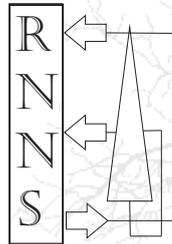




Федеральное агентство
по науке и инновациям



SOUTHERN
FEDERAL
UNIVERSITY



I.P.Pavlov's
Physiological Society

National Committee
of the RAS
for Pattern Recognition
and Image Analysis

Материалы
XV Международной конференции
по нейрокибернетике
23-25 сентября, 2009

Proceedings
XV International Conference
on Neurocybernetics
23-25 September, 2009

Том 1.
Секционные доклады

Volume 1.
Sections reports

Ростов-на-Дону
2009

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ПРОСТЫХ ВЕРБАЛЬНЫХ И НЕВЕРБАЛЬНЫХ СТИМУЛОВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ МОЗГА

Е.К. Айдаркин, А.С. Богун

Южный федеральный университет, aek@mis.sfedu.ru, a_bogun@mail.ru

The changing of the reaction time, ERP and EEG characteristics during the simple and complex arithmetic task is shown. The brain localization of the semantic content of numbers during the process of digit's differentiation is discussed.

деятельности по распознаванию вербальных и невербальных стимулов.

Методика

Введение

Процесс распознавания однозначных чисел в литературе рассматривается как базовая арифметическая операция, лежащая в основе осуществления вычислений. Любые арифметические операции требуют активации процессов кратковременной и долговременной памяти, поскольку существует необходимость извлечения и удержания результата. Хотя вопрос ранжирования арифметических действий по сложности в литературе остается дискуссионным [1], процедура дифференцировки чисел может рассматриваться как простейшая задача, требующая осознанных манипуляций с числами. В то же время работ, посвященных анализу влияния семантического содержания числа на характеристики электрической активности мозга, в литературе относительно немного ([2], [3], [6], [7]), а в сопоставлении с простыми невербальными стимулами фактически отсутствуют. Данный вопрос, однако, представляет большой интерес, поскольку доказано, что разные стадии процесса восприятия стимула находят отражение в разных компонентах ССП. Общеизвестным является мнение об отражении в ранних компонентах ССП процесса восприятия стимула, а в поздних – включения процессов памяти и анализа содержания стимула. В связи с этим целью исследования стала оценка времени реакции, параметров электроэнцефалограммы и связанных с событием потенциалов при выполнении

В исследовании приняли участие 20 человек (12 женщин, 8 мужчин в возрасте 24 ± 0.5 лет). В ходе обследования испытуемые находились в затемненной звукоизолированной комнате в положении сидя за компьютерным столом. Процедура обследования состояла из ряда проб:

- Фоновая проба - спокойное бодрствование с открытыми глазами в течение 5 минут.
- Выполнение простой зрительно-моторной реакции (ПЗМР) на невербальные (квадраты черного цвета (2x2 см)) и вербальные (однозначные цифры от 0 до 9, высотой 2 см, черного цвета) стимулы поочередно. Задача испытуемого - нажатие на кнопку манипулятора при появлении стимула
- Выполнение сложной зрительно-моторной реакции (СЗМР) на невербальные (квадраты серого и черного цветов) и вербальные стимулы поочередно. Задача испытуемого - нажатие правой рукой на правую кнопку при появлении серого квадрата (четной цифры) и левой рукой на левую кнопку при появлении черного квадрата (нечетной цифры).

Все стимулы были выровнены по размеру и яркости и предъявлялись на сером фоне на экране компьютера, находящемся на расстоянии 1 м на уровне глаз испытуемого. В каждой пробе было 120 повторов стимулов. Длительность предъявления стимула составляла 300 мс, межстимульный интервал $2 \text{ с} \pm 20\%$. Для СЗМР стимулы 2 групп равновероятны. Предъявление стимулов проводилось с использованием ПО «Аудиовизуальный слайдер». ЭЭГ регистрировалась с

помощью компьютерного электроэнцефалографа-анализатора «Энцефалан-131-03» (НПКФ «Медиком-МТД», г. Таганрог), монополярно по системе 10-20 в 19 отведениях с шагом дискретизации 4 мс и частотной полосой пропускания 0,5-70 Гц. Референтные электроды располагались на мастоидальных отростках черепа, индифферентный электрод - на лбу. Оцифрованная ЭЭГ экспортировалась в MATLAB, где рассчитывались время реакции (ВР), спектральная мощность основных ритмических диапазонов ЭЭГ и суммарные ССП относительно момента предъявления стимула. Эпоха анализа ССП составляла 1000 мс. Для оценки локализации фокуса максимальной выраженности компонента строились изопотенциальные карты методом экстраполяции значений, полученных в 19 отведениях. Статистическая обработка данных ВР проводилась в ПО «STATISTICA 7», достоверность различий оценивалась с использованием t-критерия Стьюдента.

