

# ХАРАКТЕРИСТИКИ УСЛОВНОГО НЕГАТИВНОГО ОТКЛОНЕНИЯ ПРИ ПРОИЗВОЛЬНОМ И НЕПРОИЗВОЛЬНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИНТЕРВАЛОВ ВРЕМЕНИ В ЗАДАЧЕ ВЫБОРА

А.А. Медынцев (Москва)

**Аннотация.** В процессе выявления различий в активности мозга при произвольном и непроизвольном использовании интервалов времени между двумя событиями в задаче двухальтернативного выбора обнаружено, что произвольная и непроизвольная оценки длительности интервалов времени отражаются в амплитуде УНО.

**Ключевые слова:** условное негативное отклонение (УНО), ЭЭГ, интервалы времени, оценка времени, произвольное, непроизвольное, задача выбора.

Под «произвольным действием» большинством авторов обычно понимаются существование намерения действовать, цель действия и контроль над его совершением [1, 20].

Время играет важную роль в организации повседневной деятельности человека [6]. Отмечено, что информация о длительности интервалов времени между значимыми событиями вовлечена в организацию как произвольной деятельности [13], так и непроизвольной, например автоматизированных двигательных навыков [12].

В современной литературе существует немало работ, в которых показано, что вовлечение информации о длительности интервалов времени в организацию произвольных и непроизвольных действий отражается в их скоростных характеристиках и характеристиках, связанных с действиями электрических потенциалов мозга [9, 8].

В качестве примера исследований, в которых информация о длительности интервалов времени вовлекается в организацию непроизвольных действий, можно привести работы, где испытуемый должен произвести быстрое отчетное действие в ответ на предъявление императивного сигнала (сигнала-«цели»), который предъявляется через определенный интервал времени после предупреждающего. В такой ситуации испытуемый не ставит перед собой задачи оценить длительность интервала времени между двумя сигналами. Однако длительность интервала все же оказывает влияние на скоростные характеристики ответа [7, 8]. Так, если пусковой сигнал предъявляется через постоянный интервал времени, то время ответа достоверно короче, чем в случае, когда длительность этого интервала меняется случайным образом [9]. Электрическая активность в такой ситуации также меняется. В интервале между предупреждающим и сигналом-«целью» развивается так называемое «условное негативное отклонение» (УНО) [4]. Многочисленные исследования показывают тесную связь между характеристиками УНО и скоростными характеристиками ответа. Например, известна корреляционная связь между амплитудой максимума УНО и временем ответа, который с ростом амплитуды уменьшается [4, 5].

Примером работ, где информация о длительности интервала вовлекается в организацию произвольных действий, могут служить исследования, в которых используется так называемая «парадигма воспроизведения» [9]. В этих работах испытуемым предъявляется эталонный интервал времени, а затем предлагается воспроизвести его длительность с помощью двух последовательных нажатий на клавишу отчета либо выбрать идентичный по длительности интервал из нескольких вариантов, предъявляющихся позже. Произвольность использования информации о длительности интервала времени здесь обусловлена тем, что перед испытуемым стоит цель оценить длительность интервала времени и в соответствии с ним организовать свое поведение. В этих работах была показана зависимость УНО от особенностей выполнения задания испытуемым.

Так, в исследовании Ruchkin et al. [19] участников просили воспроизвести интервал длительностью 900 мс. Было обнаружено, что латенция максимальной амплитуды УНО в вертексе (Cz) положительно коррелирует с той длительностью интервала, которую воспроизводил испытуемый. В работе другой группы авторов [18] испытуемый должен был решить, совпадает ли продолжительность звукового тона с предъявлявшимся ранее эталонным интервалом времени. Было обнаружено наличие положительной корреляции латенции «пика» УНО (момент, когда УНО прекращало расти) над левыми и средними фронтальными областями и длительностью эталонного времени, относительно которого испытуемый оценивал длительность тестирующего звукового тона. Но наиболее интересные данные были получены Mazar et al. [15], где использовались как задача воспроизведения эталонного интервала, так и задача сравнения предъявляемых временных интервалов с эталонным. В задаче сравнения испытуемым предлагалось оценить, являются ли интервалы, следующие за эталонным, более короткими, более длинными или совпадающими по длительности с ним. Оказалось, что амплитуда УНО в отведении FCz положительно коррелировала с тем, как испытуемый оценивал длину интервала. Причем это наблюдалось даже в тех случаях, когда объективная

длительность эталонного и предъявляемого интервалов была одинаковой.

