

УДК 612.82

Жукова О.В.^а, Шелепин Ю.Е.^{а,б}, Хараузов А.К.^б, Васильев П.П.^б,
Вершинина Е.А.^б, Фокин В.А.^б, Соколов А.В.^б

^аСанкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

^бИнститут физиологии им. И.П. Павлова, Санкт-Петербург, Россия

^бФедеральный центр сердца, крови и эндокринологии им. В.А. Алмазова,
Санкт-Петербург, Россия

ФМРТ-исследование восприятия изображений лиц в различных условиях вероятности повтора стимулов¹

fMRI study of face perception in various settings probability of repeat incentives

Аннотация

Исследование посвящено актуальной задаче в области инженерной психологии – изучению восприятия изображений лиц в различных условиях вероятности повтора стимулов. Результаты показали, что в условиях низкой вероятности повтора стимулов (предъявление разных лиц) активность во второй половине исследования увеличивается, а в условиях высокой вероятности повтора (предъявления одного и того же лица), наоборот, снижается. При вычитании «фаза 1 – фаза 2» существенное отличие в активации в начале и конце исследования наблюдается в префронтальной, премоторной, теменной и височной областях мозга, при вычитании «фаза 2 – фаза 1» – в областях «сети базового режима» работы мозга. Полученные результаты внесут существенный вклад в разработку автоматизированных адаптивных систем, способных оценивать функциональное состояние оператора.

Ключевые слова: оператор, мимика, восприятие лиц, вероятность, привыкание, невербальная коммуникация

Abstract

A study is dedicated to an actual problem in the field of engineering psychology – a study of perception of face images during various conditions of incentive recurrence probability. The results showed that during low incentive recurrence probability (appearance of different face images) in the second part of the study activity increases, and on the contrary, when the incentive recurrence probability is high (appearance of the same face image) the activity decreases. During the subtraction «phase 1 – phase 2» a significant difference in activation of the prefrontal, premotor, parietal and temporal areas of the brain can be seen at the beginning and at the end of the study, during the subtraction «phase 2 – phase 1» – in the areas of the «default mode network» of the brain. The obtained results will make a significant contribution to the development of the automatic adaptive systems that can assess the functional state of the operator.

Keywords: the operator, facial expression, perception, probability, adaptation, non-verbal communication

¹ Исследование выполнено в рамках финансирования научно-исследовательского проекта «Психофизиологические и нейролингвистические аспекты процесса распознавания вербальных и невербальных паттернов», проект Российского научного фонда № 14-18-02135

Введение

Актуальной задачей в области инженерной психологии и психофизиологии является проблема изучения восприятия изображений лиц в различных условиях вероятности повтора стимулов. Особое значение данная проблема приобретает в оценке и контроле надежности операторов, которые работают с биологически значимым стимулом – ЛИЦОМ человека. Ошибка оператора в такой системе может привести к трагическим последствиям. Лицо человека, и в частности мимика является средством невербального общения. Ключевые характеристики мимики – положение губ и бровей, выражение глаз и поворот лица. Чтобы контролировать работу всех звеньев мозга, участвующих в распознавании мимики, мы применили метод фМРТ. Важно подчеркнуть, что коллектив соавторов имеет обширный опыт тестирования активности разных звеньев зрительного анализатора от его первичных каскадов до уровня принятия решения [1, 2]. В данном исследовании мы использовали методику адаптации (fMRI-A), предполагая, что многократное повторение предъявления одного стимула снижает уровень кровотока по сравнению с предъявлением нового стимула [3]. Методом fMRI-A в многочисленных работах было показано, что основные структуры, наиболее часто отвечающие за восприятие лиц (фузиформная извилина, верхняя височная борозда, нижняя затылочная извилина), функционально взаимосвязаны и демонстрируют различную степень привыкания к многократному предъявлению стимулов [4, 5]. Значительно меньше работ посвящены вопросу изучения адаптации зон мозга, входящих в дополнительную часть сети распознавания лиц, которая зависит от инструкции и других экспериментальных факторов. Соответственно, акцент в данном исследовании сделан на изучении влияния эффекта привыкания на работу важнейших когнитивных функций оператора в процессе активного восприятия и принятия решений в условиях имитации невербального общения.

Методика

Испытуемые

В исследовании приняли участие 23 добровольца – 12 мужчин и 11 женщин в возрасте 22-45 лет. Исключающим критерием являлись черепно-мозговые травмы и заболевания нервной системы.

