

КОГНИТИВНЫЕ И СОЦИОГУМАНИТАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 612.821; 616.8

О ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЙ ОЦЕНКЕ ДАННЫХ ФМРТ-ИССЛЕДОВАНИЙ СОСТОЯНИЯ ПОКОЯ НА ИНДИВИДУАЛЬНОМ УРОВНЕ

© 2022 г. В. А. Орлов^{1,*}, Д. Г. Малахов¹, С. И. Карташов¹,
М. В. Ковальчук¹, Ю. И. Холодный¹

¹Национальный исследовательский центр “Курчатовский институт”, Москва, Россия

*E-mail: Orlov_VA@nrcki.ru

Поступила в редакцию 15.03.2022 г.

После доработки 20.03.2022 г.

Принята к публикации 20.03.2022 г.

Проведено изучение целесообразности и эффективности применения в ходе функциональной магнитно-резонансной томографии “состояния покоя” метода контроля и регистрации динамики физиологических процессов с помощью МРТ-совместимого полиграфа в целях выявления (в результате сканирования) особенностей активности зон мозга в периоды относительного состояния покоя и при повышенной психической активности. Намечены направления дальнейших исследований по совершенствованию технологии проведения фМРТп с применением МРТсП.

DOI: 10.56304/S2782375X22020139

ВВЕДЕНИЕ

Два с лишним десятилетия назад экспериментальные исследования [1], положившие начало использованию метода функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ) при изучении активности мозга человека в состоянии покоя (СП), т.е. когда “испытуемому дается инструкция расслабиться, стараться не думать о чем-то конкретном, но при этом оставаться в состоянии бодрствования” [2]. Полагалось, что фМРТ состояния покоя (фМРТп) позволяет оценить базальную активность мозга в отсутствие определенных сенсорных или когнитивных стимулов.

За истекшие годы был выполнен обширный объем исследований в области фМРТп, позволивший выявить в головном мозге существование группы нейронных сетей, получивших наименование “сетей покоя” (англ. “resting state networks”).

Основанием для выделения “сетей покоя” явилось обнаружение устойчивых совокупностей отделов мозга (порой весьма удаленных), проявлявших синхронные изменения своей активности, что и было обнаружено с помощью фМРТ.

В настоящее время существование в мозге “сетей покоя” считается общепризнанным, и в различных условиях экспериментальных исследований удается выделить разное их количество — от 6 до 25 сетей [3]. В частности, к наиболее часто

фиксируемым в таких исследованиях “сетям покоя” относят:

1. Сеть пассивного режима работы мозга (СПРРМ) или сеть “холостого хода” (“default mode network”), которая наиболее часто наблюдается в процессе фМРТп. Эта сеть включает в себя предклинье, заднюю часть поясной извилины, латеральную теменную и медиальную префронтальную кору, или, будучи структурированными по атласу CONN в системе координат MNI, это зоны мозга соответственно 1, 2, 41, 43, 44, 49, 53, 54, 56, 57.

2. Соматосенсорную сеть, которая включает в себя первичную высшую моторную и сенсорную области (поля Бродмана 1, 2, 3, расположенные в центральной извилине, или соответственно зоны 13, 14, 33–38, 50, 51, 57, структурированные по атласу CONN) и обладает высоким уровнем коннективности между левой и правой областями мозга.

3. Зрительная сеть, ответственная за пространственное восприятие зрительной информации: зоны 25, 31, 32, 35, 43–48, 57–59, 66, 67, 72–74, 88–91, структурированные по атласу CONN.

4. Слуховая сеть, в которую вовлечены зоны 78–87, структурированные по атласу CONN.

5. Сеть, отвечающая за восприятие и воспроизведение устной и письменной речи, а также выполняющая несколько иных функций: она вклю-

чает в себя зоны 1, 2, 9–12, 19, 20, 23–26, 38–42, структурированные по атласу CONN.

6. Сеть формирования внимания и когнитивного контроля, которая включает в себя зоны 33–44, 22, 33, 44, 55, структурированные по атласу CONN.

7. Сеть исполнительного контроля, активирующаяся при выполнении заданий, связанных с когнитивным контролем и рабочей памятью: она охватывает зоны 1–8, 39–44, структурированные по атласу CONN.

8. Сеть выявления значимости, которая отвечает за контроль когнитивных процессов и координирует работу перечисленных выше и иных нейронных сетей: она включает зоны 1–4, 8, 37–40, 53–55, 76, 77, структурированные по атласу CONN.

