

## **Функциональное картирование речевых зон мозга человека: перспективы использования метода магнитоэнцефалографии (МЭГ)<sup>1</sup>**

***А. В. Буторина***

*научный сотрудник центра нейрокогнитивных исследований Московского городского психолого-педагогического университета, Москва*

***А. Н. Шестакова***

*кандидат наук, старший научный сотрудник Санкт-Петербургского государственного университета, Санкт-Петербург*

***А. Ю. Николаева***

*аспирант психологического института Российской академии образования, Москва*

***Т. А. Строганова***

*доктор биологических наук, руководитель центра нейрокогнитивных исследований (МЭГ-центр) Московского городского психолого-педагогического университета, Москва*

***Ю. Ю. Штыров***

*кандидат наук, старший научный сотрудник, руководитель лаборатории магнитоэнцефалографии института исследований познания и мозга Совета Медицинских Исследований, Кембридж, Великобритания*

На сегодняшний день в клинической практике и научных исследованиях остро стоит проблема локализации речевых зон человека. Несмотря на то что два важнейших центра речи человека были выявлены достаточно давно (зоны Брока и Вернике, отвечающие за порождение и понимание речи соответственно), их расположение и даже полушарная латерализация могут сильно варьировать, создавая необходимость в надежной методике картирования, применимой к индивидуальным испытуемым, несмотря на анатомические и функциональные различия.

Одним из самых надежных методов определения межполушарной асимметрии в речевой функции является проба Вада. Данный метод используется в клинике, однако является инвазивной процедурой, что делает его не применимым в научных целях. Другая группа методов основывается на регистрации кровотока мозга (функциональная магнитно-резонансная томография, позитронно-эмиссионная томография и т. д.); данные методы безопасны для человека, но их надежность невелика, а скорость не позволяет регистрировать кратковременную мгновенную активацию в мозге. Последнее делает очевид-

---

<sup>1</sup> Проект поддержан Министерством образования и науки РФ (ГК № 16.518.11.7088).

ной необходимость использования методов с высоким временным разрешением: электроэнцефалографии и магнитоэнцефалографии.

Последние экспериментальные данные говорят о том, что речевые зоны включаются в обработку уже в течение первых 200 мс. Одна из экспериментальных парадигм — так называемая оддболл-парадигма — позволяет регистрировать компонент негативности рассогласования (*mismatch negativity*), имеющий латентность 100—200 мс. Характерные для этого мозгового ответа высокая временная точность, уровень соотношения сигнала к шуму и автоматизм генерации позволяют предложить его в качестве перспективного метода картирования речевых зон.

**Ключевые слова:** картирование, речевые зоны, магнитоэнцефалография, электроэнцефалография, негативность рассогласования.

До недавнего времени проблема локализации речевых зон в коре мозга человека казалась практически решенной. Еще в конце XIX в. были выявлены две важнейшие речевые зоны: зона, отвечающая за восприятие обращенной к человеку речи, — зона Вернике, расположенная в височной коре, и зона, связанная со способностью порождать речевое высказывание, — зона Брока, находящаяся в нижнелобных отделах. Как правило, у праворуких испытуемых обе зоны расположены в левом полушарии [13]. Однако оказалось, что исключения из этого «правила» встречаются достаточно часто. Согласно данным Бенсона, чье исследование признается одним из наиболее репрезентативных, среди праворуких пациентов левополушарная локализация речи была выявлена примерно у 90 % [3]. В остальных случаях имело место «атипичное» распределение речевой функции по полушариям. У леворуких пациентов это распределение еще более размыто.