Инструкция и стимулы

Для моделирования более естественных условий работы оператора разработана соответствующая процедура исследования и стимулы. Так, методами цифровой обработки изображений синтезированы усредненные по полу и расе виртуальные лица (оптоклоны). Известно, что восприятие объекта может меняться под влиянием изменения условий наблюдения, поэтому для моделирования более естественных условий работы оператора был использован угол поворота лица – направо или налево – в 5 град. Так как восприятие изображения часто происходит в условиях шума и помех, все стимулы предъявлялись на фоне аддитивного шума со степенью перекрытия 0,5. Шум задан с целью повышения порога распознавания предъявляемого изображения.

Все манипуляции с мимикой и поворотом виртуальных оптоклонов выполнены на базе программного обеспечения FaceGen (Singular Inversions, Canada). В качестве стимулов использованы оптоклоны, выражающие разные эмоции: радостные и грустные, повернутые в разные стороны (направо-налево). В качестве контрольных тестов – изображения тех же оптоклонов, но ориентированных прямо с нейтральным выражением лица. Всего синтезировано изображений 36 виртуальных лиц. На рисунке 1 приведены варианты предъявляемых стимулов.

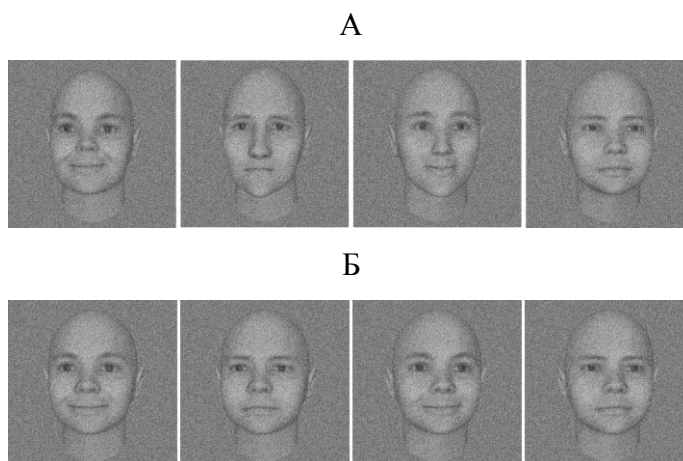


Рисунок 1 – Примеры предъявляемых стимулов – лиц оптоклонов с разными мимическими выражениями и поворотами: А – первая парадигма – предъявление 36 лиц разных оптоклонов. Б – вторая парадигма – предъявление лица одного оптоклона; Использован аддитивный шум с перекрытием 0,5 для создания более естественных условий работы операторов

Фотографии размером 2.5 угловых градуса находились в центре экрана. Зрительные стимулы предъявлялись с помощью мультимедийного проектора BENQ PB 8250 XGA, размещенного вне камеры (частота кадровой развертки 85 Гц) на полупрозрачный экран, находящийся на расстоянии 3.72 м от глаз испытуемого. Лежа в томографе, испытуемый мог наблюдать изображения на экране с помощью системы зеркал, закрепленных над его головой. Компьютерную мышь испытуемый держал в правой руке.

В фазе 1 использованы две тестовые процедуры выполнения задачи активного выбора. В первой парадигме для одной группы испытуемых (11 добровольцев) многократно предъявлялись изображения лица одного виртуального человека, но изображения лица этого человека давались в разных поворотах, при разных выражениях эмоций. Во второй парадигме другой группе испытуемых (12 добровольцев) предъявлялись изображения лиц 36 разных виртуальных людей. Предъявляли их при тех же поворотах, выраженности эмоций и столько же раз, как и в первой парадигме. В данной фазе добровольцы получали инструкцию оценивать мимику оптоклона: радость или грусть.

В фазе 2 предъявлялись нейтральные лица, ориентированные прямо: в первой парадигме многократно повторялось одно лицо, во второй – 36 разных лиц. В данной фазе добровольцы получали инструкцию поочередно нажимать на правую или левую клавишу мыши на каждое предъявление стимула. Межстимульный интервал составлял 0.5 сек., что предполагало достаточно интенсивный темп выполнения задачи оператором. Выбор регистрировался по нажатию испытуемым левой или правой клавиши мыши. Важно подчеркнуть, что инструкции существенным образом отличались друг от друга. Так, инструкция в фазе 2 исследования значительно легче в сравнении с инструкцией в фазе 1: принимать решение и оценивать эмоцию в данном случае не требовалось, что создавало условия для возможности отвлечения внимания «оператора» от выполнения поставленной задачи.

