

ОТРАЖЕНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ СТИМУЛА В ХАРАКТЕРИСТИКАХ ВЫЗВАННОГО ПОТЕНЦИАЛА (ЧАСТЬ 1)

© 2003 г. О. В. Сысоева*, А. В. Вартанов**

* Психолог, кафедра психофизиологии, МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва

** Кандидат психол. наук, старший научный сотрудник, там же

Для изучения механизмов оценки коротких интервалов времени было проведено комплексное психофизическое и электроэнцефалографическое исследование, в ходе которого испытуемым предъявлялись стимулы различной длительности (от 200 до 1000 мс), слуховой и зрительной модальностей. Регистрировали балльные оценки длительности стимулов и электрическую активность мозга, выделяли и анализировали вызванные потенциалы (ВП), усредненные относительно выключения стимулов. Выявлено, что позитивный компонент ВП, регистрируемый с латенцией 300 мс (свет) и 250 мс (звук) для отведений F4, C4, T4, P4, F8, F3, C3, линейно связан с субъективной оценкой длительности стимула при зрительной стимуляции и V-образно – при слуховой. Выделенный компонент нечувствителен к изменению длительности стимула, предъявляемого без инструкции о ее оценивании. Данные экспериментов подтверждают роль фронтальных и центральных областей мозга в процессе восприятия и оценки интервалов времени.

Ключевые слова: вызванные потенциалы, длительность стимула, оценка временных интервалов.

Вопрос о том, как человек воспринимает физическое время, как он определяет длительность и одновременность изменений в природе, до сих пор не решен. Время и его субъективное отражение человеком имеет основополагающий характер по отношению ко всем психическим процессам, пронизывая и связывая их. Особенно это важно при восприятии движений и речи.

В рамках психологии широко распространена концепция когнитивных часов, которая акцентирует внимание на связи восприятия времени с когнитивными процессами организма, на влиянии функционального состояния, решаемой человеком задачи и других факторах. Так, полагают, что длительность момента субъективного настоящего определяется через его включенность в деятельность человека [3]. Показана и возможность выработки очень точной оценки микроинтервалов времени посредством включения этого процесса в деятельность [2]. В биологии рассматривают вопрос о восприятии времени в основном в тесной связи с исследованиями биоритмов организма. Внешняя среда может воздействовать на биоритмы, уменьшая или увеличивая их частоту и синхронизируя с внешними событиями. Посредством биоритмов обычно описывают восприятие длительных интервалов времени (день, несколько дней) [12]. В ходе экспериментов с прямой регистрацией активности отдельных нейронов была показана возможность кодирования времени на пространственном поле соответствующих детекторов [10, 13].

Таким образом, вопрос восприятия времени распадается на несколько аспектов. Было показано, что восприятие длительных временных интервалов (дни) и восприятие коротких временных интервалов (минуты, секунды) могут иметь различные механизмы и, скорее всего, напрямую не связаны [12]. Восприятие длительных интервалов обычно исследуют, наблюдая биологические ритмы человека, изолированного от объективных датчиков времени (смена дня и ночи, часы). Восприятие коротких интервалов изучается в основном психофизиологами, которые используют методы регистрации активности мозга с целью выявления механизмов этого процесса. Восприятие времени анализируют в связи с различными аномалиями (клинический подход), а также во взаимосвязи с разными когнитивными процессами (когнитивный подход).

Физиологические механизмы оценки длительности у здорового человека изучают методом регистрации ЭЭГ. Однако, в работах, использовавших регистрацию ЭЭГ в связи с изучением механизмов восприятия времени, проблему оценки длительности интервалов рассматривали как второстепенную. В работах Э.А. Костандова, О.И. Иващенко и др. [5, 7] главной была задача изучения межполушарных отношений при оценке микроинтервалов времени. Н.Н. Данилова и В.Н. Гудков [4] изучали динамику и механизм процесса обучения с использованием временных интервалов в качестве стимулов. В диссертации В.Г. Каменской [6] особое внимание было уделено влия-

нию патологического функционального состояния мозга на отражение временных стимулов, на связь процесса оценки длительности с мотивационно-волевым состоянием человека. Получены данные об изменении ВП на стимулы различной длительности в зависимости от инструкции [9]. Наатанен выявил различия ВП при предъявлении стимулов различной длительности в рамках исследования негативности рассогласования (НР) [8]. Также отмечают связь волны N100 (негативной волны с латенцией примерно 100 мс для слуховых стимулов) вызванного потенциала, синхронизированного с концом предъявления стимула, и длительности предшествовавшего стимула. Данный ответ мозга обычно четко распознается только при условии, что стимул длится не менее 0.5 с. Амплитуда волны увеличивается вместе с увеличением длительности стимула [22]. Хансен и Хиллард предполагают, что анализ длительности является завершающим в идентификации целевого стимула и отражается в позднем позитивном компоненте [21].

Данная работа посвящена исследованию механизмов восприятия времени, в частности мозговых механизмов оценки человеком длительности коротких интервалов времени. Для решения этой проблемы наиболее адекватным является комплексное психофизиологическое исследование. В этом случае первоначально изучается влияние исследуемого параметра (времени) на изменение соответствующего субъективного качества (субъективной оценки времени) и строится требуемая психофизическая функция. Далее регистрируются ВП на субъективно специфицированные стимулы, что позволяет проследить динамику мозговой активности, связанную с исследуемым процессом (в данном случае – с оценкой длительности). В результате, на основе сопоставления показателей ВП (амплитуды и латенции заданных компонентов) с физическими качествами и субъективными свойствами набора стимулов, открывается возможность построить психофизиологическую функцию изучаемого процесса, определить латенцию того компонента ВП, изменение амплитуды которого проявляет зависимость от изменения исследуемого качества стимула. В итоге можно вычленить исследуемый процесс из других мозговых процессов, протекающих параллельно, а также подойти к локализации соответствующих мозговых структур – использование многоканальной регистрации ВП и соответствующих методов локализации электрической активности в пространстве мозга, применение ядерной магнитно-резонансной томографии для анализа индивидуальных анатомических особенностей мозга конкретных испытуемых позволяют обнаружить и описать активность мозговых структур, обеспечивающих восприятие и оценку интервалов времени.