Первоначально локализация в коре зон Брока и Вернике была определена на основании данных, полученных в клинике органических поражений мозга [6]; [49]. Впоследствии «золотым клиническим стандартом» локализации этих рече-

вых зон в том или ином полушарии стал инвазивный тест, предложенный в 50-х годах прошлого века канадским физиологом Дж. А. Вада [48]. Поочередная кратковременная инактивация полушарий коры мозга с помощью введения в соответствующую каротидную артерию наркотизирующего вещества позволяет определить «доминантное по речи» полушарие у конкретного пациента и таким образом прогнозировать функциональные выпадения и резервы полушарий большого мозга пациента после проведения нейрохирургического вмешательства. Данный метод может применяться только с целью защиты речевых зон от возможных повреждений во время нейрохирургической операции по удалению опухоли, абсцесса или резекции резистентного эпилептического очага. Метод категорически не пригоден для применения в исследовательской практике. Достаточно высокий процент осложнений, возникающих при проведении данного теста (риск кровоизлияния составляет 10—15 %), создает необходимость изобретения новых методов локализации речевых зон в коре мозга человека и для клинических целей. Другая проблема этой методики заключается в ее недостаточной пространственной

точности: она позволяет определить латерализацию речевой функции, но не дает никакой возможности локализовать речевые области внутри полушария, затрудняя таким образом предоперационный прогноз хирургического вмешательства.

В последние десятилетия многие исследователи стали использовать современные методы нейровизуализации: функциональную магнитно-резонансную томографию (фМРТ) и позитронно-эмиссионную томографию (ПЭТ), чтобы разрешить проблему неинвазивной локализации когнитивных функций (в том числе речевой) в коре мозга человека. Основной вывод из этих исследований заключался в том, что речевые стимулы, по сравнению с неречевыми, вызывают более массивную активацию в верхней височной извилине в обоих полушариях, а феномен левополушарного доминирования обнаруживается в умеренной степени и только на групповом уровне [8]; [19]; [47]; [50].

Неопределенность локализации в значительной степени связана с выбором методов исследования. Восприятие речи человеком — чрезвычайно быстрый процесс: смысл слова извлекается из акустических характеристик речевого сигнала в течение долей секунды. Поэтому особенно на ранних стадиях работа отдельных мозговых структур, участвующих в его обработке, совершается почти мгновенно — за десятые доли секунды [44]. ПЭТ и фМРТ позволяют визуализировать медленные (секундные) изменения активности мозга на основании параметров интенсивности кровотока. Таким образом, эти методы являются недостаточно информативными с точки зрения получения данных о моз-

говых основах речевых прессов, поскольку не способны уловить кратковременную активацию нейронных популяций. Лишь технологии, обладающие возможностью непосредственной регистрации электрической нейронной активности, такие как электро- и магнитоэнцефалография (ЭЭГ, МЭГ), могут обеспечить точную информацию о временной динамике.

Методика МЭГ основана на измерении минимальных (порядка  $10^{-13}$  —  $10^{-15}$  тесла, Т) магнитных полей и их градиентов, генерируемых синхронной активностью больших масс нейронов головного мозга. Это достигается с помощью сверхпроводимых сенсоров, расположенных в вакууме с температурой, близкой к абсолютному нулю (температура  $\sim 4$  по Кельвину поддерживается с помощью жидкого гелия). Дальнейшая обработка полученных данных включает сложные компьютерные алгоритмы, с помощью которых сначала выборочно усиливается и определяется та небольшая часть записанного сигнала, которая исходит собственно от мозга. Этот сигнал необходимо очистить от мощного общего электромагнитного фонового шума. После того как это сделано, необходимо идентифицировать внутренние источники мозговой активности на основе внешней записи. Эта обратная задача является в данном случае по определению некорректной, поскольку любые внешние показатели могут быть потенциально объяснены с помощью более чем одной конфигурации внутренних источников. В контексте психофизиологического эксперимента ее решение возможно лишь при наложении ограни-

чений, исходящих из природы экспериментальной задачи и знаний о мозговых анатомических структур и их функций.

Таким образом, задача функционального картирования определяется не только адекватным выбором метода измерения функциональной активности мозга, но и, в не меньшей степени, выбором методических подходов и экспериментальных парадигм, которые смогли бы максимально эффективно использовать технологию регистрации и обработки вызванной электро-магнитной активности мозга.