Проведенные в Национальном исследовательском центре “Курчатовский институт” нейрокриминалистические фМРТ-исследования с применением МРТ-совместимого полиграфа (МРТсП) – прибора, позволяющего в реальном масштабе времени наблюдать изменения в ряде физиологических систем и тем самым контролировать динамику текущего состояния исследуемого лица – показали полезность комплексного фМРТ-МРТсП-подхода при проведении работ медицинского профиля и, в частности, вызвали интерес у специалистов, применяющих фМРТп в клинической практике [4].

Начатое применение МРТсП при проведении фМРТп убедительно подтвердило ранее высказанное мнение о том, что “понятие “состояние покоя” в процессе фМРТп носит весьма условный характер” [5]. Более того, с помощью МРТсП была продемонстрирована возможность не только контроля, но и успешной объективной диагностики наличия “повышенной психической активности мозга исследуемого человека” в ходе его фМРТп [4].

В связи с этим была выдвинута гипотеза о том, что разграничение интервалов СП от интервалов повышенной психической активности (ППА) может позволить более полно видеть функционирование “сетей покоя” и функциональную коннективность тех или иных зон мозга, в том числе на индивидуальном уровне.

МЕТОДЫ

В настоящее время изучение головного мозга осуществляется с позиций преимущественно системного подхода, когда основное внимание переносится с оценки активности конкретных его зон на работу нейронных сетей различной степени сложности. В связи с этим ведущая роль в анализе данных фМРТп отдается методам функцио-

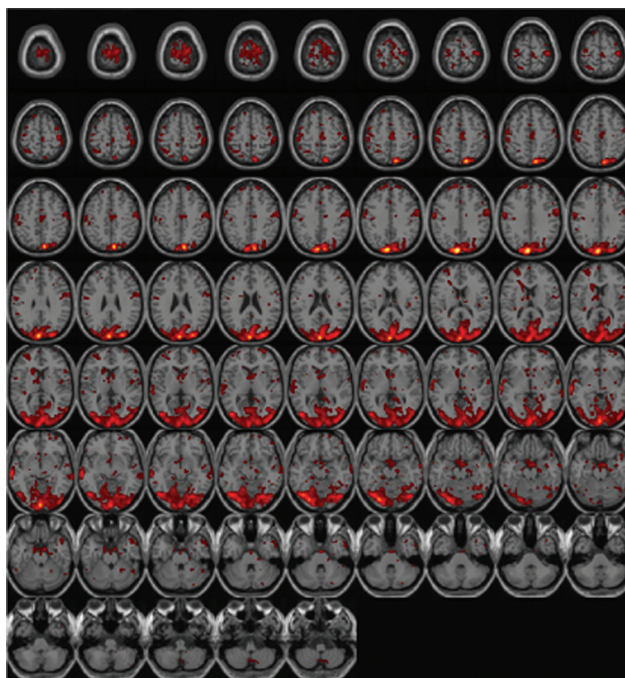


Рис. 1. Пространственные посрезовые карты функциональной активности зрительной сети, полученные при оценке фМРТп-данных.

нальной интеграции, нацеленным на выявление связей между различными областями мозга.

В связи с этим в ходе проведенного в НИЦ “Курчатовский институт” изучения технологии фМРТп применена одна из частных и наиболее часто используемых методик этой группы – метод анализа независимых компонент (МНК).

Для иллюстрации экспериментальных возможностей фМРТ-МРТсП-подхода приведем результаты фМРТп одного из исследованных лиц.

На рис. 1 показан анализ активности зрительной сети зон мозга, полученный при оценке фМРТп-данных методом, общепринятым в практике фМРТ-исследований.

На основании посрезовых карт функциональной активности зрительной сети (рис. 1) осуществлялось применение метода МНК и определялись основные рабочие компоненты “сети покоя”, проявляющие свою активность в условиях фМРТп (рис. 2).

Отметим, что в итоге оценки фМРТп-данных в зрительной “сети покоя” исследуемого лица пик активности приходился на зону мозга с координатами (–6, –90, 34) (по атласу CONN).

Как было установлено в ходе фМРТп-МРТсП-исследования [4], весь период сканирования исследуемого лица – по выраженности изменений динамики его физиологических процессов – может быть разделен на две группы интервалов: группу интервалов ППА и группу интервалов без

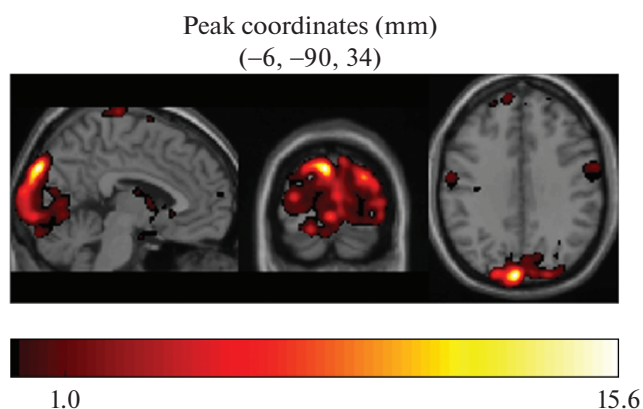


Рис. 2. Пространственные карты функциональной коннективности зрительной сети, полученные при оценке фМРТп-данных методом МНК.