В задачу первой части работы, которой и посвящена данная статья, входило:

1) Построить психофизическую функцию, описывающую соотношение физической длительности стимула и его субъективной оценки. Проверяемая гипотеза Н0: субъективное время описывается одномерной шкалой, оценки по которой линейно связаны с физической длительностью стимула. Контр-гипотеза Н1: субъективные оценки длительности нелинейно связаны с физической длительностью стимула или вообще не связаны.

2) Выявить динамику мозговой активности (латенцию максимально выраженной реакции мозга) и построить функции взаимосвязи этой активности с физической и субъективной длительностью этих стимулов. Проверяемая гипотеза Н0: в ВП в каком-либо отведении имеется компонент, изменение которого закономерно связано (линейно или не линейно) с физической длительностью стимула или с его субъективной оценкой. Контр-гипотеза Н1: в ВП не существует такого компонента, который как-либо закономерно связан с процессом оценки интервала времени человеком.

В соответствии с этими задачами эксперимент осуществлялся в виде двух основных серий – психофизической и психофизиологической, а также дополнительных (контрольных) серий, имевших целью проверить, работает ли механизм оценки интервала времени постоянно при любом акте восприятия, независимо от сознательно решаемой человеком задачи, или мы имеем дело с функциональной системой, которая организуется под сознательно принятую человеком задачу.

МЕТОДИКА

Испытуемые. Всего в экспериментах добровольно приняло участие 9 человек. Из них 5 участвовало в психофизической серии экспериментов, 4 – в электроэнцефалографических сериях. Поскольку каждая серия электрофизиологического эксперимента достаточно длительна (30–40 минут), а контрольную серию необходимо было проводить до знакомства испытуемого с основной, то не представлялось возможным, чтобы каждый испытуемый прошел все серии. Поэтому испытуемые участвовали в эксперименте по следующей схеме: исп. СЛ – в основных сериях со зрительной и звуковой стимуляцией; исп. ЛС и БН только в основной серии со зрительной стимуляцией; исп. ЛВ – в основной серии со звуковой стимуляцией и в контрольных сериях со зрительной и звуковой стимуляцией. Все испытуемые были студентами московских вузов, правши, без психических отклонений.

Стимулы. В эксперименте использовались два типа стимулов: 1) визуальный стимул – светло-желтый квадрат размером 5 см × 5 см, предъявляющийся на сером фоне; 2) звуковой стимул – “белый шум”). При этом использовали различную длительность предъявления стимулов: в психофизической серии использовали 14 интервалов (от 0.2 до 2.8 с), а для электрофизиологической серии – интервалы, равные 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0 секунд. Данные длительности были выбраны исходя из того, что только стимулы с большей, чем 200 мс длительностью, не меняют своего качества. Так, если удлинение звуковых стимулов до 200 мс может привести к субъективному увеличению громкости, то дальнейшее удлинение стимулов субъективно воспринимается именно как увеличение длительности стимула [1, 8].

Процедура эксперимента. В психофизической серии функция зависимости субъективной длительности от физической длительности определяется двумя способами: 1) на основе эксперимента по многомерному шкалированию попарных различий между стимулами (в этом случае испытуемый оценивал в баллах от 0 до 9 степень различия между длительностью двух стимулов, 14 стимулов образовывали 91 попарных сочетаний, предъявляемых по 3 раза каждый в случайном порядке); 2) на основе прямых оценок длительности (от испытуемого требовалось оценивать время предъявления стимулов, выражая свое ощущение в числах от 1 до 9). В психофизиологической серии экспериментов использовались те же субъективно специфицированные стимулы, и та же задача по прямой оценке длительности, однако для того, чтобы проследить устойчивость потенциала и чтобы испытуемый имел возможность отдохнуть в ходе эксперимента, эксперименты для каждой из модальностей были еще разделены на две части. В первой части интервалы длительностью 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 секунды предъявлялись по 100 раз, и они подвергались в дальнейшем изучению и обработке. Остальные же интервалы предъявлялись по 10 раз. Они были введены, чтобы избежать узнавания стимулов в эксперименте, обеспечить испытуемым возможность перцептивной оценки длительности. Во второй части, следовавшей через некоторое время после первой, по 100 раз предъявлялись интервалы длительностью 0.3, 0.4, 0.5, 0.7, 0.9 секунд, по 10 раз – все остальные интервалы. Стимулы всегда предъявлялись в случайном порядке, со случайным интервалом времени между ними в пределах от 1.8 до 2.5 с. Для отделения процесса сознательной оценки времени от процессов пассивного восприятия стимулов была проведена контрольная серия эксперимента, в которой испытуемому, еще не участвовавшему в основных сериях эксперимента с оценкой длительности и не знавшему цели эксперимента, предъявлялись те же стиму-

лы, но только без задачи оценивать их длительность, а просто пассивно наблюдать их.

Таким образом, всего было 4 серии – 2 основных и 2 контрольных. В контрольной серии никакой задачи перед испытуемыми не ставилось.

Обработка данных. Данные психофизических экспериментов по оценке попарных различий обрабатывались метрическим методом многомерного шкалирования [27], а прямые оценки величины интервала времени усреднялись по предъявлению стимулов. Полученные в ходе психофизического эксперимента ответы испытуемых сводили в матрицу различий, которые анализировали первоначально для каждого испытуемого отдельно, а затем усредняли либо по всем испытуемым, либо по группам испытуемых с учетом особенностей индивидуальных данных. Степень сходства “точек зрения” испытуемых оценивали по коэффициенту корреляции Пирсона при сопоставлении субъективных оценок различий между стимулами в матрицах этих испытуемых.

