

## МЕТОД МИКРОСТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА ОСЦИЛЛЯТОРНОЙ АКТИВНОСТИ МОЗГА: НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА РИТМОГЕНЕЗ И ФУНКЦИИ ЭЭГ<sup>1</sup>

*Н. Н. Данилова*

МГУ им. М. В. Ломоносова (Москва)

*danilovan@mail.ru*

Методом микроструктурного анализа осцилляций показано, что в условиях активного внимания фронтальные отделы мозга управляют активностью модально-специфической сенсорной коры, что выражается в появлении антиципации, которая первично возникает во фронтальных отделах. Локальные нейронные сети работающего мозга типично синхронизируются на частотах гамма- и бета-ритма, генерируемых частотно-селективными генераторами, отображающими активность пейсмекерных нейронов, встроенных в локальные нейронные сети,

*Ключевые слова:* осцилляции, частотно-селективный генератор, эквивалентный диполь, пейсмекерный нейрон, локальная нейронная сеть.

ЭЭГ широко используется как в диагностике и контроле функциональных состояний, так и в качестве средства – изучения мозговых механизмов когнитивной деятельности человека. Открытие гамма-ритма как самостоятельного вида высокочастотной электрической активности мозга оказало огромное влияние на понимание роли осцилляторной активности мозга в процессах управления когнитивной деятельностью. Возрастание мощности гамма-ритма показано для самых различных когнитивных процессов: внимания, восприятия, опознании объекта, запоминания и сохранения информации в памяти и др. Это в значительной степени побудило исследователей пересмотреть свой взгляд на функции осцилляторной активности мозга. Сегодня частотные составляющие ЭЭГ рассматриваются скорее не как фон, оказывающий модулирующее влияние на деятельность, а как мозговой механизм, включенный в реализацию психических процессов. Однако, несмотря на большой интерес исследователей к осцилляторной активности мозга, многие вопросы продолжают оставаться без ответа. Не ясен ни сам механизм генерации высокочастотных осцилляций, ни способы, которыми гамма- и бета-осцилляции включаются в самые разнообразные когнитивные операции.

Для решения этих задач предлагается новый экспериментальный подход, позволяющий исследовать активность локальных нейронных сетей, на основе локализации источников генерации высокочастотной активности ЭЭГ в гамма- и бета-частотных диапазонах. Он включает создание «Метода микроструктурного анализа осцилляторной активности мозга», использующего данные многоканальной ЭЭГ для вычисления эквивалентных токовых диполей (модель подвижных диполей) для узкополосных частотных составляющих, извлекаемых частотной фильтрацией с шагом в 1 Гц из потенциалов, связанных с событиями (ERP). По полученным координатам эквивалентные диполи накладываются на структурные томографические магнитно-резонансные срезы индивидуального мозга. Сумма полученных диполей для выбранного кванта времени и частотного диапазона используется в качестве меры осцилляторной активности мозга (Данилова, Быкова, 2003). Метод позволяет исследовать мозговую структуру и динамику когнитивных процессов с высоким

1 Работа поддержана РФНФ проект № 10-06 00481а.

временным разрешением. Он базируется на пейсмекерной гипотезе происхождения высокочастотных ритмов ЭЭГ, являющейся альтернативой ансамблевой концепции генерации осцилляторной активности мозга. Пейсмекерная гипотеза исходит из представления о внутриклеточном происхождении ритмической активности мозга, предполагающего поддержание ритмической активности у нейрона, полностью изолированного от связей с другими клетками (Греченко, Соколов, 1979; Соколов, 1981). Эндогенная ритмическая активность «полностью изолированного нейрона» представлена последовательностью негативно-позитивных потенциалов, которые необязательно переходят в спайковые разряды. Нейроны, обладающие эндогенной активностью, принято называть пейсмекерными нейронами. В таких нейронах пейсмекерный механизм, взаимодействующий с хемовозбудимой и электровозбудимой мембраной, превращает нейрон в устройство «с встроенным управляемым генератором» (Соколов, Незлина, 2007). Эти внутриклеточные генераторы и определяют появление ритмов ЭЭГ (Соколов, 2003). Пейсмекерная гипотеза ритмогенеза отвечает базовым характеристикам нейронов. Современные экспериментальные данные свидетельствуют, что все биологические клетки, от нейронов до одноклеточных организмов, обладают способностью к генерации эндогенной волновой активности. Сегодня нейрон рассматривают как активно и динамично работающую часть машины – мощной вычислительной системы. Каждый нейрон состоит из множества потенциальных эндогенных генераторов, чьи характеристики обусловлены свойствами различных ионных каналов и плотностью их распределения по мембране. Каждый нейрон может выполнять свои осцилляторные функции множеством способов. Осцилляторные свойства нейронов контролируются нейронной сетью, в которую он включен. Нейроны с пейсмекерными свойствами широко представлены в самых различных структурах мозга и включены в самые различные психические функции.