При выборе экспериментальной парадигмы необходимо учитывать, что анализ речевой информации сопровождается динамическими изменениями активности нейронных ансамблей, причем в доминантном по речи полушарии эти изменения значительно сильнее, чем в «неречевом» [4]; [11]; [14]; [20]; [26]; [29]; [36]. Для успешного понимания речи мозгу требуется мгновенно расшифровать информацию на самых разных уровнях [30]: он должен успеть определить звуки, классифицировать их как фонемы (т. е. именно как речевые звуки), разбить на морфемы и слова, установить между ними грамматические связи и использовать их для того, чтобы построить целостную структуру фразы и понять ее смысл, в конце концов встроить его в общий ситуативный контекст.

Слуховой речевой сигнал обладает комплексом физических характеристик, таких как частотные характеристики, длительность пауз, амплитуда и скорость изменения частотного состава. Речевые зоны мозга человека должны обработать акустические особенности слухового речевого стимула, чтобы приступить к его

фонематическому, а затем и семантическому анализу. Возникает вопрос, в каком временном окне мозг начинает обрабатывать речевой сигнал именно как речь, а не как любой другой сложный слуховой стимул? Только после нахождения ответа на этот вопрос можно будет переходить к проблеме локализации зон мозга, занятых в этом процессе.

Экспериментальные данные показывают, что семантический анализ произнесенного слова начинается в мозге примерно через 200—300 мсек после начала его звучания [7]; [18]; многие исследователи предлагают и намного более ранний интервал: 50—150 мс [43]; [22]. Следовательно, к этому времени мозг либо уже осуществил фонематическую обработку слухоречевого стимула — задача, осуществляемая нейросетями в зоне Вернике [21], либо фонематические процессы идут параллельно с остальным анализом речи на более высоком уровне. У праворуких людей при тяжелом повреждении зоны Вернике в левом полушарии теряется способность воспринимать речь, а речевые фонемы воспринимаются ими как шум [13]. Таким образом, можно предположить, что речевые зоны включаются в обработку уже в течение первых 200 мс звучания слова, и нам необходимо знать, как и что именно происходит в эту пятую долю секунды.

Теоретическая психолингвистика выделяет четыре уровня обработки речи: (1) фонологическая обработка — идентификация фонетических/фонологических единиц в звуковом потоке, (2) лексическая — соотнесение последовательности услышанных фонем с «умственным словарем», (3) семантическая — определение смысла речевого стимула и (4) синтаксическая — анализ граммати-

ческой информации, содержащейся в высказывании.

До сих пор в литературе существуют противоположные взгляды на вопрос, как упорядочены процессы, происходящие на разных уровнях. Одни исследователи предполагают, что обработка речевых сигналов происходит последовательно, путем передачи информации от одного уровня обработки к другому [12]. Другие отстаивают гипотезу о параллельной обработке речевых сигналов на этих уровнях [16]; [23]; [44].

В пользу второго предположения существует ряд экспериментальных подтверждений [39]; [42]; [43]. Данные нейроанатомических и функциональных исследований говорят о том, что передача информации между кортиевым органом и корой больших полушарий по самым быстрым путям занимает не более 10–20 мс [9], дальнейшие 15–20 мс уходят на то, чтобы передать сигнал из основных слуховых зон в нижние отделы лобной доли и в височные области [43]. Следовательно, существуют сильные нейробиологические доводы в пользу того, что как минимум первичное извлечение важной лингвистической информации из речи (если не интеграция ее в более широкий контекст) может осуществляться уже через ~50 мс после начала обработки.

Единственным способом получения прямых экспериментальных доказательств или опровержений этих гипотез является метод МЭГ, обладающий, как уже было указано выше, временным разрешением на уровне миллисекунд и, в комбинации со структурной МРТ, миллиметровым пространственным разрешением.

Подобные исследования проводились с использованием так называемой оддболл-парадигмы (odd-ball paradigm).

В этой парадигме частые (стандартные) слуховые стимулы подаются вперемешку с редкими (девиантными) стимулами. Разница в ответе слуховой коры мозга на редкие стимулы по сравнению со стандартными получила название негативности рассогласования — mismatch negativity (MMN) [1]; [27]. Обычно MMN рассматривают как отражение активации нейронных сетей кратковременной слуховой памяти, локализация которых в мозге зависит от обрабатываемой слуховой информации. Неудивительно поэтому, что MMN на слуховые речевые стимулы ведет себя иначе, чем на неречевые [2]; [33]; [41].