В психофизиологической серии регистрация ЭЭГ осуществлялась монополярно по 16 стандартным отведениям (система 10/20) на энцефалографе фирмы Nihon Kohden с вводом в компьютер; обработка и анализ ЭЭГ и ВП проводились с использованием системы программ “BrainSys”. После соответствующей сортировки и удаления артефактов, ВП усреднялись по концу предъявления каждого стимула отдельно. В общей сложности были построены и проанализированы ВП на стимулы различной длительности разных модальностей для всех регистрируемых 16-ти отведений по всем испытуемым. Для изучения связи амплитуды тех или иных пиков ВП с длительностью предъявляемых стимулов строились корреляционные поля и вычислялись коэффициенты корреляции (по Спирмену) между амплитудой соответствующих пиков и длительностью стимулов как физической, так и субъективной (оцененной по результатам психофизических данных).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Полученные индивидуальные матрицы различий между стимулами оказались достаточно сходными для всех испытуемых: коэффициенты корреляции “точек зрения” испытуемых лежали в диапазоне от 0.62 (наихудшее согласие, обнаруженное между испытуемым № 4 и испытуемым № 5) до 0.83 (наилучшее согласие, обнаруженное между испытуемым № 1 и № 2). Это позволило усреднить оценки по испытуемым и далее анализировать усредненные данные. В результате обнаружено, что при оценке длительности стимула человек опирается только на один признак (коэффициент корреляции одномерной линейной модели с исходными оценками равен 0.955). Зави-

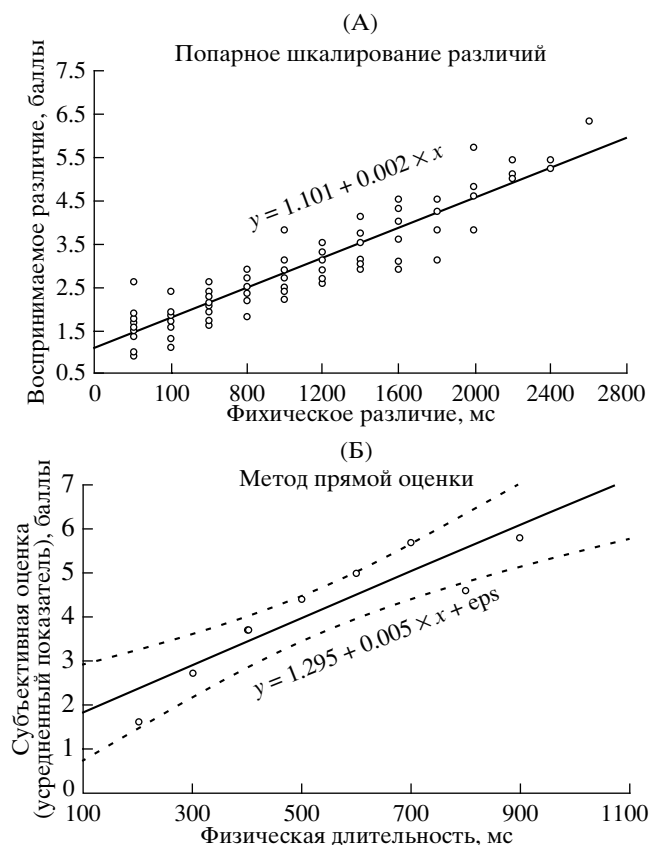


Рис. 1. А. Соотношение физической и субъективно воспринимаемой длительностью зрительного стимула при использовании метода попарного шкалирования различий. Усреднено по всей группе испытуемых. Б. Соотношение физической и субъективно воспринимаемой длительностью зрительного стимула при использовании метода прямой оценки. Усреднено по всей группе испытуемых.

симость субъективных оценок в различии длительностей стимула от физического различия этих же длительностей представлена на рис. 1, А. К таким же результатам привела и обработка данных прямой оценки различий (рис. 1, Б). То есть, на данном временном интервале зависимость между субъективным и физическим временем близка к линейной, что подтверждает исходную гипотезу для психофизической серии.

В результате проведения основной и контрольных серий психофизиологического эксперимента удалось выявить компонент ВП, закономерно связанный с сознательной оценкой человеком длительности стимула, что соответствует основной гипотезе. На рис. 2 для сравнения представлены ВП на выключение зрительного стимула (момент выключения отмечен стрелкой вниз) различной длительности, слева – перед испытуемым стояла задача оценки длительности стимула, а справа – такой задачи не было (контроль). В левом столбце представлены ВП испытуемого СЛ

(в отведении F4, 9 градаций длительности стимула от 200 до 1000 мс). Справа – ВП испытуемого ЛВ (5 градаций длительности). ВП для каждой длительности на графике представлен отдельной линией. В ответ на выключение зрительного стимула возникает вызванный ответ мозга, в котором обнаруживаются те же компоненты, что и в стандартном ВП: а именно N100, P150, N220, P300. Данный ответ мозга характеризуется достаточно широким периодом негативности (примерно от 100 до 200 мс), со слабо выраженным позитивным компонентом P150. Ярко проявилась позитивная волна на латенции 300 мс (P300). Заметно, что в серии оценки длительности этот компонент ВП на разные по длительности стимулы сильно различается, в то время как в контрольной серии – нет. В этом случае амплитуда компонента P300 не менялась при изменении физической длительности предъявляемого стимула.

В таблице приведены коэффициенты корреляции между амплитудой пиков и субъективной длительностью зрительных стимулов для некоторых компонентов ВП в тех отведениях, где такая зависимость обнаруживается. В большинстве случаев коэффициент корреляции больше для субъективной длительности, чем для физической. Из таблицы видно, что с субъективной длительностью стимула больше всего (коэффициент корреляции превышает или равен 0.9) коррелирует амплитуда позитивного компонента P300 для отведений F3, F4, F8, C3, C4, P4, T4. Длительность слуховых стимулов не обнаруживает линейной корреляции с амплитудой компонентов ВП (коэффициенты корреляции меньше 0.6).