Результаты и обсуждение

На рисунке 1 представлены значения ВР для всех типов стимулов. Время ПЗМР на вербальные и невербальные стимулы достоверно не различалась, что говорит об отсутствии процесса анализа содержания стимула при выполнении данной задачи. В то же время для обоих типов стимулов показана асимметрия ВР. Для невербального стимула значения данного параметра при выполнении и простой, и сложной деятельности оказывалось достоверно выше при нажатиях правой рукой. Большая часть значений ВР находилась в диапазоне 200-300 мс для простой реакции и 300 - 450 мс для сложной. Асимметрия ВР сохранялась и для вербального стимула, но имела противоположную направленность – более высокие значения этого параметра были показаны при выполнении нажатий левой рукой.

Сравнение ВР СЗМР показало наличие достоверных различий между ВР

СЗМР на вербальный стимул в сравнении с невербальным. Различия составляли около 150 мс ($p=0,000$) вкупе с увеличением разброса значений ВР (большая часть значений находилась в диапазоне от 300 до 600 мс). Поскольку сложность деятельности при выполнении СЗМР для обоих типов стимулов была сходна, можно предполагать, что возрастание ВР при работе с цифрами является отражением процесса семантической обработки стимула (в котором, по данным литературы, больше задействовано левое полушарие), а также привлечения дополнительных ресурсов внимания.

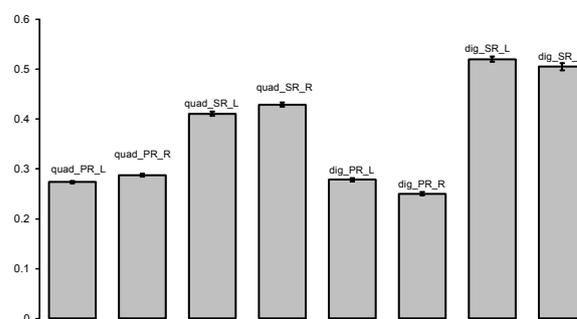


Рис. 1. Значения ВР для вербальных и невербальных стимулов. Обозначения: quad_PR_L – ПЗМР, невербальный стимул, нажатия левой рукой; quad_PR_R – ПЗМР, невербальный стимул, нажатия правой рукой; quad_SR_L – СЗМР, невербальный стимул, нажатия левой рукой; quad_SR_R – СЗМР, невербальный стимул, нажатия правой рукой; dig_PR_L – ПЗМР, вербальный стимул, нажатия левой рукой; dig_PR_R – ПЗМР, вербальный стимул, нажатия правой рукой; dig_SR_L – СЗМР, вербальный стимул, нажатия левой рукой; dig_SR_R – СЗМР, вербальный стимул, нажатия правой рукой.

Небольшие значения ВР для левой руки при анализе невербальных (правой для вербальных) стимулов могут оказаться связанным с ипсилатеральной локализацией моторного представительства руки, механизмов внимания и анализа соответствующего типа стимулов, за счет чего время центральной задержки снижалось и ВР оказывалось меньше. С этой позиции большие значения ВР могут объясняться включением дополнительных стадий обработки стимула и ростом центральной задержки за счет локализации моторного центра контралатерально по отношению к процессу анализа стимула.

Изменение спектральных характеристик ритмических диапазонов ЭЭГ слабо различались для всех проб. В качестве иллюстрации на рисунке 2 представлено распределение спектральной мощности ритмов ЭЭГ для вербального стимула. Можно видеть, что выполнение сложной деятельности сопровождалось возрастанием спектральной мощности в диапазоне дельта- и тета-частот с фокусами в лобных областях и распространением в центральные и теменные. Наблюдающиеся в височных областях активационные изменения ЭЭГ в области бета-частот, возможно, связаны с обработкой и первичным анализом информации, поступающей при предъявлении цифр.