Применение метода позволило ввести понятие частотно-селективных генераторов, отображающих активность пейсмекерного или пейсмекерных нейронов, встроенных в локальную нейронную сеть.

Исследование процессов активного и пассивного внимания показало, что для активности частотно-селективных гамма- и бета-генераторов характерна частотно-временная дискретность. Анализ мозговой локализации эквивалентных дипольных источников активированных гамма- и бета-генераторов позволяет выявлять локальные зоны структур мозга, в которых активирован тот или иной генератор. Этим способом можно получать карты очагов активности мозга при реализации самых различных когнитивных процессов. Мозговая локализация эквивалентных диполей активированных частотно-селективных генераторов характеризуется точечной привязкой к структуре мозга (Данилова, 2006). Повторно появляющиеся диполи, отображающие активность определенного частотно-селективного генератора, устойчиво сохраняют свою локализацию.

Предлагаемым методом было исследовано влияние внимания на восприятия звукового стимула, предъявляемого с фиксированным интервалом в 1,5 с. Выполнялась серия с пассивным вниманием (индифферентная) и серия с активным вниманием (моторная), требующая выполнения моторной реакции на выключение звука. Изучение внимания методом микроструктурного анализа показало, что при переходе от пассивного внимания к активному происходит изменение мозговой локализации активированных нейронных сетей. В условиях пассивного восприятия звука (индифферентная серия) локус активности возникает в модально-

специфической слуховой коре. В серии с выполнением моторной реакции на звук, требующей активного внимания, дополнительно возникает активация второй нейронной сети в области медиальной префронтальной коры и передней цингулярной. При этом активация обеих нейронных сетей представлена генераторами, работающими на общей частоте и имеющими одинаковую фазовую задержку относительно звукового стимула. Это один из примеров синхронизации активности пространственно удаленных нейронных сетей, которая формирует из них функциональную систему (Данилова, Быкова, 2003; Данилова, 2006). При этом активность во фронтальных зонах мозга возникает раньше, чем в модально-специфической коре, что указывает на лидирующую роль фронтальной коры в контроле процессов модально-специфической коры. Сам факт активации фронтальных отделов мозга на интервале 100 мс после стимула свидетельствует о том, что уже в составе сенсорного ответа происходит слияние двух потоков информации: top-down и bottom-up. Префронтальную и переднюю поясную кору описывают как систему исполнительного или целенаправленного внимания. Сопоставление локализаций диполей частотно-селективных гамма генераторов во временном окне на интервале 100 мс перед звуковым стимулом и во время сенсорного ответа – 100 мс после стимула показало их хорошее совпадение. Ожидание стимула активирует те же частотно-селективные гамма генераторы и с той же локализацией в мозге, как и сам стимул. Два очага активности, характерные для сенсорного ответа (во фронтальных отделах мозга и височной коре) возникают еще до предъявления стимула, на стадии его ожидания. Диполи во время антиципации и сенсорного ответа обнаруживают большое сходство по координатам. Это позволяет утверждать, что реакция антиципации не только управляет вниманием к стимулу по типу условного рефлекса, но также формирует образ самого стимула, что облегчает и ускоряет процесс опознания самого стимула. Таким образом, в лобной коре в условиях произвольного внимания возникает вспышка гамма-ритма, опережающая реакцию сенсорной коры. Эта антиципация гамма активности возникает в «зеркальных нейронах» или «нейронах интенции». Антиципация в сенсорной коре является следствием антиципации в лобных нейронах.

Таким образом, локализация в структурах мозга активированных частотно-селективных генераторов – эффективный способ выявления активированных локальных нейронных сетей (Данилова, 2009). Это позволяет рассматривать его в качестве эквивалента функциональной магнитно-резонансной томографии, но лишенного ее недостатка – низкого временного разрешения. Предлагаемый метод обнаруживает антиципацию, которая не может быть выявлена компонентным анализом вызванных потенциалов.

## Литература

- Данилова Н. Н., Быкова Н. Б. Осцилляторная активность мозга и информационные процессы // Психология: современные направления междисциплинарных исследований / Под ред. А. Журавлёва, Н. Тарабриной. М.: Изд-во ИП РАН, 2003. С. 271–282.
- Данилова Н. Н. Роль высокочастотных ритмов электрической активности мозга в обеспечении психических процессов // Психология. Журнал ГУ-ВШЭ. 2006. Т. 3. № 2. С. 62–72.
- Данилова Н. Н. Неинвазивное отображение активности локальных нейронных сетей у человека по данным многоканальной регистрации ЭЭГ // Психология. Журнал ГУ-ВШЭ. 2009. Т. 6. № 1. С. 114–131.