Регистрация и анализ фМРТ изображений

Распределение активности в головном мозге человека при наблюдении замаскированных лиц определялось с помощью метода функциональной магнитно-резонансной томографии. Использовался высокопольный магнитно-резонансный томограф “Siemens-Symphony” (1,5 Тл), с градиентами 40 мТл/м. Для оценки степени активации того или иного участка коры головного мозга использовалась методика измерения уровня оксигенации гемоглобина – BOLD (Blood Oxygenation Level Dependent). Для получения изображений карт активации использовалась методика эхопланарной томографии (echo planar imaging – EPI), которая позволяла получить изображение всего головного мозга (36 срезов) с матрицей 64x64 пикселя в течение 3,7 секунд. Каждая фаза состояла из 10-и сканирований по 3.7 секунды и была равна 37 секундам. 200 EPI-последовательностей, полученных со сканера в формате DICOM, были конвертированы в формат NiFTI. Чтобы скорректировать движения головы между отдельными сканами на первой стадии обработки, все полученные изображения были сведены к

первому скану, после чего мы получили усредненное EPI-изображение (realigning), которое нормировали к стандартному EPI-изображению, предоставленному Монреальским нейрологическим институтом (MNI-пространство). На следующей стадии обработки нормированные изображения с размером вокселя $2 \times 2 \times 2$ мм размывались Гауссовой функцией диаметром 8 мм. Эта процедура применялась независимо к данным каждого испытуемого. Общее время исследования для каждого типа инструкции составляло 12 минут. Для оценки работы механизма привыкания в условиях многократного предъявления стимулов 200 EPI-последовательностей были разделены на две части – первую и вторую половину исследования по 6,25 минут каждая. Оценка локальной активности относительно целого мозга проводилась методом двухкомпонентного t-теста (t-критерий Стьюдента, $p < 0.01$).

Результаты

По результатам анализа определены области с максимальным уровнем активации для каждой экспериментальной парадигмы (рисунки 2 и 3). Видно, что уровень активации больше в условиях предъявления одного лица. В обеих парадигмах при вычитании «фаза 1 – фаза 2» мы наблюдаем характерный паттерн сети распознавания лиц: основных зон, которые наиболее часто активируются в задачах распознавания лиц (фузиформная извилина) и дополнительных, которые зависят от инструкции и других экспериментальных факторов. Роль выявленных областей в задачах распознавания лиц подробно рассмотрена в наших предыдущих работах [6, 7], поэтому только отметим, что данные зоны мозга активно участвуют на разных этапах невербальной коммуникации и в описании пространственных отношений (элементов лица), отношении в положении в пространстве между людьми, в привлечении внимания, и в принятии решений. При вычитании «фаза 2 – фаза 1» наблюдаем паттерн, совершенно отличный от предыдущего

паттерна мозговой активации. В современных исследованиях данный паттерн определяют, как «сеть по умолчанию» или «сеть базового режима», включающий медиальную префронтальную кору (MPFC), височно-теменной стык (TPJ), предклинье и заднюю поясную извилину (PCC) [8, 9, 10]. Основная особенность данной сети заключается в том, что она наиболее активна при отсутствии внешних раздражителей, в состоянии относительного покоя. Предъявление стимулов любой модальности или выполнение мыслительных задач приводит к снижению уровня метаболической активности в структурах этой сети и одновременному повышению уровня активации в областях мозга, ответственных за переработку поступающей информации. Аналогичный паттерн функциональных связей наблюдается у человека в условиях отсутствия стимуляции, в состоянии «покоя».

На рисунке 2 представлена локализация областей мозга, значимо изменяющих свою активность в условиях многократного предъявления изображений разных лиц.