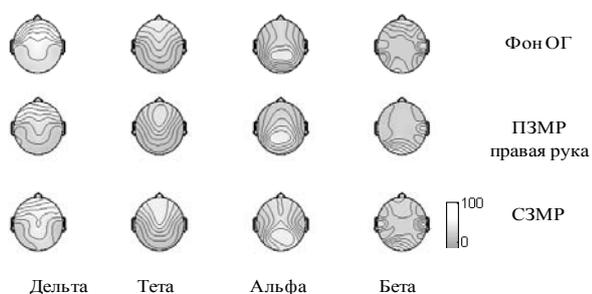


Рис.2 Динамика спектральных характеристики основных ритмических диапазонов ЭЭГ для вербального стимула

Конфигурация ССП при выполнении ПЗМР на вербальные и невербальные стимулы была сходна и состояла из компонента N100, формировавшегося на этапе различения стимула (80-100 мс), компонентов N200 и P3a с фокусами в лобных областях.

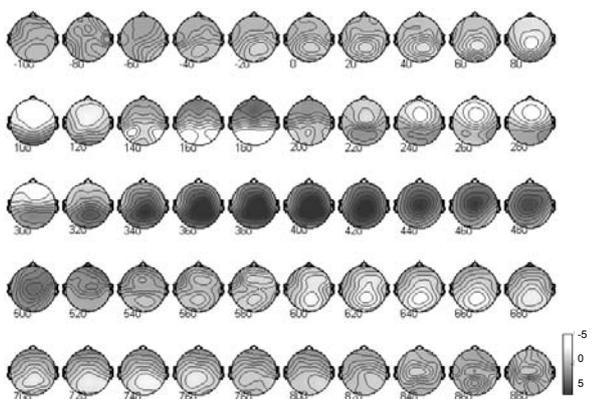


Рис.3. Динамика мгновенных значений амплитуд ССП на невербальные стимулы при выполнении СЗМР. Нажатия правой рукой.

Основные различия характеристик ССП между типами стимулов проявлялись при выполнении сложной реакции. На рисунке 3 представлены карты мгновенных значений амплитуд ССП при выполнении СЗМР на невербальный стимул.

Из рисунка следует, что в сравнении с простой реакцией происходит возрастание амплитуды компонентов N100 и N200. Вероятнее всего, наблюдается т.н. сенсорное усиление, связанное с активацией дополнительных ресурсов внимания (по [11]) и ретикулярной формации, которая является критичной в системе внимания [9]. Рост компонента N200 также может быть связан с осознанием стимула, повышением его значимости и привлечением ресурсов произвольного внимания к выполнению задания ([11], [10]).

Далее формировался выраженный P3 комплекс, в котором отражались реализация когнитивной деятельности (в виде формирования в теменно-затылочных областях волны т.н. когнитивной волны P3б, связанной с активацией системы селекции зрительных стимулов ([5]; [8], цит. по [9]) и принятия решения), и поздней волны P3a в лобных областях, связанной с подготовкой моторной реакции.

Отличием от простой реакции является формирование в теменно-затылочной области позднего негативного компонента (ПНК), латентный период (ЛП) которого превышал ВР и составлял 600 мс. Это связывается с процессом анализа правильности ответа и механизмами контроля результата действия ([12], [7], цит.по [2]) после выполнения моторной реакции.

На рисунке 4 представлена динамика амплитудно-временных характеристик ССП при выполнении СЗМР на вербальный стимул. Наблюдается увеличение амплитуды компонента N100 в сравнении и с простой реакцией, и со сложной на невербальный стимул. Помимо упомянутого сенсорного усиления, можно связывать изменения этого компонента с увеличением значимости стимула, и на основании литературных данных

сопоставить с ростом мощности тета-ритма [4], что выявлено при анализе данных ЭЭГ.

На 220 в центральной лобной области возникает компонент N200, рост амплитуды которого также связан с привлечением дополнительных ресурсов произвольного внимания к выполнению задания [11], [10]) за счет большего числа альтернатив. Распространение фокуса N200 влево может указывать на активацию процесса внутренней речи [2] топографически локализованной в области моторного центра речи. Это связано со способом хранения цифровых данных в т.ч. посредством вербальных ассоциаций, что требует участия речевых центров.