Для более детального анализа исследуемой зависимости были построены графики связи субъективной длительности стимула с амплитудой пика на латенции 300 мс после выключения стимула. На рис. 4 представлена зависимость амплитуды этого пика от субъективной длительности стимула для отведения F4 по всем испытуемым. Четко просматривается линейная зависимость в случае инструкции оценивать длительность. При этом для исп. ЛВ (контрольная серия – обозначен пунктиром) такой зависимости нет. Линейная зависимость между субъективной длительностью стимула и амплитудой ВП наблюдается и по другим отведениям (F3, P4, C3, C4, T4, F8) для всех анализируемых испытуемых. Следует отметить, что для подобных коротких интервалов времени зависимость между физической длительностью стимулов и ее балльной оценкой испытуемыми близка к линейной функцией.

На рис. 3 ВП тех же испытуемых, что и на рис. 2 (отведение F4), но теперь на выключение звукового стимула (момент выключения отмечен стрелкой вниз) различной длительности, слева – перед испытуемым стояла задача оценки дли-

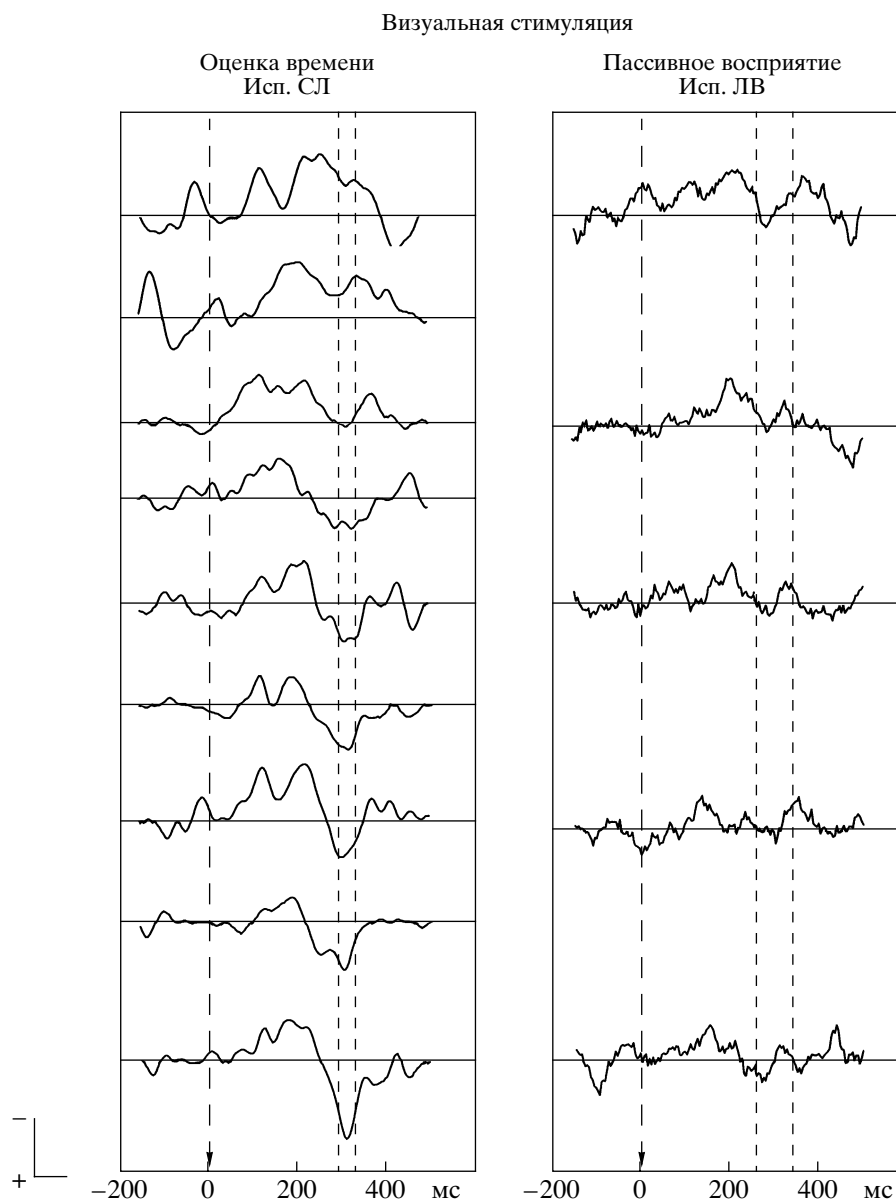


Рис. 2. ВП для отведения F_4 на выключение одинаковых зрительных стимулов (момент выключения отмечен стрелкой вниз) различной длительности (9 градаций длительности от 200 до 1000 мс). ВП для каждой длительности на графике представлен отдельной линией, длительность соответствующего стимула отмечена вдоль вертикальной оси. По горизонтальной оси отложено время анализа ВП в секундах (время до окончания стимула представлено отрицательными числами). Масштабная отметка амплитуды ВП, соответствующая 5 мкВ, одинакова для всех ВП и показана внизу слева. Слева представлены данные исп. СЛ, который оценивал длительность предъявляемых интервалов. Справа – данные исп. ЛВ, который пассивно наблюдал за предъявлением этих же стимулов.

тельности стимула, а справа – такой задачи не было (контроль). В левом столбце представлены ВП испытуемого СЛ (в отведении F_4 , 8 градаций длительности стимула от 200 до 900 мс). Справа – ВП испытуемого ЛВ (5 градаций длительности). ВП для каждой длительности на графике представлен отдельной линией. Следует отметить, что ВП для звуковых стимулов отличается от ВП для зрительных. Тем не менее, компонент R_{300} четко выделяется и в серии со слуховой стимуляцией.

Видно, что хотя форма слуховых ВП практически одинакова, амплитуды пиков различаются для стимулов разной длительности основной серии. В контрольной серии, когда испытуемому предъявлялись те же самые слуховые стимулы, но перед ним не ставилась задача оценки интервала времени, в этих ВП никаких изменений не обнаружилось.