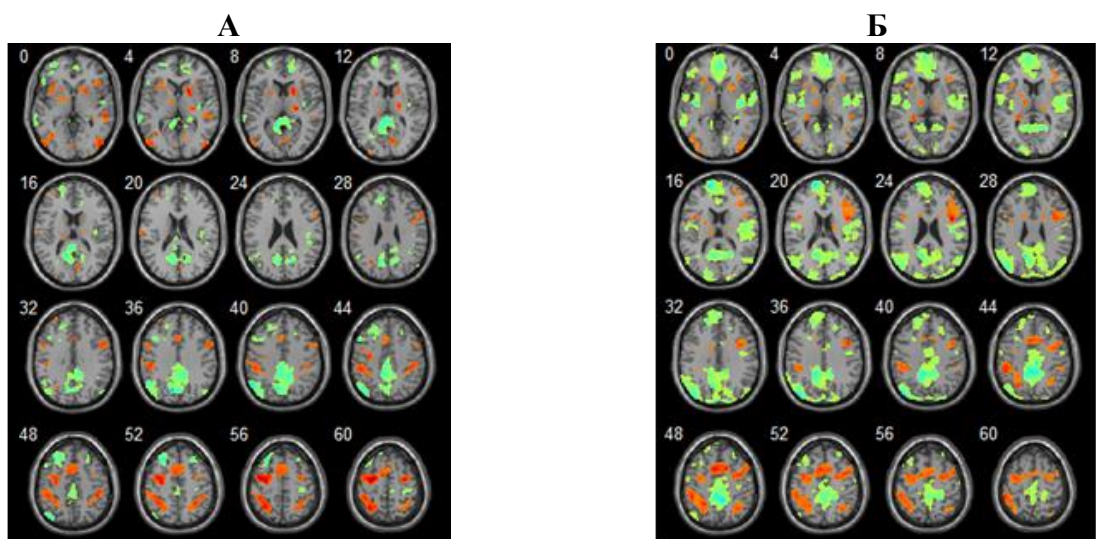


Рисунок 2 – Локализация областей мозга, значимо изменяющих свою активность в условиях многократного предъявления разных лиц: А – 1 половина исследования; Б – 2 половина исследования. Красным цветом обозначена активация при вычитании «фаза 1 – фаза 2»; зеленым – активация при вычитании «фаза 2 – фаза 1», $p < 0,01$, $N=11$

Видно, что уровень активации возрастает во второй половине исследования. При вычитании «фаза 1 – фаза 2» (на рисунке обозначено красным цветом) общая активация в первой и второй половинах исследования существенно не меняется. Наблюдается небольшое увеличение активации в премоторной и теменной областях. Исключение составляют нижняя фронтальная извилина (IFG) и ВА9. Данные зоны во второй половине исследования (рисунок 2, Б) демонстрируют значительное увеличение активации в сравнении с первой половиной (рисунок 2, А). При вычитании «фаза 2 – фаза 1» (на рисунке обозначено зеленым цветом) наблюдаются более существенные изменения. Так, в первой половине исследования, наблюдается значительная активация только в двух зонах из четырех: РСС и LLP. Во второй половине исследования, наоборот, происходит значительное увеличение активации во всей сети «базового режима», особенно в области MPFC.

На рисунке 3 представлена локализация областей мозга, значимо изменяющих свою активность в условиях многократного предъявления изображений одного лица.

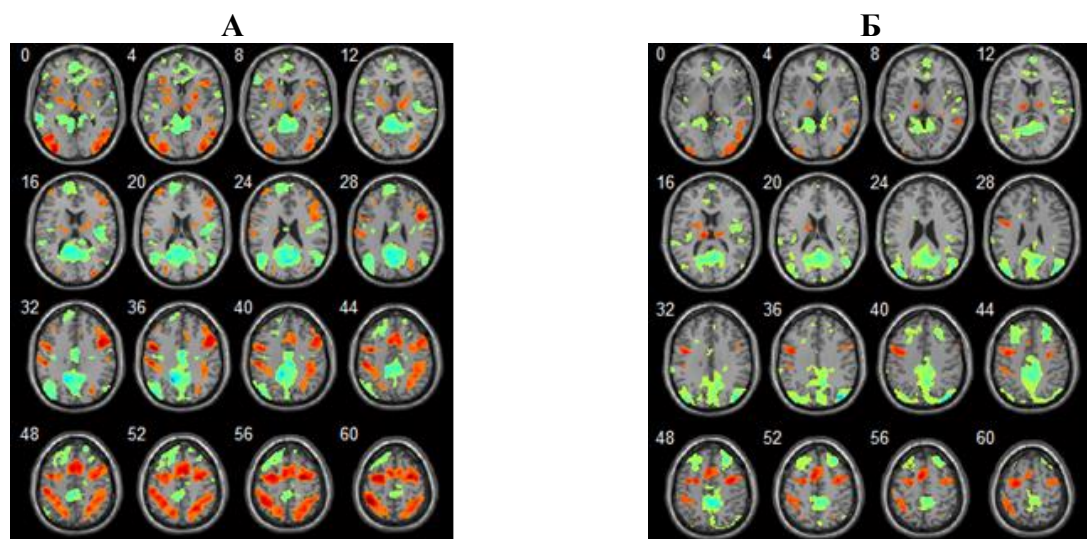


Рисунок 3 – Локализация областей мозга, значимо изменяющих свою активность в условиях многократного предъявления изображений одного лица:

А – 1 половина исследования; Б – 2 половина исследования.