Таким образом, результаты многих исследований показывают, что вовлечение информации о длительности интервалов времени в организацию как произвольных, так и непроизвольных действий отражается в параметрах УНО.

Однако неясным, на наш взгляд, остается вопрос, отражается ли каким-либо образом в параметрах УНО фактор произвольности использования информации о длительности интервала времени. Приведенные выше работы не могут дать ответа, так как в них произвольное и непроизвольное использование длительности интервалов времени осуществлялось в разных экспериментальных парадигмах или при разных условиях. В то же время уяснение этого вопроса позволило бы прояснить психофизиологические механизмы организации произвольного и непроизвольного поведения, связанного с оценкой времени.

Задача нашей работы – выяснить, изменяются ли характеристики УНО в зависимости от того, произвольно или непроизвольно вовлекается в поведение информация о длительности интервала времени.

Для ее решения была разработана экспериментальная модель, в которой испытуемым предъявлялись два сигнала-«цели», которые предъявлялись после общего предупреждающего сигнала с равной вероятностью, но через разные интервалы времени (короткий и длинный).

Испытуемые были разбиты на две группы. Испытуемые группы 1 при предъявлении двух сигналов нажимали на одну и ту же клавишу. О различии между интервалами времени появления сигналов им не сообщалось. Испытуемых группы 2 о различии в интервалах времени информировали и предлагали нажимать на разные клавиши в зависимости от длительности интервала времени между предупреждающим и пусковым сигналами. Таким образом, испытуемые группы 2 использовали информацию о длительности интервалов времени произвольно, в то время как у испытуемых группы 1 информация о длительности интервалов должна была непроизвольно вовлекаться в организацию своего поведения.

Предполагалось, что длительность интервалов будет учитываться в организации не только произвольного, но и непроизвольного поведения. Также ожидалось обнаружение изменений в характеристиках потенциала УНО в обеих ситуациях. Обнаружение и описание различий в характеристиках УНО при произвольном и непроизвольном поведении, связанном с использованием интервалов времени, явились целью нашей работы.

Работ, в которых испытуемые произвольно и непроизвольно оценивали длительность интервала времени при одинаковых условиях, в доступной нам

литературе встречено не было, что обусловило новизну проводимого исследования.

## Методика

*Испытуемые.* В работе приняли участие 30 человек (19 – женского и 11 – мужского пола, все правши) в возрасте от 17 до 28 лет.

*Процедура.* Испытуемый сидел перед монитором. Указательный палец правой руки испытуемого находился на клавише «1», средний – на клавише «2» клавиатуры компьютера. На экране монитора в случайной последовательности с равной вероятностью предъявлялись два комплексных альтернативных сигнала (АС-7 и АС-9).

Альтернативные сигналы состояли из общего предупреждающего сигнала – белого вертикального столбика на темном экране и сигнала-«цели», также вертикального столбика, но более короткого, нежели предупреждающий сигнал. При появлении сигнала-«цели» испытуемый должен был как можно быстрее нажать клавишу.

АС-7 и АС-9 не отличались друг от друга ничем, кроме интервала задержки между предупреждающим сигналом и появлением сигнала-«цели». Для АС-7 этот интервал составлял 700 мс, а в АС-9 – 950 мс. Всего испытуемые участвовали в трех повторяющихся экспериментальных сериях. В каждой серии альтернативные сигналы предъявлялись 126 раз.

Испытуемые были разделены на две группы. Испытуемым группы 1 (7 женского и 3 мужского пола) о разнице в интервалах задержки АС-7 и АС-9 не сообщалось. Им была дана инструкция при появлении сигнала-«цели» нажимать на одну и ту же клавишу. Испытуемые группы 2 (12 женского и 8 мужского пола) были информированы о разнице в интервалах задержки АС-7 и АС-9, и они должны были быстро нажимать на клавишу «1» или «2» в зависимости от того, какой сигнал был предъявлен. Для каждого испытуемого в каждой экспериментальной серии клавиши для ответов на сигналы выбирались в случайном порядке. В конце исследования испытуемые в обеих группах опрашивались на предмет того, была ли заметна разница в интервалах времени между АС-7 и АС-9. Ответы испытуемых протоколировались.