На рис. 5 представлено соотношение между субъективной длительностью звукового стимула

Коэффициенты корреляции (по Спирмену) между амплитудой пиков и субъективной длительностью визуальных стимулов

Отведе- ния	Компоненты ВП				
	N ₁₀₀	P ₁₅₀	N ₂₂₀	P ₃₀₀	N ₃₅₀
F3			0.527	0.929	
F4			0.812	0.996	
F7			0.720	0.703	
F8			0.393	0.962	
Fp1		0.745	0.720	-0.293	
Fp2		0.812	0.761	0.829	
C3			0.218	0.929*	
C4			0.795	0.996	
O1	0.803	-0.695	-0.762	-0.435	-0.418
O2	0.812	-0.335	-0.471	0.000	-0.611
P3	-0.636	-0.293	-0.644	0.552	0.110
P4	-0.542	-0.075	-0.343	0.895*	0.201
T5		-0.510	-0.661	0.560	
T6		-0.760	-0.603	-0.41	
T3			-0.412	0.870*	
T4			-0.828	0.946	

* – в выделенных шрифтом случаях коэффициент корреляции несколько больше между физической длительностью и амплитудой ВП. Эти коэффициенты соответственно равны: C3 – 0.940, P4 – 0.940, T3 – 0.915.

(балльная оценка, ось X) и амплитудой позитивного пика на латенции 250 мс ВП, усредненного на выключение предъявленного стимула (ось Y) у разных испытуемых. Как видно, в основной серии амплитуда пика P300 для звуковых стимулов хотя и не обнаруживает линейной зависимости от длительности стимула, но характеризуется V-образной связью: амплитуда пика сначала убывает с увеличением субъективной длительности стимулов до 3.7 условных единиц, а затем возрастает для стимулов, оцененных как более длительные (больше 3). Следует отметить, что 3 балла – это средний балл оценки стимула длительностью 400 мс. Так как связь между физической и субъективной длительностью и для звуковых стимулов близка к линейной, можно утверждать, что амплитуда пика убывает с увеличением длительности для стимулов меньше 400 мс и возрастает для стимулов больше 400 мс. При пассивном восприятии данных стимулов (контрольная серия экспериментов) амплитуда компонента практически не меняется при изменении длительности предъявления стимулов. В этом картина сходна как для зрительных, так и слуховых стимулов.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В результате проведенных исследований была выявлена связь между амплитудой пика P300 для

отведений F4, F3, C4, C3, P4, T4, F8 и субъективной длительностью коротких временных интервалов. Эта зависимость различается для стимулов разной модальности. В случае визуальной стимуляции она носит линейный характер, а в случае звуковой имеет V-образный вид. Связь между физической и субъективной длительностью для обеих модальностей близка к линейной.

Интерпретация изменений отдельных компонентов или фаз ВП сталкивается с целым рядом трудностей. Пик ВП не обязательно является компонентом мозговой активности в строгом его понимании. Наатанен и Пиктон [8, 24] определяют “компонент” ВП как вклад в регистрируемую волновую форму особого генераторного процесса, в виде активации в локальной области коры мозга, возникающей в ответ на предъявление специфического сенсорного паттерна. Таким образом, согласно этому определению, видимые в усредненной кривой негативные и позитивные волны не должны называться компонентами, скорее это отклонения, волны, пики или впадины. Последние в целом не представляют какое-либо унитарное мозговое явление, а состоят из различных компонентов, которые арифметически суммируются под записывающим электродом. Таким образом, одной из главных задач текущих исследований в этой области является ответ на вопрос как извлечь информацию о различных мозговых процессах из данных, полученных при записи с поверхности головы.

В литературе амплитуду позитивной волны с латенцией пика около 300 мс связывают с разными психическими явлениями, такими, как привлечение внимания к стимулу, появление ориентировочного рефлекса, возрастание неопределенности ожидаемой ситуации, усложнение задания на дифференцирование стимулов, принятие решения, рост уверенности субъекта в правильности идентификации сигнального стимула [4]. Был выделен позитивный париетальный компонент P3, связываемый с опознанием стимула как значимого [11]. Кроме того, в последние годы показано, что компонент P3 (или в другом обозначении P300) является не столько показателем процесса обновления (“updating”) рабочей памяти (как это, например, трактуется в [20]), сколько показателем торможения, являющегося следствием принятия решения о стимуле, его категоризации [233]. Вышеперечисленные данные, в основном, поддерживают убеждение, что P3 – это эндогенный компонент, независимый от физических параметров предъявляемого стимула и способный возникать даже в его отсутствие. Тем не менее, существуют работы, в которых показано, что P3 чувствителен к физическим параметрам стимула, например, является зависимым от модальности [25]. В частности, ответ P3 возникает раньше для звуковых стимулов, чем для визуальных [25] (что