Для решения задачи латерализации и локализации речевых зон важна следующая особенность возникновения MMN на речевые стимулы. Именно речевые звуки (фонемы и слова) сопровождаются сильной левосторонней асимметрией MMN, тогда как равные им по сложности и интенсивности неречевые слуховые стимулы вызывают одинаковую активацию слуховой коры в обоих полушариях [15]; [46]. Более того, ответ MMN на речевые фонемы в левом полушарии задержан, по сравнению с ответом на неречевые стимулы, уравненные с фонемами по сложности физических характеристик [10]; [45]. Более того, локализация паттерна MMN на слова с разным смыслом отражает семантические свойства слов, что дополнительно указывает на чувствительность этого ответа к лингвистической информации [35]. В связи с этими данными можно предположить, что локализация MMN на речевые стимулы в мозге испытуемого может способствовать определению его речевых зон, включающихся в работу уже на этапе обработки фонематической инфор-

мации, содержащейся в прозвучавшем слове [31]. Многократно показано, что выделяемый в вызванной речевыми стимулами магнитной активности мозга компонент MMN локализуется в первую очередь в области верхневисочной извилины левого полушария [28]; [37]; [38]; [42]. Более того, характерные для этого мозгового ответа высокая временная

точность, высокий уровень соотношения сигнала к шуму и автоматизм генерации (методика не требует внимания испытуемых к речи) позволяют предложить его в качестве перспективного метода картирования речевых зон как у здоровых испытуемых, так и у пациентов, ожидающих нейрохирургическое операционное вмешательство.

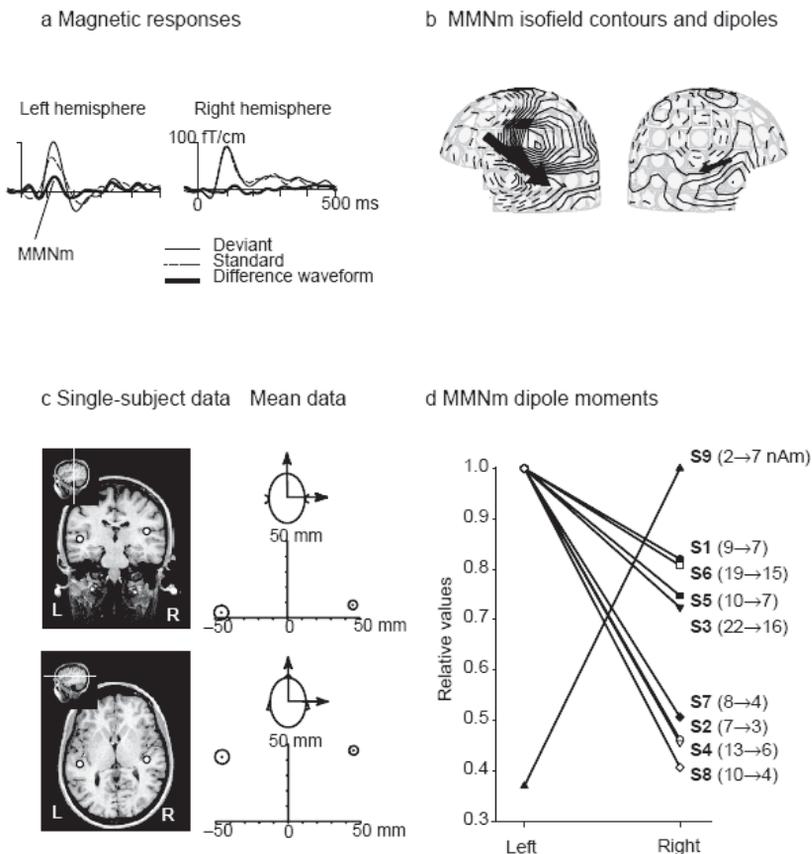


Рис. Пример МЭГ-ответов испытуемого на речевые стимулы. [2] а) представляет собой типичный пример ответов, зарегистрированных на градиометрах (типе сенсоров), представляющих ответы обоих полушарий. На (в) представлены изопотенциальные карты топографии силовых линий магнитного поля с шагом в 8 fT). На (с) части иллюстрации показана идея использования индивидуальной МР томограммы испытуемого для более точной локализации нейронального ответа в височной области; (д) часть представляет собой анализ межполушарной асимметрии по результатам МЭГ картирования для каждого испытуемого. (Адаптировано из Shestakova et al., 2004)