Оранжевым цветом обозначена активация при вычитании «фаза 1 – фаза 2»; желто-голубым – активность при вычитании «фаза 2 – фаза 1», $p < 0,01$, $N = 12$

Видно, что уровень активации, наоборот, уменьшается во второй половине исследования. При вычитании «фаза 1 – фаза 2» в первой половине исследования наблюдается сильная активация практически во всей сети распознавания лиц. Во второй половине исследования наблюдается снижение активации практически во всех зонах.

Небольшая активация сохраняется, в основном, только в области премоторной (BA6) и теменной коры (BA40). При вычитании «фаза 2 – фаза 1» во второй половине исследования снижается активация в области MPFC. Активация в области PCC существенным образом не меняется.

Статистический анализ данных

Описательные статистики представлены средними значениями, стандартными отклонениями SD и стандартными ошибками SE по каждому уровню факторов. На графиках изображены средние значения (M) и стандартные ошибки SE. При анализе данных использовался смешанный дисперсионный анализ $2 \times 2 \times 2$ Mixed ANOVA, Факторы: вычитание «фаза 1 – фаза 2» и «фаза 2 – фаза 1»; первая и вторая половина исследования; парадигмы предъявления одного и разных лиц.

Парные сравнения проводились с использованием Bonferroni Post hoc тестов и тестов простых эффектов. При сравнении отдельных срезов и зон Бродмана применялись критерии для зависимых переменных – t-test и критерий Вилкоксона. Обозначения: «*» – $p < 0,05$, «**» – $p < 0,01$, «***» – $p < 0,001$, «+» – тенденция к различию.

На рисунках 4, 5 и 6 представлены графики средних значений активированных вокселей в зависимости от различных экспериментальных факторов.

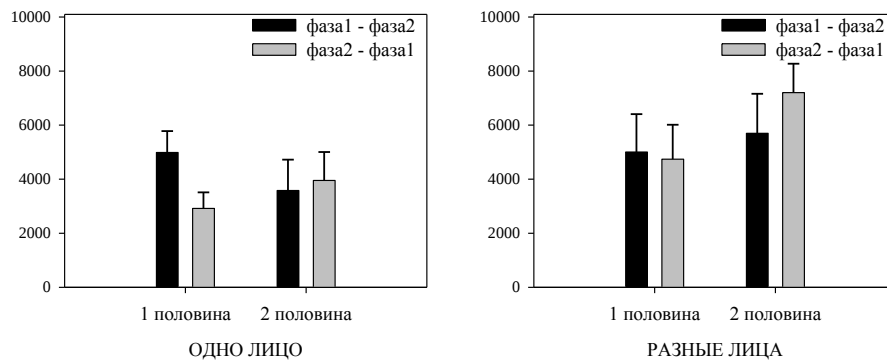


Рисунок 4 – Зависимость среднего количества активированных вокселей от различных типов вычитания и половины исследования в рамках разных экспериментальных парадигм: предъявление одного и разных лиц

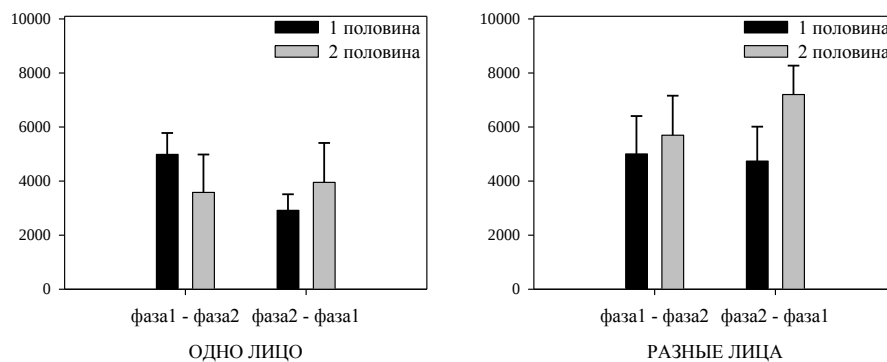


Рисунок 5 – Зависимость среднего количества активированных вокселей от половины и различных типов вычитания в рамках разных экспериментальных парадигм: предъявление одного и разных лиц

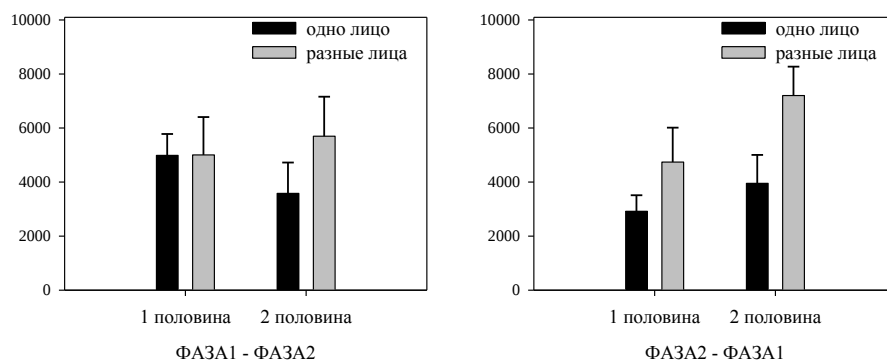


Рисунок 6 – Зависимость среднего количества активированных вокселей в зависимости от экспериментальной парадигмы и половины исследования