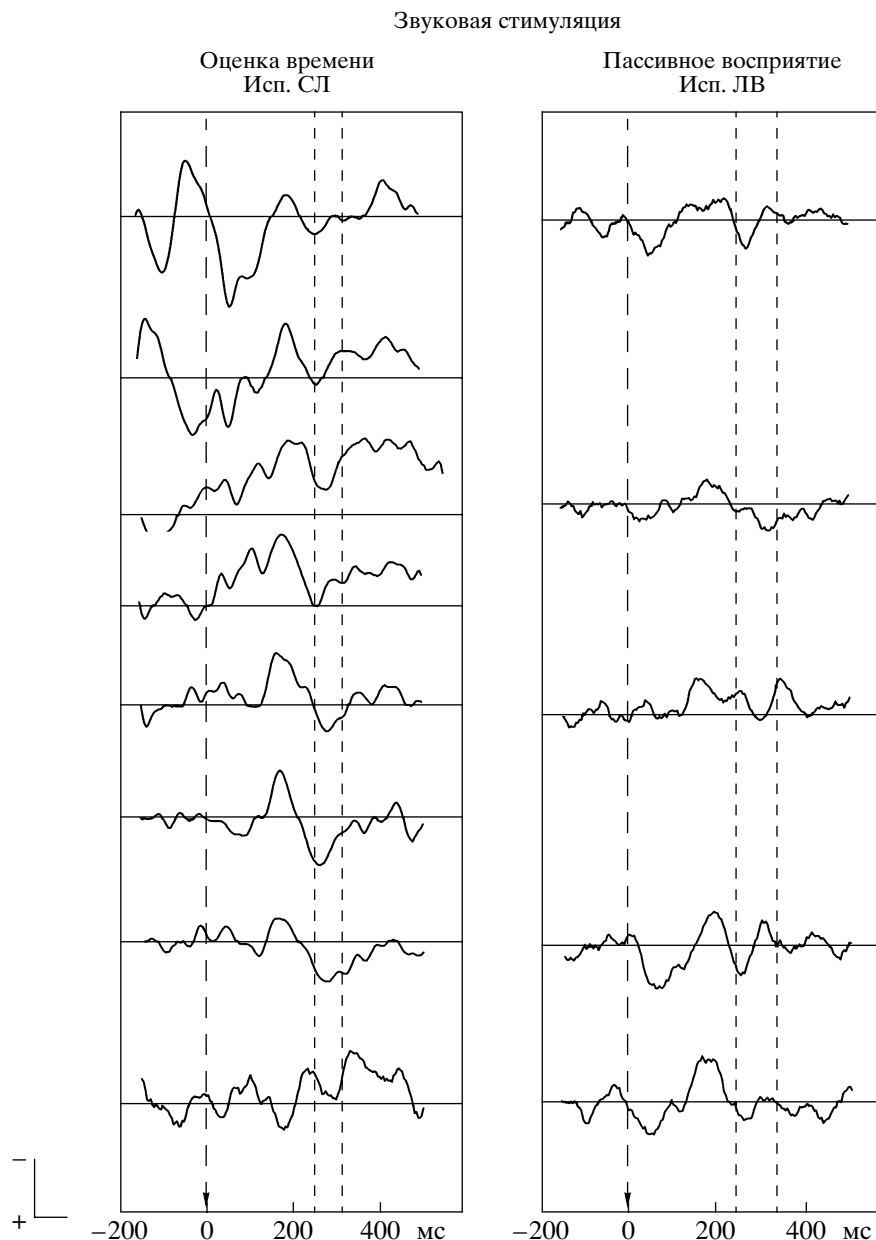


Рис. 3. ВП для отведения F_4 на выключение одинаковых слуховых стимулов (момент выключения отмечен стрелкой вниз) различной длительности (9 градаций длительности от 200 до 900 мс). ВП для каждой длительности на графике представлен отдельной линией, длительность соответствующего стимула отмечена вдоль вертикальной оси. По горизонтальной оси отложено время анализа ВП в секундах (время до окончания стимула представлено отрицательными числами). Масштабная отметка амплитуды ВП, соответствующая 5 мкВ, одинакова для всех ВП и показана внизу слева. Слева представлены данные исп. СЛ, который оценивал длительность предъявляемых интервалов. Справа – данные исп. ЛВ, который пассивно наблюдал за предъявлением этих же стимулов.

подтверждается и в нашем исследовании). Такая множественная интерпретация данного компонента позволяет предположить, что он является результатом активности нескольких генераторов. Так, Джонсон предложил гипотезу о трех генераторах, вызывающих ответ Р300: один генератор связан с инструкцией, задачей; другой чувствителен к вероятности предъявления стимула; третий, скорее всего, связан с физическими ха-

рактеристиками стимула, в частности, с модальностью [19]. Волну Р300 также разделяют на Р3а и Р3б компоненты. Р3а возникает при условии произвольного внимания к стимулу, а Р3б в ответ на целевой стимул, при инструкции его сознательной идентификации [8, 11 и др.].

Было показано, что компонент Р3 регистрируется также и на выключение стимула, отличающегося от остальных только по длительности [17,

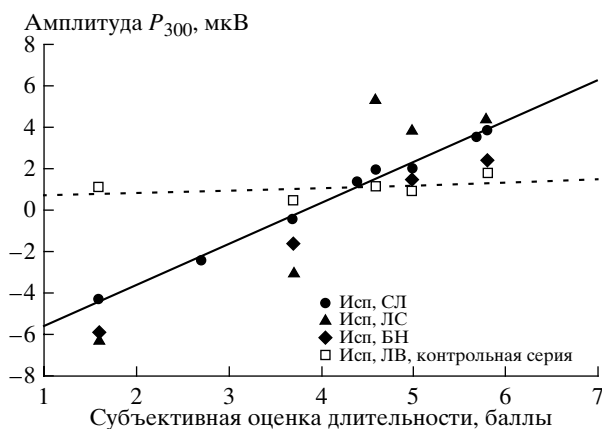


Рис. 4. Зависимость между субъективной длительностью зрительного стимула (балльная оценка, ось X) и амплитудой пика ВП на латенции 300 мс, усредненно по концу предъявленного стимула для отведения F₄. По вертикальной оси отложена амплитуда данного компонента в мкВ. Сплошная линия аппроксимирует случай оценки длительности, а пунктирная линия – результаты контрольной серии.

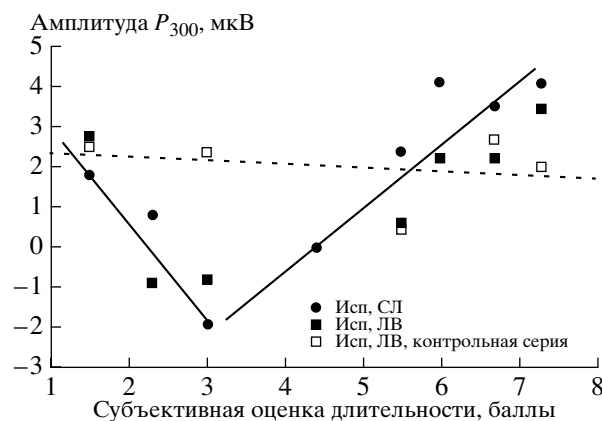


Рис. 5. Зависимость между субъективной длительностью слухового стимула (балльная оценка, ось X) и амплитудой пика ВП на латенции 250 мс, усредненно по концу предъявленного стимула для отведения F₄. По вертикальной оси отложена амплитуда данного компонента в мкВ. Обозначения данных по каждому испытуемому представлены на рисунке. Сплошная линия аппроксимирует случай оценки длительности, а пунктирная линия – результаты контрольной серии.