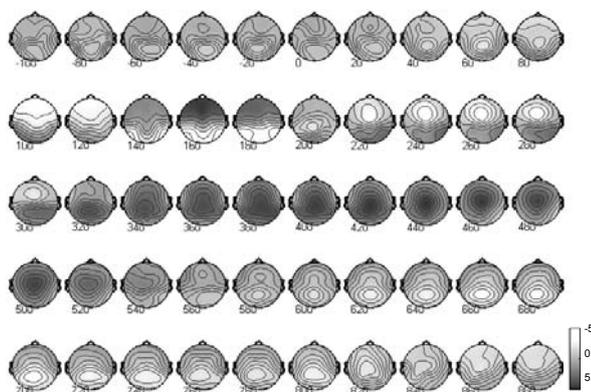


Рис. 4. Динамика мгновенных значений амплитуд ССП на вербальные стимулы при выполнении СЗМР. Нажатия правой рукой.

На 300 мс формируется сходный P3 комплекс, состоящий из когнитивного компонента P3б и двигательной волны P3а. Увеличение выраженности позднего позитивного компонента при выполнении операций с цифрами рассматривается также как отражение процесса извлечения и сохранения результата арифметических операций в кратковременной памяти [3] и активации произвольного внимания [9].

Формирование ПНК происходило на 640 мс. Рост ЛП и смещение фокуса в правые теменные области, возможно, связано с локализацией здесь в неспецифических структурах процесса количественной обработки числа [1] и актуализацией информации о четности чисел с использованием описанного в [10] механизма извлечения следов из долговременной памяти (что связывается с

активностью гиппокампа и подтверждается усилением тета-волн). Интересно отметить, что в литературе формирование данного компонента описано при реализации арифметических вычислений [6];[7],[2], тогда как для процесса дифференцировки чисел не отмечалось.

Список литературы

1. Dehaene, S., Piazza, M., Pinel, P., Cohen, L. Three parietal circuits for number processing. // *Cognitive Neuropsychology*, 2003, 20(3–6), 487–506.
2. Domahs F., Domahs U., Schlesewsky M., Ratinckx E., Verguts T., Willmes K., Nuerk H. Neighborhood consistency in mental arithmetic: behavioral and ERP evidence // *Behavioral and Brain Functions*, 2007, т. 3, № 66, pp.1-42.
3. Iguchi Y., Hashimoto I. Sequential information processing during a mental arithmetic is reflected in the time course of event-related brain potentials // *Clinical Neurophysiology*, 2000, V.111, - pp. 204 - 213
4. Klimesch W. EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis // *Brain Research Reviews*. - 1999. - № 29. - P. 169.
5. Mangun G.R. Neural mechanisms of visual selective attention // *Psychophysiology*, 1995, V.32, P.4.
6. Niedeggen M, Rösler F, Jost K: Processing of incongruous mental calculation problems: Evidence for an arithmetic N400 effect // *Psychophysiology* 1999, V. 36, p. 307-324.
7. Niedeggen M, Rösler F. N400 effects reflect activation spread during retrieval of arithmetic facts // *Psychological Science*, 1999, V. 10, p. 271-276.
8. Perraut N., Priston T. Event-related potentials recorded from the scalp and nasopharynx. 2. N2,P3 and slow wave // *EEG and clinical Neurophysiol.*, 1984, V. 59. № 4. p.261.
9. Баранов-Крылов И.Н., Шуваев В.Т. Нейрофизиологические индикаторы произвольного и непроизвольного зрительного внимания у человека // *Физиология человека*, 2000, т. 26, № 6 – с. 31-40.
10. Иваницкий А.М., Ильюченко И.Р., Иваницкий Г.А. Избирательное внимание и память – вызванные потенциалы при конкуренции зрительных и слуховых словесных сигналов // *Журнал высшей нервной деятельности*, 2003, т. 53, № 5. - с 541-551.
11. Костандов Э.А., Захарова Н.Н. Зависимость поздних вызванных потенциалов от комплекса когнитивных факторов // *Журнал высшей нервной деятельности*, 1992. Т. 42, № 3. - с. 477–489.
12. Маршинин Б.А. Потенциалы мозга при восприятии и суммировании цифр в уме // *Психологический журнал*, 1990, т. 11, № 2. – с. 82-89