*Регистрация.* В ходе эксперимента у испытуемых регистрировали время ответа и ЭЭГ. Время ответа измерялось от момента появления сигнала-«цели» и до момента нажатия клавиши. Для испытуемых из группы 2 велся подсчет числа правильных и ошибочных ответов. ЭЭГ регистрировалось хлорсеребряными электродами, установленными монополярно по системе 10-20 в областях черепа F3, F4, P3, P4, Cz. В качестве индифферентного отведения использовались объединенные электроды, прикрепленные к

мочкам уха. Частота опроса ЭЭГ составляла 250 Гц, полоса пропускания фильтров находилась в диапазоне от 2 до 70 Гц. Для контроля движений глаз регистрировали вертикальную составляющую электроокулограммы.

*Анализ результатов.* Фрагменты ЭЭГ, связанные с ответами, обрабатывались методом усреднения. Усреднение проводилось отдельно для предъявления разных пусковых сигналов и отдельно для разных отчетных действий, по всей выборке испытуемых от момента предъявления предупреждающего сигнала. Эпоху анализа составлял отрезок ЭЭГ, начинающийся за 400 мс до предупреждающего сигнала и заканчивающийся через 600 мс после предъявления сигнала-«цели». Фрагменты, содержавшие артефакты движений глаз, из анализа исключались. В качестве нулевой линии бралась средняя мгновенных амплитуд ЭЭГ первых 100 мс фрагмента перед моментом предъявления предупреждающего сигнала.

Объектом исследования для нас являлось УНО. Анализировали латентный период (л.п.) пика и амплитуду УНО. Амплитудой компонента считалось значение мгновенной амплитуды (относительно базовой линии) УНО с самым высоким значением по модулю. За л.п. пика компонента принималось значение времени появления мгновенной амплитуды с самым высоким модульным значением.

Для статистической обработки применялись критерии Вилкоксона, критерий Хи квадрат Пирсона, коэффициент корреляции Пирсона, t-критерий Стьюдента для несвязанных выборок и двухфакторный дисперсионный анализ [3]. Все расчеты производились при помощи программы статистической обработки SPSS v.12.0.

## Результаты

1. *Время ответа и отчет.* Как показал опрос, проводившийся в конце экспериментальной серии, ни один испытуемый из группы 1 не заметил различий между АС-7 и АС-9.

Однако сравнение с помощью критерия Вилкоксона показало, что время ответа на АС-9 было достоверно короче, чем время ответа на АС-7 ( $Z = -8,032$ ,  $p < 0,05$ ) (см. таблицу).

Испытуемые, включенные в группу 2, в своих отчетах указывали, что разница в интервалах задержки между АС-9 и АС-7 была ими замечена. Сравнение по критерию Вилкоксона, как и для группы 1, показало, что время ответа на АС-9 было достоверно короче, чем время ответа на АС-7 ( $Z = -6,283$ ,  $p < 0,05$ ) (см. таблицу).

2. *Точность дифференцированных ответов у участников группы 2.* Помимо значений времени ответа, у испытуемых группы 2 изучалось соотношение числа правильных и ошибочных ответов.

Общее число верных ответов было больше ошибочных. Для анализа соотношения правильных и ошибочных ответов был использован критерий Хи квадрат Пирсона, при помощи которого полученное распределение правильных и ошибочных ответов сопоставлялось с равномерным распределением. Сравнения проводились отдельно для АС-7 и АС-9. Для обоих сигналов наблюдалось достоверное отличие полученного распределения от случайного.

3. *Сравнение мгновенных амплитуд УНО у двух групп.* Для поиска основных различий в УНО у двух групп нами был использован Т-тест для несвязанных выборок. Сравнению подверглись значения мгновенных амплитуд усредненных потенциалов, связанных с АС-9 на всей протяженности эпохи анализа.

Достоверные отличия были обнаружены в лобных областях (F3, F4) во временном окне от 616 до 820 мс после предупреждающего сигнала. Как видно из рис. 1, этот участок содержит компонент, который можно описать как негативную волну, которая начинает развиваться на фоне УНО из позитивного пика с латенцией около 600–700 мс и угасает к моменту предъявления пускового сигнала (далее в тексте – «поздний компонент УНО»).

4. *Связь позднего компонента УНО со временем ответа.* Для проверки предположения о связи описанного участка УНО с характеристиками поведения был проведен корреляционный анализ амплитуды позднего компонента со значениями медиан времен ответа на АС-9. Для групп 1 и 2 анализ проводился отдельно. В группе 2 была обнаружена достоверная корреляция между медианой времен ответов и амплитудой пика позднего компонента УНО в правой лобной области F4 ( $r = -0,26$ ,  $p < 0,05$ ). В группе 1 такой корреляции не выявлено.

