

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МЕЖПОЛУШАРНАЯ АСИММЕТРИЯ И ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ В СЕНСОРНЫХ СИСТЕМАХ

Павловская М.А., Айдаркин Е.К.,

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

mpavlovskaya@mail.ru

Главной функцией любой перцептивной системы является извлечение полезной информации из потока сигналов, посредством балансирования уровня произвольного и непроизвольного внимания [1, 2]. Известные данные относительно межполушарного мозгового обеспечения помехоустойчивости разноречивы. Одни авторы [3, 4, 5, 10] считают помехоустойчивость в значительной степени функцией структур правого полушария, другие [4, 6] приходят к выводу о большем отрицательном влиянии помехи на работу того полушария, которое делает больший вклад в реализацию исследуемой функции. Борьба со зрительным «шумом» входит в функцию правого полушария. Однако помехоустойчивость двигательной сферы находится в ведении левого полушария. При исследовании помехоустойчивости, анализируется ее специфика для сенсорной [9], моторной [8] и когнитивной [7] составляющих сенсомоторной интеграции.

Оценка помехоустойчивости сенсорных систем традиционно осуществляется через соотношения правильных/неправильных ответов, сигнал/шум, а также с использованием маскировочной парадигмы в условиях обнаружения (простая сенсомоторная реакция) или различения сенсорных стимулов (сложная сенсомоторная реакция). Основными механизмами помехоустойчивости можно считать фильтрацию сигнала и конкуренцию отдельных нейронных ансамблей, активированных в результате анализа параллельной информации. При исследовании помехоустойчивости анализируется эффективность выполненной реакции (обнаружения или различения), зависящая от сенсорной, моторной и когнитивной составляющих.

Способность системы к повышению эффективности распознавания полезного сигнала при наличии помех внутри сенсорного канала проявляется в виде эндогенной (когнитивной) помехоустойчивости, развивающейся за счет снижения чувствительности или повышения уровня непроизвольного внимания, приводящих к снижению количества ошибочных реакций или пропусков стимула. Проблема исследований эндогенной помехоустойчивости связана с выбором критерия принятия сенсорного и моторного решения (последовательно или параллельно), а также

готовности системы к восприятию информации (стадия ожидания), нейрофизиологические механизмы которых недостаточно изучены.

Следовательно, целью настоящей работы выступало исследование нейрофизиологических процессов эндогенной (когнитивной) и экзогенной помехоустойчивости слуховой и зрительной систем, основанных на механизмах лабильности, взаимодействия произвольного и непроизвольного внимания, а также механизм межполушарной и лобно-затылочной асимметрии динамики мозговых фокусов максимальной активности, используемых при анализе сенсорно-специфической информации и участвующих в сенсомоторной интеграции.

В качестве дифференцирующих тестовых стимулов в процедуре слуховой маскировки предъявлялись тональные посылки различной частоты (1 кГц и 1,2 кГц), интенсивностью 60 дБ, длительностью 30 мс. Маскером выступал 90 дБ тон, частотой 1,1 кГц, такой же длительности. Для зрительной модальности были использованы 1 или 2 вспышки (интервал 70 мс) яркостью 9 Кд и длительность по 1 мс, маскируемые пятью безинтервальными вспышками. Для оценки влияния маскера на эффективность выполнения тестового задания использовался фиксированный ряд маскировочных интервалов (300, 200, 100 и 50 мс). Регистрация ЭЭГ, ВР и режим стимуляции осуществлялись при помощи компьютерного энцефалографа-анализатора «Энцефалан-131-03» (Таганрог, Россия). Анализ ССП и ВР проводился в среде MATLAB.

Анализ динамики ВР (Рис. 1) показал, что при равновероятном предъявлении стимулов в условиях как прямой маскировки (ПМ), так и обратной маскировки (ОМ) ВР было достоверно меньше для частого ($p=0,85$) стимула. При сравнении ВР в условиях слуховой стимуляции для разных рук было обнаружено, что для частого стимула ($p=0,85$) ВР ниже для левой руки, в то время как на редкий стимул ($p=0,15$) обследуемый быстрее реагировал правой рукой. Зрительная стимуляция отмечена преобладанием ответов правой руки для частого стимула, и левой – для редкого.