Смешанный дисперсионный анализ (Test of Between-Subject Effects) и тест парных сравнений (Pairwise Comparisons) подтверждают статистически значимое отличие количества активированных вокселей по различным экспериментальным факторам:

- в условиях вычитания «фаза 2 – фаза 1» стимуляции количество активированных вокселей в среднем по группе добровольцев в условиях предъявления одного лица статистически значимо меньше в сравнении с условиями предъявления разных лиц (Одно лицо < Разные лица, $F(1,20) = 4,95$, $*p = 0,038$, суммарно по стадиям);
- в условиях вычитания «фаза 2 – фаза 1» стимуляции количество активированных вокселей в первой половине исследования меньше, чем во второй половине на уровне тенденции (1 половина $\leq$ 2 половина, $p = 0,067+$ (суммарно по одному и разным лицам));
- в условиях вычитания «фаза 2 – фаза 1» стимуляции во второй половине исследования в условиях предъявления одного лица количество активированных вокселей статистически значимо меньше в сравнении с условием предъявления разных лиц (Одно лицо < Разные лица, $*p = 0,042$);
- в условиях вычитания «фаза 2 – фаза 1» стимуляции в условиях предъявления разных лиц количество активированных вокселей меньше в первой половине исследования в сравнении со второй на уровне тенденции (1 половина $\leq$ 2 половина, $p = 0,068+$);
- суммарно по фазам исследования во второй половине исследования количество активированных вокселей в условиях предъявления одного лица статистически значимо меньше в сравнении с условием предъявления разных лиц (Одно лицо < Разные лица, $*p = 0,05$);
- в первой половине исследования в условиях предъявления одного лица количество активированных вокселей при вычитании «фаза 1 – фаза 2»

исследования меньше в сравнении с вычитанием «фаза 2 – фаза 1» на уровне тенденции («фаза 1 – фаза 2» $\leq$ «фаза 2 – фаза 1», $p=0,062+$).

На втором этапе обработки данных было проанализировано количество активированных вокселей на каждом отдельном срезе по группе добровольцев. Всего было проанализировано 32 среза. Некоторые срезы представлены на рисунках 2 и 3. Номер среза соответствует номеру на представленных картах активации. Сравнивали 1 и 2 половину для каждого фактора исследования. Критерий Вилкоксона (Wilcoxon Signed Ranks Test) для зависимых переменных в условиях вычитания «фаза 1 – фаза 2» показал статистически значимые отличия:

- в условиях предъявления разных лиц на уровне срезов 36 (* $p=0.038$) и 40 (* $p=0.028$). На данных срезах отображена преимущественно активация фронтальной (BA9), премоторной (BA6) и теменной коры (BA40 и BA7);
- в условиях предъявления одного лица на уровне срезов: 28 (** $p=0.005$), 40 (** $p=0.003$), 44 (* $p=0,033$), 52 (* $p=0,041$), 56 (* $p=0,016$), 60 (** $p=0,006$), 64 (** $p=0.003$), 68 (* $p=0.033$). Срез 28 отображает преимущественно активацию BA9 – области фронтальной коры головного мозга. Остальные срезы – активацию областей премоторной (BA6) и теменной коры (BA40).

В условиях вычитания «фаза 2 – фаза 1» статистически значимые отличия найдены:

- в условиях предъявления разных лиц на уровне срезов 8 (* $p=0.05$), 16 (* $p=0.033$) и 20 (* $p=0.023$). На данных срезах отображается активация преимущественно передней поясной извилины – MPFC;
- в условиях предъявления одинаковых лиц на уровне срезов 44 (* $p=0.05$) и 48 (** $p=0.009$), что соответствует теменной коре.