Значения времени ответа у испытуемых в группах 1 и 2

| Группа   | n медиана min max (max – min) |
|----------|-------------------------------|
| Группа 1 |                               |
| АС-7     | 10 307 101 982 881            |
| АС-9     | 10 285 112 970 858            |
| Группа 2 |                               |
| АС-7     | 20 637 148 4778 4630          |
| АС-9     | 20 591 115 2965 2850          |

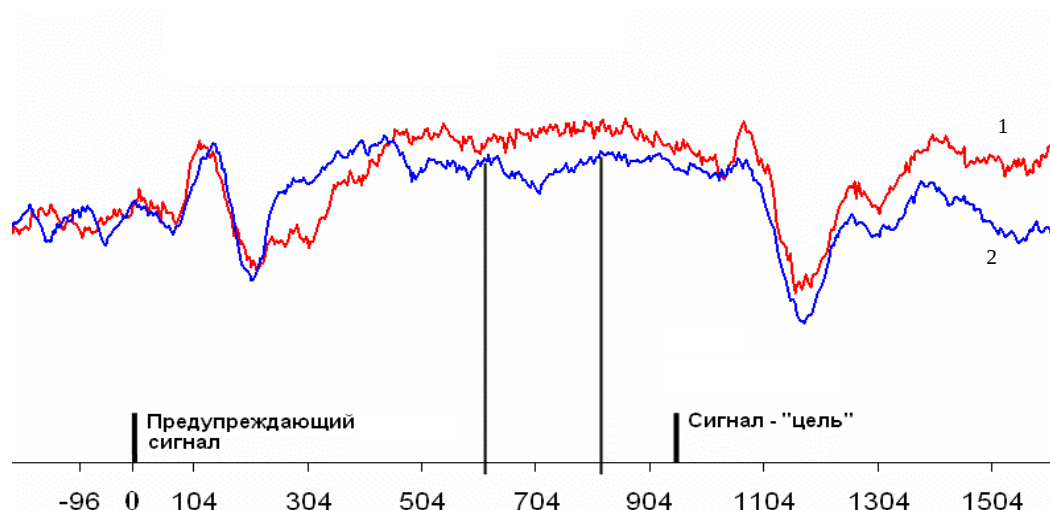


Рис. 1. Вызванные потенциалы на АС-9 у испытуемых группы 1 и группы 2. F3, F4 – общее усреднение. Область достоверных отличий отмечена вертикальными линиями

5. *Связь позднего компонента УНО с точностью дифференцированных ответов.* Помимо анализа связей с количественными характеристиками, был проведен анализ связи характеристик позднего компонента УНО с правильными и ошибочными ответами в группе 2. В качестве зависимой переменной были использованы амплитуда и л.п. пика позднего компонента. Был проведен двухфакторный дисперсионный анализ, где помимо фактора отведения (F3, F4, Cz) был включен фактор правильности отчетного действия (правильный /ошибочный). Амплитуда и л.п. пика позднего компонента были достоверно больше у УНО, связанного с неправильным ответом, чем у УНО, связанного с правильным ОД ( $F(5,20) = 51,259, p < 0,05$ ) (рис. 2).

### Обсуждение

Таким образом, проведенное исследование показало:

1. Время ответов испытуемых на сигналы АС-7 и АС-9 как в группе 1, так и в группе 2 достоверно отличались. Как в первой, так и второй группе более короткое время ответа было на сигнал АС-9.
2. Ни один из испытуемых, включенных в группу 1, не заметил разницы между АС-7 и АС-9.
3. Все испытуемые, включенные в группу 2, отмечали различие в интервалах времени между предупреждающим сигналом и сигналом-«целью». Распределение правильных и ошибочных ответов в этой группе достоверно отличалось от случайного и правильных ответов было больше.



Рис. 2. Вызванные потенциалы на АС-9 у испытуемых группы 2 в ситуации верного (1) и ошибочного (2) ответа. F3, F4 – общее усреднение. Область достоверных отличий отмечена вертикальными линиями

4. Сравнение амплитуд УНО у испытуемых в обеих группах показало достоверное отличие во временном окне 616–820 мс в лобных отведениях (F3 и F4).

5. Было показано, что у испытуемых во второй группе амплитуда в этом окне под F4 находится в корреляционной связи с медианами времен реакций ответов. У испытуемых в группе 1 такого не обнаружено.

6. Было показано, что в группе 2 значения амплитуд в окне в лобных отведениях (F3, F4) и вертексе (Cz) достоверно отличаются в ситуациях правильного и ошибочного ответов.