Исследование ВР в фиксированном ряду маскировочных интервалов выявило существенные различия, которые демонстрировали увеличение ВР в условиях ОМ, относительно результатов контрольной серии бинарного различения, что, возможно, связано с сокращением необходимых для опознания ресурсов внимания, перераспределяемых для восприятия маскера. В случае ПМ наблюдалось укорочение ВР за счет предупреждающей функции маскера. Следует отметить статистически значимые различия ВР, выполненные левой и правой руками. При этом преобладание

левой руки (снижение ВР) наблюдалось в парадигме слуховой маскировки, а правой – при зрительной на всем тестируемом диапазоне маскировочных интервалов.

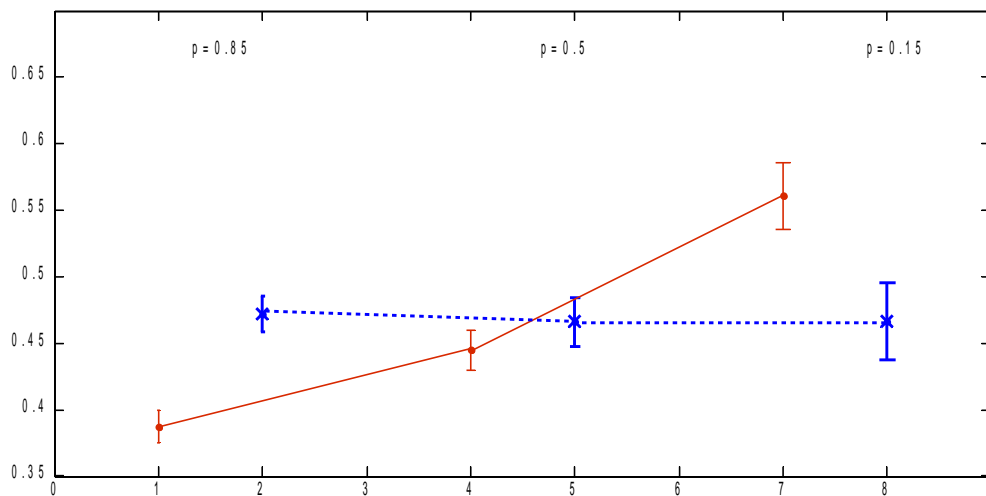


Рисунок 1 – Время реакции левой и правой рук при изменении вероятности слуховой стимуляции

Сплошной линией отмечены значения ответов ВР левой руки, пунктирной – правой руки. $p=0,85$; $0,5$; и $0,15$ – вероятность стимула в «odd-ball» парадигме.

Доминирование по ВР можно объяснить проекцией двигательной реакции в область, контролирующей выполнение СМИ, что более эффективно реализует функцию управления и переключения ресурсов внимания, приводя к улучшению реализации тестовой задачи. Обработка слуховой информации базируется на произвольном внимании, нейрофизиологические механизмы которого, вероятно, лучше интегрирует информацию о сенсорном и двигательном ответе левой руки в правом полушарии. Для реализации зрительных задач необходим значительный ресурс произвольного внимания, объединяющим потоки сенсорной и двигательной реакции, реализуемой правой рукой в левом полушарии с целью формирования оптимальной СМИ.

Сокращение маскировочного интервала в условиях разноразмерной стимуляции приводило к статистически значимому монотонному росту ВР на всем диапазоне исследуемых маскировочных интервалов, что связано с активацией аналогичных механизмов центральной и периферической маскировки, наблюдаемых при равновероятном предъявлении стимулов различной модальности.

Следовательно, в основе асимметрии ВР (изменение скорости распознавания стимулов) в условиях последовательной маскировки лежит механизм регуляции уровня произвольного и непроизвольного внимания, оптимизирующего процесс различения целевых зрительных и слуховых стимулов, соответственно. Ответы правой рукой наиболее помехоустойчивы в случае слуховой стимуляции, а левой – в случае зрительной.

Анализ электрофизиологических показателей по параметрам ССП показал, что процедура последовательной маскировки представляет парадигму, позволяющую изучить воздействие маскирующего стимула на различные стадии СМИ, отражающихся в развитии основных компонентов ССП: N1, NP, N2, P2 и P3 в условиях ОМ, и позволяет прояснить вопрос генеза волны ожидания и механизмы игнорирования маскировочного стимула при ПМ.