На третьем этапе анализировалось количество активированных вокселей по полям Бродмана. Отличия от второго этапа анализа заключается

в том, что на предыдущем шаге мы анализировали крупномасштабные нейронные сети – целые паттерны активации, в которые могли входить разные зоны по Бродману. А на третьем этапе – только отдельные цитоархитектонические поля, под которыми мы понимаем отделы коры больших полушарий головного мозга, отличающиеся по своей цитоархитектонике (строению на клеточном уровне) в 1 и 2 половину исследования. Критерий Вилкоксона (Wilcoxon Signed Ranks Test) для зависимых переменных показал значимые отличия только в условиях предъявления разных лиц: в скорлупе (* $p=0.026$), в височной коре в зоне BA37 (* $p=0,050$) и теменной коре в зоне BA40 (* $p=0.026$).

Статистически значимого влияния пола и принадлежности к группе студент–не студент не выявлено.

Обсуждение

Целью данного исследования было оценить влияние эффекта привыкания на работу высших когнитивных функций оператора. Гипотеза исследования состояла в том, что в условиях предъявления одного лица эффект привыкания к мимическим выражениям лица будет выражен сильнее в сравнении с условиями предъявления разных лиц. Для решения поставленной задачи, в каждой экспериментальной парадигме мы разделили все исследование длительностью 12 минут на две части по 6,25 мин. и сравнили их между собой. Анализировали активацию на различных уровнях крупномасштабной нейронной сети головного мозга: на уровне всего мозга (первый этап), на уровне отдельных срезов мозга, а также в рамках отдельных цитоархитектонических полей Бродмана.

В условиях предъявления одинаковых лиц мы наблюдаем значительное снижение активации во второй половине исследования, особенно это заметно было при вычитании «фаза 2 – фаза 1». Основными областями, в которых зарегистрировано достоверное снижение активации в условиях вычитания

«фаза 1 – фаза 2» являются области фронтальной (ВА9), премоторной (ВА6) и теменной коры (ВА7 и ВА40). В условиях вычитания «фаза 2 – фаза 1» – только в зонах теменной коры (ВА7 и ВА40).

Это особенно важно, так как в наших схемах исследований применялись разные степени отличия стимулов друг от друга. Так, в фазе 1 стимуляции в условиях предъявления изображений разных лиц стимулы отличались друг от друга мимическим выражением, поворотом и типом лица. В фазе 2 в этой же парадигме – каждый стимул отличался друг от друга только типом лица. В условиях предъявления изображений одного лица в фазе 1 стимуляции стимулы отличались только мимическим выражением и поворотом, а в фазе 2 – каждый стимул был идентичен предыдущему (рисунок 1). Подобная схема исследования была разработана для моделирования более естественных условий работы оператора, специфика деятельности которых предполагает оценку не идентичных, а именно схожих сигналов. Стимулы менялись с частотой 0,5 сек., что предполагало высокий темп работы. При этом, каждые 37 сек. происходила смена инструкции: осуществлялся переход от активной деятельности, требующей максимального внимания и контроля со стороны оператора к условно «пассивной», требующей только моторного действия на каждое предъявления стимула, что также является характерной чертой работы оператора. Таким образом, даже в парадигме предъявления одного лица присутствовал высокий фактор изменчивости экспериментальных условий.

Тем не менее, мы наблюдаем значительное снижение уровня кровотока по всем выявленным зонам. Можно предположить, что условия исследования в данной экспериментальной парадигме, несмотря на высокий фактор изменчивости стимуляции, способствовали развитию монотонии – функционального состояния, характеризующегося снижением тонуса и восприимчивости, ослаблением сознательного контроля, ухудшением внимания, стереотипизацией действий, появлением ощущения скуки и

потери интереса к работе. Если учесть, что в фазе 2 специально для оператора были созданы условия для «пассивного» выполнения задачи, характеризующиеся низким уровнем внимания и контроля, необходимых для выполнения задачи, то можно предположить, что во второй половине исследования произошло «выравнивание» субъективной степени сложности выполнения задач в фазе 1 и 2 стимуляции (рисунки 4, 5 и 6). Обе инструкции стали выполняться одинаково «пассивно», что при вычитании фаз привело к усреднению сигнала.

В условиях предъявления разных лиц наблюдается совершенно отличная картина. Здесь уровень кровотока во второй половине исследования не только не понижается, но и значительно увеличивается. В условиях вычитания «фаза 1 – фаза 2» при анализе отдельных срезов достоверное увеличение активации наблюдается в зонах фронтальной (BA9), премоторной (BA6) и теменной коры (BA7 и BA40). При обратном вычитании – в зоне MPFC, которая участвует в описании и оценке как своего, так и чужого психического состояния [11]. Анализ цитоархитектонических полей Бродмана показал достоверное увеличение активации также в скорлупе, играющей важную роль во многих типах обучения, и фузиформной извилине (BA37), преимущественно отвечающей за восприятие изображений лиц людей.