Каким же образом можно объяснить полученные данные?

Очень важным для исследования является то, что обнаруженная разница во временах ответа наблюдалась в группе 1, хотя субъективно ни один из испытуемых в этой группе ее не отметил. Это позволяет с уверенностью утверждать, что у испытуемых группы 1 информация о длительности интервалов времени вовлекалась в организацию поведения произвольно. В то же время испытуемые группы 2 отмечали разницу в интервалах времени и в своем поведении произвольно использовали информацию о длительности интервалов времени. Доказательством тому служит отличное от случайного распределение верных и ошибочных ответов. Эти результаты позволяют утверждать, что в нашей работе мы действительно сопоставляем произвольное и произвольное использование информации о длительности одних и тех же интервалов в одинаковых условиях.

Обнаруженное нами различие во времени ответа на АС-7 и АС-9 в обеих экспериментальных группах, на наш взгляд, может быть связано со снятием неопределенности относительно будущего события. Давно показано, что любому моторному ответу предшествует избирательная активация мозговых структур, связанных с будущим ответом [2], осуществляется подготовка к моторному ответу [10]. Очевидно, что время ответа находится в зависимости от завершенности такой премоторной подготовки. В нашем исследовании испытуемым обеих групп предъявлялись два сигнала. В АС-7 между предупреждающим сигналом и сигналом-«целью» проходило 700 мс, в АС-9 – 950 мс. В случае предъявления АС-9, когда после предупреждающего сигнала проходило 700 мс и пусковой сигнал не появлялся, у испытуемых снималась неопределенность относительно того, когда появится сигнал. В последующие 250 мс происходила подготовка к ответу. Меньшее время ответа на АС-9, которое было нами обнаружено, отражает подготовленность к моторному ответу. Аналогичные результаты были получены и рядом зарубежных авторов. Например, в одной из работ Griffin с коллегами разные типы сигналов предъявлялись через разные интервалы времени. Как и в нашем случае, было

обнаружено, что более короткие значения времен ответов наблюдались при предъявлении сигналов с более длительными интервалами. На основании полученных результатов авторы делают вывод о том, что длительность интервала времени сама по себе «несет информацию о будущем событии» [11].

Как и ожидалось, между группами испытуемых, произвольно и произвольно вовлекающих в свое поведение информацию о длительности интервалов времени, были обнаружены различия в характеристиках условного негативного отклонения. Достоверные отличия были найдены во фронтальных областях. Роль фронтальной активности в ситуациях, где испытуемые должны были произвольно оценить длительность интервала времени, уже показана во многих работах [15, 17, 18]. В процессе сравнения мгновенных амплитуд УНО у испытуемых группы 1 и группы 2 достоверные различия были обнаружены во фронтальных отведениях, на интервале от 616 до 820 мс после предупреждающего сигнала. По нашему мнению, полученный результат полностью согласуется с утверждениями о том, что параметры УНО связаны не только с ожиданием, но и с моторной подготовкой к предстоящему ответу [10, 14, 16, 21]. Переход от ожидания к премоторной подготовке нашел отражение именно на этом участке, потому что здесь, по нашему мнению, у испытуемого «снимается неопределенность» относительно появления будущего сигнала-«цели», к ответу на который надо готовиться.

Особый интерес представляет то, что именно на этом отрезке времени УНО группы 1 и группы 2 различаются. Очевидно, это связано со спецификой перехода от ожидания к подготовке при произвольном и произвольном использовании интервалов времени.

В чем заключается эта специфика? Ответ может быть дан на основании результатов анализа УНО, полученных у испытуемых в группе 2 при верных и ошибочных ответах. Нами было показано, что в этих двух ситуациях амплитуда УНО достоверно отличается. Подобный результат в доступной литературе не встречен.

По нашему мнению, это отличие говорит о том, что у испытуемых группы 2 в параметрах активности мозга нашел отражение не только переход от ожидания к премоторной подготовке, но и параметры результата ожидания. Очевидно, что при произвольном использовании интервалов времени после ожидания происходит оценка результата ожидания (оценка отмеренного времени), на основе которого осуществляется премоторная подготовка к одному из двух альтернативных ответов. Последнее объясняет наличие корреляции между временем ответа и значениями амплитуды позднего компонента УНО в группе 2, которая отсутствовала в группе 1.

## Выводы

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы.

1. Произвольное и непроизвольное вовлечение информации о длительности интервалов времени в

поведение отражается в амплитудных характеристиках УНО.