26]. В эксперименте Фурутсуки [17] предъявлялись 3 типа стимула разной длительности от 300 мс до 1200 мс. Стояла задача нажимать кнопку в ответ на стимул средний по длительности (600 мс). В результате, на выключение короткого стимула регистрировался компонент P300, обычно регистрируемый только для целевых стимулов. Также компонент P300 возникал и для самого длительного стимула, но только в момент возможного выключения целевого стимула, т.е. в середине стимула. Авторы заключили, что завершение оценки длительности целевого стимула отражается в позитивной волне с латенцией около 300 мс. Этот вывод подтверждается и в нашем эксперименте. Папаниколау [26] предъявлял стимулы двух разных длительностей с разной вероятностью. На выключение короткого стимула регистрировался P300. После выключения короткого стимула пропадает ситуация неопределенности о длительности стимула. Мозг испытуемого уже “знает”, что этот стимул будет длинный. В нашем эксперименте стимулы варьировались по длительности в широком диапазоне и поэтому идентификация длительности была возможна только после выключения стимула. Именно поэтому в ответ на выключение всех стимулов регистрировался компонент P300.

В вышеприведенных работах уже прослеживалась связь между длительностью и P300, наше исследование укрепило данную точку зрения, выявив линейную связь амплитуды этого компонента и длительности зрительного стимула. Полученные данные можно трактовать используя представление о внутренних, эндогенных процессах. Возможно, что чем длиннее стимул, тем

больше внимания необходимо ему уделить для оценки его длительности, или что оценивать короткие интервалы легче, чем длинные. Данные о том, что внимание и оценка длительности – это взаимосвязанные процессы, мы находим также и у других авторов [14, 15]. Так, после начала предъявления стимула испытуемый ожидает его окончания, он внимателен. Чем длиннее стимул, тем больше времени приходится человеку ожидать его окончания и находиться в состоянии напряженного внимания. Данную интерпретацию подтверждает и тот факт, что в условиях пассивного восприятия стимулов разной длительности нашего эксперимента, когда внимание испытуемых не было направлено на оценку длительности, компонент P300 не демонстрировал связи с длительностью стимула.

Остается открытым вопрос, почему для длительности визуальных и звуковых стимулов обнаружена разная зависимость между амплитудой пика ВП и длительностью стимула. Означает ли это, что для звуковых стимулов легче всего оценивать длительность в 400 мс? Данные психофизических экспериментов утверждают для звуковых стимулов диапазон от 300 до 800 мс в качестве зоны, в которой возможны наиболее точные оценки длительности [16]. Правда, подобный диапазон, похоже, характерен и для визуальных стимулов [18], хотя в нашем психофизическом исследовании для зрительных стимулов подобной зоны выявлено не было, а звуковые стимулы не использовались. Может быть, мозг человека по-разному чувствителен к длительности стимулов в слуховом и зрительном анализаторах и диапазоны наиболее легкой и точной оценки в этих мо-

дальностях различны (для зрения – до 200 мс, для слуха – приблизительно от 300 до 500 мс). Это возможно, так как длительность стимула для этих модальностей играет разные роли: так, для слуховых стимулов длительность стимулов критична при восприятии речи. Также было показано, что критическая частота слияний для зрительных и слуховых стимулов различна [1].

Как известно, у нормальных взрослых испытуемых зрительные стимулы порождают вызванные потенциалы только в затылочно-теменных отделах коры, причем они появляются с латентным периодом 80–100 мс. В экспериментах Э.Г. Симерницкой [9] было показано, что, в отличие от этого, задача дифференцировать предъявляемые зрительные стимулы по длительности приводит к появлению ВП не только в затылочно-теменных, но и в центрально-лобных отделах коры, причем последние имеют значительно больший латентный период (от 120 до 260 мс). Амплитуда поздних компонентов ВП значительно увеличивается под влиянием речевой инструкции как у здоровых людей, так и у больных с поражением задних отделов мозга. Однако у больных с поражением лобных долей мозга этого феномена, связываемого с мобилизацией внимания, часто не наблюдается. В данной работе использовалась инструкция оценивать длительность стимула, поэтому увеличение амплитуды компонента ВП можно также связывать с процессом осознанной оценки длительности. Выявленная в ходе нашего исследования зависимость подобного компонента от длительности стимула, наиболее ярко выраженная во фронтальных отведениях, позволяет предположить специфичность участия лобных долей в процессе оценивания длительности стимула.

Психофизиологический механизм сознательной оценки длительности раскрывается в данной работе через анализ связи субъективной длительности стимула с амплитудой компонента РЗ. Выявлена специфическая чувствительность данного компонента к длительности стимула в условиях напряженного внимания, в отличие от пассивного восприятия. Функциональная зависимость между длительностью стимула и амплитудой РЗ различна для слуховой и зрительной модальностей. Надеемся, что дальнейшие исследования в данном направлении позволят найти истинную причину обнаруженного различия, а также ответить на волнующий многих вопрос о том, как четвертое измерение мира человека – время, длительность – кодируется в его сознании человека.

ВЫВОДЫ

1. Мозг завершает переработку информации о длительности предшествующего зрительного стимула через 300 мс после окончания его предъ-

явления, а через 250 мс – о длительности слухового стимула.

2. Амплитуда пика Р300 ВП для отведений F_4 , C_4 , T_4 , P_4 , F_8 , F_3 , C_3 и сознательная балльная оценка длительности стимула для интервалов времени от 200 до 1000 мс характеризуются линейной связью для визуальной стимуляции и V-образной – для звуковой.

3. Компонент Р300 оказывается нечувствительным к изменениям физической длительности стимула в ситуации пассивного восприятия стимулов, без инструкции оценивать длительность.