МЭГ метод является также чрезвычайно перспективным для изучения принципов организации лингвистических следов памяти. Бесконечные попытки идентификации уникальной зоны «хранилища слов» в мозге не увенчались успехом, и сегодня в целом принято, что контуры памяти на слова имеют свойство «распределенности» [24]. Возникает вопрос о принципах формирования таких распределенных ансамблей. Существует предположение, что их формирование происходит по принципу ассоциации в процессе взаимного усиления связей между различными (даже удаленными друг от друга) областями коры мозга. Эти связи образуются в то время, когда человек выучивает действия, слова или понятия в сочетании со словами, которые используются для их описания [34]. Референциальные значения являются неотрывной частью семантики слова, и мы считаем, что в мозге они реализуются посредством реализации ассоциативного научения распределенных нейронных популяций по принципу Хебба — при одновременной активации пре- и постсинаптических областей синаптическая передача усиливается [25].

Если лексические репрезентации представлены как распределенные в коре нейронные контуры, а действия, которые означают эти слова, соматотопически отражаются в моторных зонах мозга [32], из этого следует конкретное предположение, что слова, обозначающие действия различных частей тела (например, рука или нога), также будут

вызывать активацию соответствующих зон моторной коры. Это утверждение подтверждается данными ЭЭГ, МЭГ и фМРТ, что соматотопически специализированные зоны моторной коры активируются в ответ на классы слов, «кодирующих» действие соответствующих частей тела [17]; [35]; [40]. МЭГ-данные особенно примечательны тем, что они показывают динамику распределенной активности вовлеченных участков коры с высокой временной и пространственной точностью [5].

Таким образом, за последнее десятилетие стало очевидным, что использование МЭГ-технологии для исследования мозговой активности, связанной с обработкой речи у взрослых и детей, открывает возможность получения качественно новых знаний о процессах восприятия и порождения речи, а также о механизмах освоения языка (родного и иностранного). Совмещение данных МЭГ с результатами МРТ сканирования головного мозга позволят практически впервые разработать методы неинвазивного функционального картирования мозга с целью локализации речевых зон и определения степени их латерализации.