На стадии ожидания целевого стимула обнаружено одновременное существование контингентной негативной волны в теменно-центральной области и позитивной волны в лобной области. Метод картирования основных компонентов ССП позволил выявить природу данного процесса. Скорее всего, дельта ритм в виде негативной волны на стадии ожидания связан с активацией таламо-париетальной системы, ответственной за непроизвольное внимание, обеспечивая снижение порогов последующего восприятия. Тогда как, возникающее одновременно позитивное тета-колебание отражало процесс притормаживания таламо-фронтальной системы, контролирующей механизмы произвольного контроля сенсорных и моторных процессов, предотвращая появление «ложных» тревог. Взаимодействие этих двух процессов образует первый цикл регуляции. Изменение вероятности целевого стимула («odd-ball» парадигма) в условиях последовательной маскировки приводило к ярко выраженной асимметрии негативного теменно-центрального фокуса уже на стадии ожидания, с преобладанием его в правом полушарии при редкой звуковой стимуляции (Рис. 2). Этот факт может быть связан с формированием центра достимульной организации СМИ, контролирующей запуск сенсорного анализа стимула.

Сенсорная активация коры (N1) нейронами-детекторами была связана со смещением фокуса негативности из теменной области во фронтальную, что свидетельствует о том, что доминирование таламо-париетальной системы в период ожидания сменяется активацией таламо-фронтальной на этапе анализа физических параметров целевого стимула.

Стадия распознавания целевых стимулов сопровождалась развитием НР на заднем фронте N1, которая приводила к уменьшению выраженности N2 и генерации мощной волны P3. Эта взаимосвязь является центральным механизмом, составляющим нейрофизиологическую основу работы сенсорно-специфической системы по различению стимулов, сопровождающейся активацией произвольного внимания [1].

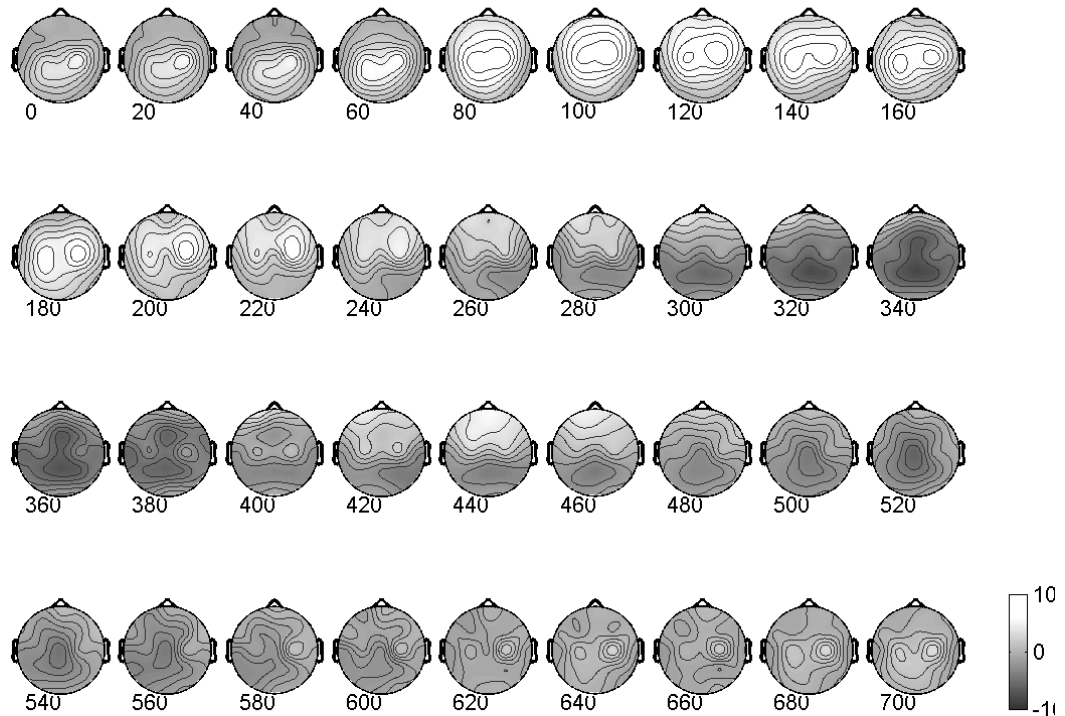


Рисунок 2 - Динамика изопотенциальных карт слуховых ССП в условиях обратной маскировки с интервалом 20 мс относительно предъявления стимула.

Вероятность целевого стимула $p=0,15$, интервал составляет 300 мс.