4. В стандартных условиях эксперимента физическая длительность стимула и ее субъективная балльная оценка связаны линейной функцией для коротких интервалов времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веккер Л. М. Психика и реальность. М.: Смысл, 1998.
2. Геллерштейн С.Г. “Чувство времени” и скорость двигательной реакции. М.: Медгиз, 1958.
3. Головаха Е.И., Кроник А.А. Психологическое время личности. Киев: Наукова Думка, 1984.
4. Данилова Н.Н., Гудков В.Н. Применение метода вызванных потенциалов для изучения и диагностики функциональных состояний и процесса сенсорного обучения // Практикум по физиологии. М.: МГУ, 1984. С. 72–85.
5. Иващенко О.И., Важнова Т.Н., Генкина О.А. Оценка коротких интервалов времени и вызванная корковая активность у человека // Принципы и механизмы деятельности мозга человека. Л.: Наука, 1985. С. 88.
6. Каменская В.Г. Время в процессе отражения и как фактор организации целенаправленных акустико-моторных реакций человека: Автореф. дисс. доктора психол. наук. М., 1995.
7. Костандов Э.А., Генкина О.А., Захарова Н.Н., Иващенко О.И., Подребенский С.А. Динамика корковой вызванной активности в процессе обучения человека различению микроинтервалов времени с помощью обратной связи // Журнал ВНД. 1985. № 5. С. 833–841.
8. Наатанен Р. Внимание и функции мозга. М.: МГУ, 1998.
9. Симерницкая Э.Г. Изучение регуляции активности методом вызванных потенциалов. М.: МГУ, 1970.
10. Соколов Е.Н. Психофизиология: Лекции по с / к для студ. фак. психол. гос. университетов. М.: МГУ, 1981.
11. Alho K., Winkler I., Escera C., Huottilainen M., Virtanen J., Jaaskelainen I.P., Pekkonen E., Ilmoniemi R.J. Processing of novel sounds and frequency changes in the human auditory cortex: magnetoencephalographic recordings // Psychophysiology. 1998. № 35(2). P. 211–224.
12. Aschoff J. Time perception in man during isolation // Neural mechanisms involved in psychological and bio-

- logical time measurement, 1993 ENP Autumn School. P. 14.
13. Buonomano D.V., Hickmott P.W., Merzenich M.M. Context-sensitive synaptic plasticity and temporal-to-spatial transformations in hippocampal slices // *Proc. Nat. Acad. Sc. USA*. 1997. V. 94. № 19.
 14. Brown S.W., Boltz M.G. Attentional processes in time perception: effects of mental workload and event structure // *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.* 2002. № 28(3). P. 600–615.
 15. Brown S.W., West A.N. Multiple timing and the allocation of attention // *Acta Psychol (Amst)*. 1990. № 75(2). P. 103–121.
 16. Drake C., Botte M.C. Tempo sensitivity in auditory sequences: evidence for a multiple-look model // *Perception and Psychophysics*. 1993. № 54(3). P. 277–86.
 17. Furutsuka T. Effects of time estimation precision on Auditory Evoked Potentials in a tone-duration discrimination task (in Japanese) // *Shinrigaku Kenkyu*. 1983. № 53(6). P. 344–350.
 18. Grondin S. From physical time to the first and second moments of psychological time // *Psychological Bulletin*. 2001. № 127(1). P. 22–44.
 19. Johnson Jr. Developmental evidence for modality-dependent P300 generators: a normative study // *Psychophysiology*. 1989. № 26(6). P. 651–667.
 20. Klein M., Coles M., Donchin E. People with absolute pitch process tones without producing a P300 // *Science*. 1984. № 223. P. 1306–1310.
 21. Hansen J.C., Hillyard S.A. Selective attention to multi-dimensional auditory stimuli // *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performances*. 1983. P. 1–19.
 22. Hillyard S.A., Picton T.W. On and off components in the auditory evoked potential // *Perception and psychophysics*. 1978. № 24. P. 391–398.
 23. Molnar M., Skinner J.E., Csepe V., Winkler I., Karmos G. Correlation dimension changes accompanying the occurrence of the mismatch negativity and the P300 event-related potential component // *Electroencephalography and clinical neurophysiology*. 1995. № 95(2). P. 118–126.
 24. Naatanen R., Picton T. The N1 wave of the human electric and magnetic response to sound: a review and an analysis of the component structure // *Psychophysiology*. 1987. № 24(4). P. 375–425.
 25. Naumann E., Huber C., Maier S., Plihal W., Wustmans A., Diedrich O., Bartussek D. The scalp topography of P300 in the visual and auditory modalities: a comparison of three normalization methods and the control of statistical type II error // *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*. 1992. № 83 (4). P. 254–264.
 26. Papanicolaou A.C., Loring D.W., Eisenberg H.M. Stimulus offset P3 and temporal resolution of uncertainty // *Int. J. Psychophysiol*. 1985. № 3(1). P. 29–31.
 27. Torgerson W.S. *Theory and Methods of Scaling*. N.Y.: Wiley, 1958. P. 227–297.

REFLECTION OF STIMULUS DURATION IN CHARACTERISTICS OF EVOKED POTENTIAL (PART 1)

O. V. Sysoeva*, A. V. Vartanov**

*Psychologist, chair of psychophysiology, Moscow State University, Moscow

**Cand. sci (psychology), sen. res. ass., the same chair

There were investigated the mechanisms of perception of short duration stimuli in complex psychophysic and electroencephalographic study. Visual and auditory stimuli of different duration (200–1000 ms) were presented; EEG and subjective evaluation of stimulus duration were recorded in the experiment. Evoked potentials (EP) at F4, C4, T4, P4, F8 and C3 averaged from stimulus offset were analyzed. It was found that amplitude of EP positive component (with latency of 300 ms for visual stimuli and 250 for auditory ones) was linearly correlated with subjective evaluation of stimulus duration for visual stimuli and as V-shape function – for auditory. This positive component is not sensitive to changing of stimulus duration if there is no instruction to evaluate it. The data obtained prove the role of frontal and central areas in the process of perception and evaluation of time interval.

Key words: evoked potentials, stimulus duration, evaluation of time interval.