В Центре нейрокognитивных исследований (МЭГ-центре) МГППУ в настоящий момент осуществляется проект по разработке методов и экспериментальных парадигм для определения латерализации процессов восприятия речевых сигналов на слух и процессов кратковременной слухоречевой памяти.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Alho K.* Cerebral generators of mismatch negativity (MMN) and its magnetic counterpart (MMNm) elicited by sound changes // *Ear Hear.* 1995. Vol. 16. № 1. P. 38–51.
2. *Aulanko R., Hari R., Lounasmaa O. V., Naatanen R., Sams M.* Phonetic invariance in the human auditory cortex // *Neuroreport.* 1993. Vol. 4. № 12. P. 1356–1358.
3. *Benson D. F.* Aphasia and related disorders: a clinical approach. In *Principles of behavioral neurology.* Mesulam M-M, (editor). Philadelphia: Davis, 1985. P. 193–238.
4. *Binder J. R., Frost J. A., Hammeke T. A., Cox R. W., Rao S. M., Prieto T.* Human brain language areas identified by functional magnetic resonance imaging // *J Neurosci.* 1997. Vol. 17. № 1. P. 353–362.
5. *Boulinger V., Shtyrov Y., Pulvermuller F.* When do you grasp the idea? MEG evidence for instantaneous idiom understanding // *Neuroimage.* 2012. Vol. 15 № 59 (4). P. 3502–13.
6. *Broca P.* Remarques sur le siege de la faculte du langage articule, suivies d'une observation d'aphemie // *Bulletin de la Societe Anatomique.* 1861. Vol. 36. P. 330–357.
7. *Connolly J. F., Phillips N. A., Forbes K. A.* The effects of phonological and semantic features of sentence-ending words on visual event-related brain potentials // *Electroencephalogr Clin Neurophysiol.* 1995. Vol. 94. № 4. P. 276–287.
8. *Demonet J. F., Chollet F., Ramsay S., Cardebat D., Nespoulous J. L., Wise R., Rascol A., Frackowiak R.* The anatomy of phonological and semantic processing in normal subjects // *Brain.* 1992. Vol. 115 ( Pt. 6). №. P. 1753–1768.
9. *Eldredge D. H., Miller J. D.* Physiology of hearing // *Annu Rev Physiol.* 1971. №. 33. P. 281–310.
10. *Eulitz C., Diesch E., Pantev C., Hampson S., Elbert T.* Magnetic and electric brain activity evoked by the processing of tone and vowel stimuli // *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience.* 1995. 15. № 4. P. 2748–2755.
11. *Fiez J. A., Raichle M. E., Balota D. A., Tallal P., Petersen S. E.* PET activation of posterior temporal regions during auditory word presentation and verb generation // *Cereb Cortex.* 1996. 6. № 1. P. 1–10.
12. *Friederici A. D.* Towards a neural basis of auditory sentence processing // *Trends Cogn Sci.* 2002. 6. № 2. P. 78–84.
13. *Geschwind N.* The organization of language and the brain // *Science.* 1970. 170. № 3961. P. 940–944.
14. *Giraud A. L., Price C. J.* The constraints functional neuroimaging places on classical models of auditory word processing // *J Cogn Neurosci.* 2001. 13. № 6. P. 754–765.
15. *Gootjes L., Raji T., Salmelin R., Hari R.* Left-hemisphere dominance for processing of vowels: a whole-scalp neuromagnetic study // *Neuroreport.* 1999. 10. № 14. P. 2987–2991.
16. *Hagoort P.* The fractionation of spoken language understanding by measuring electrical and magnetic brain signals // *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 2008. 363. № 1493. P. 1055–1069.
17. *Hauk O., Shtyrov Y., Pulvermuller F.* The time course of action and action-word comprehension in the human brain as revealed by neurophysiology // *J Physiol Paris.* 2008. 102. № 1–3. P. 50–58.