Негативность рассогласования была локализована в височных областях для слуховой стимуляции и в затылочной - при зрительном различении, с двумя фокусами негативности в левом и правом (доминирующим при предъявлении редкого стимула) полушариях. Такой вид асимметричного расположения негативного фокуса аналогичен негативизации, предшествующей подаче стимула на стадии ожидания, и может отражать процесс восстановления СМИ, сформированной в достимульный период, который был прерван процессом анализа физических признаков стимула. Кроме того, следует отметить, что в случае слуховой дифференцировки целевых стимулов наблюдалось асимметричное расположение негативных фокусов относительно центральных областей, т.е. локализация в правом полушарии приходилась на верхневисочную область, а в левом полушарии ближе к нижнетеменной. Оба фокуса

находились в местах пересечения дорсальных и вентральных потоков обработки слуховой и зрительной информации, соответственно [11]. Компонент P2 ССП, локализованный в фронто-центральных отведениях в процессе анализа целевого стимула частично редуцировался при уменьшении интервала между целевым и маскировочным стимулом в результате формирования волны НР. N2 и P2 имеют тета-ритмическую природу и развиваются одновременно, что свидетельствует о наличии механизма корково-гиппокампальной модуляции сенсорного процесса с вовлечением ресурсов памяти, что представляет второй цикл регуляции СМИ.

Процедура подготовки к реализации СМИ, связанная с процессами уменьшения степеней свободы отражалась в развитии P3. Локализация данного компонента связана с формированием двух диапазонов позитивности в лобно-центральной и теменной областях головного мозга, расположенных саггитально. Лобная волна, преобладающая в случае зрительной стимуляции, и соответствующая P3a, лежала в тета-диапазоне и, вероятно, притормаживала процессы, связанные с произвольным контролем со стороны таламо-фронтальной системы. Теменная позитивность, выраженная лучше в случае слуховой маскировки, в виде P3b развивалась в дельта-диапазоне (1-2 Гц), что, скорее всего, соответствовало процессам деактивации таламо-париетальной системы в третьем цикле регуляции СМИ.

Таким образом, реализация сенсомоторной интеграции связана с взаимодействием фронтальной системы, проявляющейся в активации билатерально симметричных процессов развития негативно-позитивных тета-колебаний (N1, P2, N2, P3a) ССП, и париетальной, отражающейся в асимметричных процессах развития дельта-колебаний (CNV, MMN, P3b) ССП с доминированием правого полушария на этапах ожидания и принятия решения. В условиях обратной маскировки маскер воздействовал, в первую очередь, на тета-колебания ССП, снижая эффективность деятельности фронтальной системы внимания. В условиях прямой маскировки маскер воздействовал на дельта-компонент ССП, оптимизируя сенсомоторную интеграцию.

Список цитируемой литературы:

1. Айдаркин Е.К. Нейрофизиологические механизмы формирования сенсомоторной интеграции // Валеология, №3, 2007. С. 93-103.
2. Айдаркин Е.К., Павловская М.А., Одинцова Н.А. Нейрофизиологические закономерности последовательной маскировки в зрительной и слуховой системах // Валеология. - 2008, №4. - С. 63-81.
3. Балонов Л. Я., Деглин В. Л. Слух и речь доминантного и недоминантного полушария. Л., 1976.

4. Королева И. В., Адикашвили Д. Н., Шургая Г. Г. Электрофизиологический анализ межполушарных различий помехоустойчивости // Физиология человека. 1987. Т. 13. № 3.
5. Меерсон Я. А., Трауготт Н. Н., Удалова Г. П. Полушарная специализация функции помехоустойчивости в процессе эволюции // Вопросы эволюционной физиологии: Тез. докл. 8-го совещ. по эволюц. физиологии. Л., 1982.
6. Морозов В. П. и др. Восприятие речи: Вопросы функциональной асимметрии мозга. Л., 1988.
7. Отмахова Н.А., Коновалов В.Ф. Межполушарные различия и взаимодействие полушарий // Успехи физиол. Наук. = 1988. - Т.19, №1. - С. 51-70.
8. Помехоустойчивость движений спортсмена / Под ред. А. В. Ивойлова. Волгоград, 1981.
9. Соловова Л. М. Исследование обнаружения сигналов разной длительности на фоне стационарных помех // Уч. зап. ЛГУ. 1975. Вып. 6. № 380.
10. Трауготт Н. Н. Межполушарные взаимоотношения при локальных поражениях головного мозга // Нейропсихологический анализ межполушарной асимметрии мозга / Под ред. Е. Д. Хомской. М., 1986.
11. Hall D. Auditory Pathways: Are 'What' and 'Where' Appropriate? *Current Biology*, Vol. 13, P. 406–408, May 13, 2003.