-19.5/+19.5$ угл. градуса по горизонтали и $-13/+13$ угл. градусов по вертикали от положения центрального стимула.

Анализ параметров саккад выполняемых с использованием горизонтальной схемы показал сходный характер их выполнения у изученных обезьян. Зависимости исследуемых параметров от эксцентриситета саккады имеют характерную U-образную форму: латентные периоды (ЛП) саккад увеличиваются, а точность выполнения саккад ухудшается с увеличением их эксцентриситета. У двух обезьян выявлено достоверное отличие в длительностях ЛП саккад, выполняемых в разные половины поля зрения.

Исследование саккад совершаемых в двумерной схеме предъявления периферических стимулов в зрительном поле выявило более сложный характер их выполнения. Характер выполнения саккад индивидуален у каждой из исследуемых обезьян. В исследуемом зрительном поле были обнаружены фокусы коротко- и длиннолатентных саккад, области, саккады к которым выполняются с высокой точностью. Положение таких фокусов имеет индивидуальную локализацию. Выявлена достоверная асимметрия выполнения саккад по горизонтальной координате у всех животных. В то же время у всех обезьян ЛП саккад в нижнюю половину поля зрения короче, чем в верхнюю. Средние длительности ЛП саккад у обезьян в двумерной схеме зрительной стимуляции выше, чем в горизонтальной. Точность выполнения саккад, в целом, как и в горизонтальной схеме, ухудшается с ростом эксцентриситета саккады.

Усложнение зрительной среды – введение вертикальной координаты в зрительное поле предъявления стимулов – ведёт к увеличению длительностей ЛП саккад, большей выраженности горизонтальной асимметрии выполнения саккад. Также в двумерной степени больше проявляется индивидуальный характер выполнения саккад.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 17-29-01027.