18. *Helenius P., Salmelin R., Richardson U., Leinonen S., Lyytinen H.* Abnormal auditory cortical activation in dyslexia 100 msec after speech onset // *J Cogn Neurosci.* 2002. 14. № 4. P. 603–617.
19. *Hickok G., Poeppel D.* Dorsal and ventral streams: a framework for understanding aspects of the functional anatomy of language // *Cognition.* 2004. 92. № 1–2. P. 67–99.
20. *Howard D., Patterson K., Wise R., Brown W. D., Friston K., Weiller C., Frackowiak R.* The cortical localization of the lexicons. Positron emission tomography evidence // *Brain.* 1992. 115 ( Pt 6). №. P. 1769–1782.
21. *Liebenthal E., Binder J.R., Spitzer S. M., Possing E. T., Medler D. A.* Neural substrates of phonemic perception // *Cereb Cortex.* 2005. 15. № 10. P. 1621–1631.
22. *MacGregor L., Pulvermuller F., van Casteren M., Shtyrov Y.* Ultra-rapid access to words in the brain: Neuromagnetic evidence. // *Nature Communications.* 2012. [in press].
23. *Marslen-Wilson W. D.* Functional parallelism in spoken word-recognition // *Cognition.* 1987. 25. № 1–2. P. 71–102.
24. *Mesulam M. M.* Large-scale neurocognitive networks and distributed processing for attention, language, and memory // *Ann Neurol.* 1990. 28. № 5. P. 597–613.
25. *Morris R. G. D. O. Hebb: The Organization of Behavior, Wiley: New York; 1949 // Brain Res Bull.* 1999. Vol. 50. № 5–6. P. 437.
26. *Mummery C.J., Ashburner J., Scott S. K., Wise R.J.* Functional neuroimaging of speech perception in six normal and two aphasic subjects // *J Acoust Soc Am.* 1999. Vol. 106. № 1. P. 449–457.
27. *Näätänen R.* Attention and Brain Function. Lawrence Erlbaum Associates: Hillsdale, NJ, 1992. P. 494.
28. *Naatanen R., Lehtokoski A., Lennes M., Cheour M., Huotilainen M., Iivonen A., Vainio M., Alku P., Ilmoniemi R. J., Luuk A., Allik J., Sinkkonen J., Alho K.* Language-specific phoneme representations revealed by electric and magnetic brain responses // *Nature.* 1997. Vol. 385. № 6615. P. 432–434.
29. *Narain C., Scott S. K., Wise R. J., Rosen S., Leff A., Iversen S. D., Matthews P. M.* Defining a left-lateralized response specific to intelligible speech using fMRI // *Cereb Cortex.* 2003. Vol. 13. № 12. P. 1362–1368.
30. *Norris D., McQueen J. M., Cutler A.* Merging information in speech recognition: feedback is never necessary // *Behav Brain Sci.* 2000. Vol. 23. № 3. P. 299–325; discussion 325–270.
31. *Parviainen T., Helenius P., Salmelin R.* Cortical differentiation of speech and nonspeech sounds at 100 ms: implications for dyslexia // *Cereb Cortex.* 2005. Vol. 15. № 7. P. 1054–1063.
32. *Penfield W., Rasmussen T.* The cerebral cortex of man. Macmillan: New York, 1950. P. 150.
33. *Phillips C., Pellathy T., Marantz A., Yellin E., Wexler K., Poeppel D., McGinnis M., Roberts T.* Auditory cortex accesses phonological categories: an MEG mismatch study // *J Cogn Neurosci.* 2000. Vol. 12. № 6. P. 1038–1055.
34. *Pulvermuller F., Fadiga L.* Active perception: sensorimotor circuits as a cortical basis for language // *Nat Rev Neurosci.* 2010. Vol. 11. № 5. P. 351–360.

35. Pulvermuller F., Shtyrov Y., Ilmoniemi R. Brain signatures of meaning access in action word recognition // *J Cogn Neurosci*. 2005. Vol. 17. № 6. P. 884–892.
36. Scott S. K., Blank C. C., Rosen S., Wise R. J. Identification of a pathway for intelligible speech in the left temporal lobe // *Brain*. 2000. Vol. 123 Pt 12. №. P. 2400–2406.
37. Shestakova A., Brattico E., Huotilainen M., Galunov V., Soloviev A., Sams M., Ilmoniemi R. J., Naatanen R. Abstract phoneme representations in the left temporal cortex: magnetic mismatch negativity study // *Neuroreport*. 2002. Vol. 13. № 14. P. 1813–1816.
38. Shestakova A., Brattico E., Soloviev A., Klucharev V., Huotilainen M. Orderly cortical representation of vowel categories presented by multiple exemplars // *Brain Res Cogn Brain Res*. 2004. Vol. 21. № 3. P. 342–350.
39. Shtyrov Y. Automaticity and attentional control in spoken language processing: neurophysiological evidence // *Mental Lexicon*. 2010. Vol. 5. № 2. P. 255–276.
40. Shtyrov Y., Hauk O., Pulvermuller F. Distributed neuronal networks for encoding category-specific semantic information: the mismatch negativity to action words // *Eur J Neurosci*. 2004. Vol. 19. № 4. P. 1083–1092.
41. Shtyrov Y., Kujala T., Palva S., Ilmoniemi R. J., Naatanen R. Discrimination of speech and of complex nonspeech sounds of different temporal structure in the left and right cerebral hemispheres // *Neuroimage*. 2000. Vol. 12. № 6. P. 657–663.
42. Shtyrov Y., Pihko E., Pulvermuller F. Determinants of dominance: is language laterality explained by physical or linguistic features of speech? // *Neuroimage*. 2005. Vol. 27. № 1. P. 37–47.
43. Shtyrov Y., Pulvermuller F. Early MEG activation dynamics in the left temporal and inferior frontal cortex reflect semantic context integration // *J Cogn Neurosci*. 2007. Vol. 19. № 10. P. 1633–1642.
44. Shtyrov Y., Pulvermuller F. Language in the mismatch negativity design: motivations, benefits and prospects // *Journal of Psychophysiology*. 2007. Vol. 21. № 3–4. P. 176–187.
45. Tiitinen H., Virtanen J., Ilmoniemi R. J., Kampouri J., Ollikainen M., Ruohonen J., Naatanen R. Separation of contamination caused by coil clicks from responses elicited by transcranial magnetic stimulation // *Clin Neurophysiol*. 1999. Vol. 110. № 5. P. 982–985.
46. Vihla M., Salmelin R. Hemispheric balance in processing attended and non-attended vowels and complex tones // *Brain Res Cogn Brain Res*. 2003. Vol. 16. № 2. P. 167–173.
47. Vouloumanos A., Kiehl K. A., Werker J. F., Liddle P. F. Detection of sounds in the auditory stream: event-related fMRI evidence for differential activation to speech and non-speech // *J Cogn Neurosci*. 2001. Vol. 13. № 7. P. 994–1005.
48. Wada J. A. Youthful season revisited // *Brain Cogn*. 1997. Vol. 33. № 1. P. 7–10.
49. Wernicke C. Der aphasische Symptomencomplex. Eine psychologische Studie auf anatomischer Basis. Kohn und Weigert: Breslau, 1874. c.
50. Zatorre R. J., Meyer E., Gjedde A., Evans A. C. PET studies of phonetic processing of speech: review, replication, and reanalysis // *Cereb Cortex*. 1996. Vol. 6. № 1. P. 21–30.