ППА, которые можно условно именовать интервалами “относительного” СП.

В проведенном фМРТп-МРТсП-исследовании в качестве минимальных для разграничения ППА и “относительного” СП выбирались интервалы не менее 20 с.

Вместе с тем представлялось весьма спорным рассматривать в качестве “относительного” СП интервалы малой (20–40 с) и даже средней (40–60 с) длительности. Поэтому отдельному анализу были подвергнуты помимо суммарного “относи-

тельного” СП интервалы этой группы длительно-стью более 60 с (т.е. не менее 10% общего времени сканирования). Таким образом, для изучения устойчивых ППА и “относительного” СП были выбраны соответственно интервалы в 100 и 125 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Применение общепринятых методов анализа и оценки фМРТп-данных для отдельного изучения интервалов “относительного” СП и ППА позволило обнаружить явные различия в активности мозга и сменяющие друг друга периоды сканирования (рис. 3, 4).

Указанные различия отчетливо видны как на посрезовых картах функциональной активности зрительной сети, полученных при оценке фМРТп-данных в периоды интервалов “относительного” СП и ППА, так и на пространственной карте функциональной коннективности зрительной сети.

Обращает на себя внимание интересный факт. У данного исследуемого лица пик активности зрительной сети зон мозга (по атласу CONN) при оценке фМРТп-данных всего периода сканирования и при оценке фМРТп-данных только “относительного” СП остается неизменным, на что указывают координаты (-6, -90, 34).

В случае оценки фМРТп-данных, зарегистрированных в период ППА, пик активности зри-

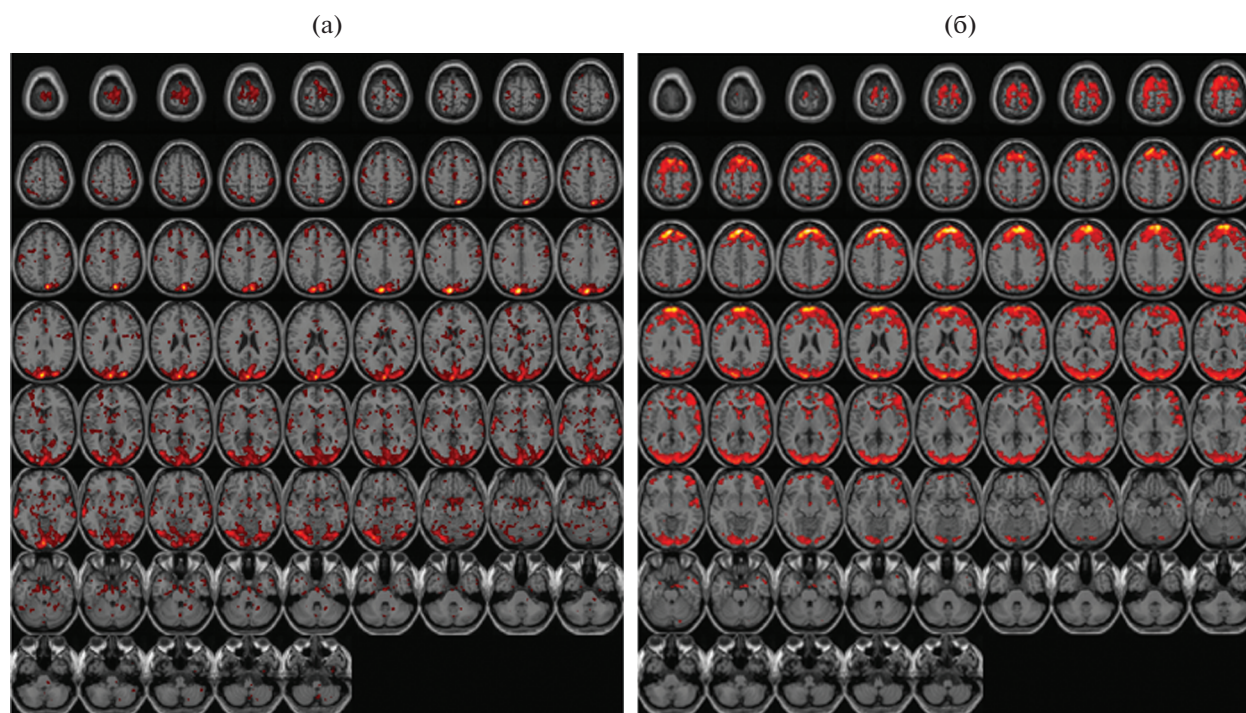


Рис. 3. Карты с результатами посрезовой оценки активности мозга: а – в период интервалов “относительного” СП; б – в период интервалов ППА.