Можно предположить, что в данных экспериментальных условиях во второй половине исследования разница в субъективной степени сложности выполнения задач в фазе 1 и 2 стимуляции не только не уменьшается, но и возрастает (рисунки 4, 5 и 6). Оператор испытывает все больший уровень нервно-психического напряжения во время выполнения активной инструкции в фазе 1, которая все больше отличается от пассивной инструкции в фазе 2. Таким образом, при вычитании одной фазы из другой мы наблюдаем существенные отличия в общем уровне активации. Важно подчеркнуть, что высокий уровень психического напряжения может

приводить к различным сбоям в работе операторов, так называемым «пароксизмам» непрерывной деятельности [12].

Заключение

Таким образом, в данной работе мы рассмотрели разные режимы работы оператора: от относительно простого (многократное предъявление одного и того же лица) до более сложного (предъявления разных лиц). В ходе исследования показано, что в условиях высокой вероятности повтора стимулов (предъявление одинаковых лиц) уровень кровотока во второй половине исследования значительно снижается практически во всех областях, относящихся к сети распознавания лиц. Это позволяет сделать предположение о развитии адаптации в состоянии монотонии. Это означает, что при реальном общении с одним и тем же собеседником, у наблюдателя со временем происходит адаптация к особенностям мимики. Это не сказывается при получасовой работе на правильность оценки наблюдателем таких важных для невербального общения элементов, как наличие улыбки или поворота лица собеседника, но дальнейшая работа может нарушить распознавание. В условиях же низкой вероятности повтора стимулов (предъявление разных лиц) уровень кровотока не только не снижается, но и увеличивается, что позволяет сделать предположения, что операторы в данной экспериментальной парадигме испытывали начальные стадии нервно-психического напряжения, которые могут также привести к нарушениям деятельности.

Список использованных источников

1. Шелепин Ю.Е., Борачук О.В., Пронин С.В., Хараузов А.К., Васильев П.П., Фокин В.А. Лицо и невербальные средства коммуникации // Петербургский психологический журнал. 2014. № 9. С. 1-43.
2. Шелепин Ю.Е., Фокин В.А., Меншикова С.В., Борачук О.В., Коскин С.А., Соколов А.В., Пронин С.В., Хараузов А.К., Васильев П.П., Вахрамеева О.А., Методы иконоки и методы картирования мозга в оценке функционального состояния зрительной системы // Сенсорные системы. 2014. Т. 28. № 2. С. 61-75.
3. Grill-Spector K., Henson R, and Martin A. Repetition and the brain: neural models of stimulus-specific effects // TRENDS in Cognitive Sciences Vol. 10 No. 1. 2006. P. 14-23.
4. Fox C.J., Moon S.Y., Iaria G., Barton J.S. The correlates of subjective perception of identity and expression in the face network: an fMRI adaptation study // NeuroImage. V. 44. Issue 2. 2009. P. 569-580.
5. Ganel T, Valyear K.F., Goshen-Gottstein Y, Goodale M.A. The involvement of the “fusiform face area” in processing facial expression. Neuropsychologia. 2005. 43. P. 1645-1654.
6. Борачук О.В., Шелепин Ю.Е., Хараузов А.К., Васильев П.П., Пронин С.В., Фокин В.А., Соколов А.В. Исследование механизма принятия решения в техногенной среде методом фМРТ // Биотехносфера. 2014. № 1-2 (31-32). С. 14-19.
7. Борачук О.В., Шелепин Ю.Е., Хараузов А.К., Васильев П.П., Фокин В.А., Соколов А.В. Исследование влияния роли инструкции в задачах распознавания образов «свой-чужой» // Оптический журнал. № 82. 10. С. 41-50.
8. Gusnard D.A., Raichle M.E. Searching for a baseline: functional imaging and the resting human brain. Nat. Rev. // Neurosci. 2001. 2. P. 685-694.

9. Raichle M.E., MacLeod A.M., Snyder A.Z., Powers W.J., Gusnard D.A., Shulman G.L. A default mode of brain function // Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 2001. 98. P. 676-682.
10. Fransson P. How default is the default mode of brain function? Further evidence from intrinsic BOLD signal fluctuations // Neuropsychologia. 2006. 44. P. 2836-2845.
11. Van der Meer L., Costafreda S., Aleman A., David A.S. Self-reflection and the brain: a theoretical review and meta-analysis of neuroimaging studies with implications for schizophrenia // NeurosciBiobehav Rev. 2010. V. 34(6). P. 935-946.
12. Горбов В.Д., Лебедев В.И. Психоневрологические аспекты труда операторов. М. 1975. 161 с.