## **Magneto encephalography (MEG): perspectives of speech areas functional mapping in human subjects<sup>1</sup>**

**A. V. Butorina**

*research fellow of the Center for Neuro-Cognitive investigation (MEG-Center), Moscow State University of Psychology and Education, Moscow*

**A. N. Shestakova**

*Ph.D, senior research fellow of the Snt-Petersburg State University, Snt Petersburg*

**A. Yu. Nikolaeva**

*postgraduate student of the Psychological Institute of the Russian Academy of Education, Moscow*

**T. A. Stroganova**

*doctor of biology, head of the Center for Neuro-Cognitive investigation (MEG-Center), Moscow State University of Psychology and Education, Moscow*

**Yu. Yu. Shtyrov**

*Ph.D, senior research fellow, head of the laboratory of magnetoencephalography; Medical Research Council, Cognition and Brain Studies Unit, Cambridge, UK*

One of the main problems in clinical practice and academic research is how to localize speech zones in the human brain. Two speech areas (Broca and Wernicke areas) that are responsible for language production and for understanding of written and spoken language have been known since the past century. Their location and even hemispheric lateralization have a substantial inter-individual variability, especially in neurosurgery patients. Wada test is one of the most frequently used invasive methodology for speech hemispheric lateralization in neurosurgery patients. However, besides relatively high-risk of Wada test for patient's health, it has its own limitation, e. g. low reliability of Wada-based evidence of verbal memory brain lateralization. Therefore, there is an urgent need for non-invasive, reliable methods of speech zones mapping.

The current review summarizes the recent experimental evidence from magnetoencephalographic (MEG) research suggesting that speech areas are included in the speech processing within the first 200 ms after the word onset. The electro-magnetic response to deviant word, mismatch negativity wave with latency of 100–200 ms, can be recorded from auditory cortex within the oddball-paradigm. We provide the argu-

---

<sup>1</sup> Supported by the Minister of Education and Science of Russian Federation (GK № 16.518.11.7088).

ments that basic features of this brain response, such as its automatic, pre-attentive nature, high signal to noise ratio, source localization at superior temporal sulcus, make it a promising vehicle for non-invasive MEG-based speech areas mapping in neurosurgery.

**Keywords:** mapping, speech zones, magneto encephalography, electroencephalography, MMN.