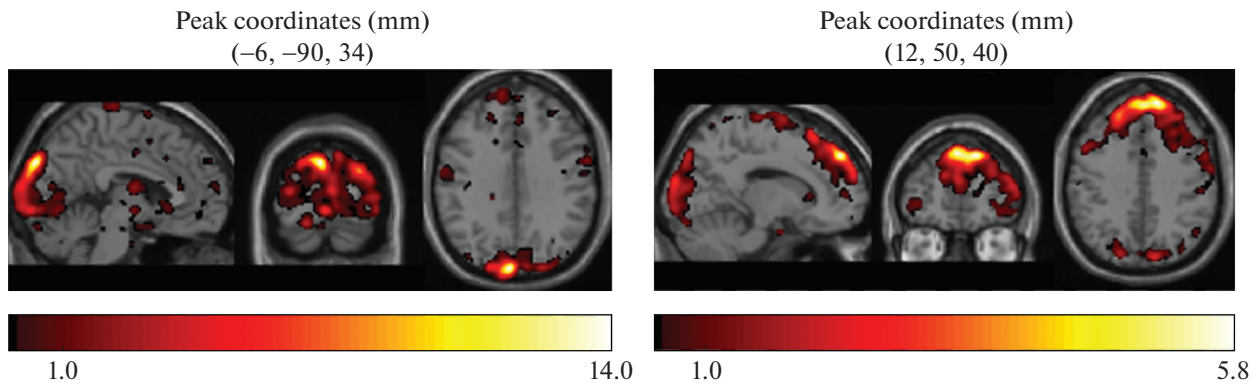


Рис. 4. Пространственные карты функциональной связности зрительной сети, полученные при оценке фМРТп-данных методом МНК: а – в период интервалов “относительного” СП; б – в период интервалов ППА.

тельной сети (по атласу CONN) смещается в область лобных долей мозга, на что указывают координаты (12, 50, 40), при этом наблюдается существенное снижение пикового значения активности: в рамках Z -статистики оно уменьшается с 14.0 до 5.8.

Изложенные выше результаты носят иллюстративный характер, но они указывают на то, что данное направление исследований является перспективным: оно может и должно привести к созданию качественно новых методов оценки функционального состояния головного мозга человека, которые найдут применение как в фундаментальных исследованиях, так и в научно-прикладной практике (например, в целях диагностики и/или контроля терапии различных – неврологических, психиатрических и, возможно, иных – заболеваний).

В связи с изложенным выше представляется необходимым проведение дальнейших междисциплинарных исследований, рассматривающих проблему “выделения” действительного, “не зашумленного” состояния покоя с разных точек зрения.

Очевидно, что для реализации такого подхода необходимо помимо изучения нейрокогнитив-

ных процессов учитывать динамику вегетативной нервной системы, контролируемую с помощью МРТсП.

Проведенное исследование является инициативным внутренним исследованием, проводимым НИЦ “Курчатовский институт” (приказ № 2752 от 28 октября 2021 года, тема: “Нейрокогнитивные исследования”, пункт 6.6).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Biswal B., Yetkin F.Z., Haughton V.M., Hyde J.S. // *Magn. Reson. Med.* 1995. V. 34 № 4. P. 537.
2. Буккиева Т.А., Чегина Д.С., Ефимцев А.Ю. и др. // *Russian electronic journal of radiology.* 2019. Т. 9. № 2. С. 150. <https://doi.org/10.21569/2222-7415-2019-9-2-150-170>
3. Селивёрстов Ю.А., Селивёрстова Е.В. и др. // Бюллетень Национального общества по изучению болезни Паркинсона и расстройств движения. 2014. № 1. С. 16.
4. Ковальчук М.В., Холодный Ю.И., Орлов В.А. и др. // *Вестник Военного инновационного технополиса “ЭРА”.* 2022. Т. 3. (в печати).
5. Баарс Б., Гейдж Н. Мозг, познание, разум: введение в когнитивные нейронауки. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. Ч. 1. С. 188.