2. В случае произвольного использования временной информации в параметрах УНО находят отражение параметры результата оценки интервала времени.

## Литература

1. Лурия А.Р. Основы нейропсихологии. М.: Academia, 2002.
2. Наатанен Р. Внимание и функции мозга. М.: Изд-во МГУ, 1998.
3. Сидоренко Е.В. Методы математической обработки в психологии. СПб.: Речь, 2004.
4. Уолтер Г. Живой мозг. М.: Мир, 1966.
5. Шагас Ч. Вызванные потенциалы мозга в норме и патологии. М.: Мир, 1975.
6. Элькин Д.Г. Восприятие времени. М.: Изд-во АПН РСФСР, 1962.
7. Brebner J., Welford A.T. Introduction: an historical background sketch // *Reaction Times*. N.Y.: Academic Press, 1980. P. 1–23.
8. Del-Fava F., Ribeiro-do-Valle L.E. Relative contribution of expectancy and immediate arousal to the facilitatory effect of an auditory accessory stimulus // *Brazilian Journal of Medical and Biological Research* 2004. Vol. 37. P. 1161–1174.
9. Elbert T., Ulrich R., Rockstron B., Lutzenberger W. The processing of temporal intervals reflected by CNV-like brain potentials // *Psychophysiology*. 1991. Vol. 28. P. 648–655.
10. Fabiani M., Gratton G., Coles M. Event-related brain potentials Methods, Theory, and Applications // *Handbook of Psychophysiology*. Cambridge University Press, 2000.
11. Griffin I.C., Miniussi C., Norbe A.C. Multiple mechanisms of selective attention: differential modulation of stimulus processing by attention to space or time // *Neuropsychologia*. 2002. Vol. 40. P. 2325–2340.
12. Hikosaka O., Nakamura K., Sakai K., Nakahara H. Central mechanisms of motor skill learning // *Current Opinion in Neurobiology*. 2002. Vol. 12. P. 217–222.
13. Lewis P.A., Miall R.C. Brain activation patterns during measurement of sub- and supra-second intervals // *Neuropsychologia*. 2003. Vol. 41. P. 1583–1592.
14. Macaluso E., Frith C., Driver J. Selective spatial attention in vision and touch: unimodal and multimodal mechanisms revealed by PET // *Journal of Neurophysiology*. 2000. Vol. 83. P. 964–974.
15. Macar F., Vidal F., Casini L. The supplementary motor area in motor and sensory timing: evidence from slow brain potential changes // *Experimental Brain Research*. 1999. Vol. 125. P. 271–280.
16. Macar F., Vitton N. CNV and reaction time task in man: effects of inter-stimulus interval contingencies // *Neuropsychologia*. 1980. Vol. 1. P. 85–90.
17. Pouthas V., Garnero L., Ferrandez A.-M., Renault B. ERPs and PET analysis of time perception: spatial and temporal brain mapping during visual discrimination tasks // *Hum. Brain Mapp*. 2000. Vol. 10. P. 49–60.
18. Pfeuty M., Ragot R., Pouthas V. When time is up: CNV time course differentiates the roles of the hemispheres in the discrimination of short tone durations // *Experimental Brain Research*. 2003 Vol. 151. P. 372–379.
19. Ruchkin D.S., McCalley M.G., Glaser E.M. Event related potentials and time estimation // *Psychophysiology*. 1977. Vol. 14. P. 451–455.
20. Sirigu A., Daprati E., Ciancia S., Giraux P. et al. Altered awareness of voluntary action after damage to the parietal cortex // *Nature Neuroscience*. 2004. Vol. 7. P. 80–84.
21. Wurtz R., Goldberg M., Robinson D. Behavioral modulation of visual responses in the monkey: Stimulus selection for attention and movement // *Frontiers in cognitive neuroscience*. Cambridge MA: MIT Press, 1992.

## CONTINGENT NEGATIVE VARIATION DURING CONSCIOUS AND UNCONSCIOUS ESTIMATION OF TIME INTERVALS IN A CHOICE REACTION TIME TASK

A.A. Medincev (Moscow)

**Summary.** This study aims to investigate brain activity during conscious and unconscious estimation of time intervals in a complex choice reaction time task. We expect that the contingent negative variation (CNV) characteristics will be different in conscious and unconscious time estimation even if experimental paradigm was the same.

It was shown what CNV amplitude dependent on the conscious factor.

**Key words:** EEG, CNV, contingent negative variation, time, conscious, unconscious, choice reaction time task.