

УДК: 612.821

НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МАРКЕРЫ ТОЧНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

П.А. ПРОДИУС

*ГБОУ ВПО “Нижегородская государственная медицинская академия” Минздрава России,
площадь Минина и Пожарского, дом 10/1, Н. Новгород, 603005, Россия*

Аннотация. Изучались нейрофизиологические особенности точности переработки информации в более легком и трудном задании в парадигме *oddboll*. Испытуемые были предварительно разделены на более и менее точных с помощью теста Когана. Целью исследования было изучение нейрофизиологических различий связанных с событием потенциалов между точными и неточными испытуемыми. Основным условием выявления нейрофизиологических маркеров точности переработки информации было использование разных сенсорных модальностей и несовпадающих умственных операций для нивелирования второстепенных факторов корковой регуляции. В тесте Когана происходил зрительный поиск наиболее похожего на образец рисунка. В испытании со слуховой парадигмой *oddboll* предлагалось нажимать на кнопку (различение) при появлении более редкого значимого тона. Выполнение задания происходило с одновременной регистрацией ЭЭГ. Проводили статистический анализ средних амплитуд связанных с событием потенциалов в течение 500 мс после предъявления значимого тона. При сравнении связанных с событием потенциалов у точных и неточных испытуемых в трудном задании обнаружены амплитудные различия для более поздних этапов обработки информации. Обсуждается возможная роль внутренней речи, осознанности (*awareness*), внимательности (*mindfulness*) и контроля поведения, в обеспечении более точной обработки информации.

Ключевые слова: связанные с событиями потенциалы, точность и трудность переработки информации, регуляция умственной деятельности, *odd boll* парадигма.

NEUROPHYSIOLOGICAL MARKERS OF PRECISION OF INFORMATION PROCESSING

P.A. PRODIUS

*Nizhny Novgorod State Medical Academy of the Ministry of Health of Russia,
Minin and Pozharsky Square, 10/1, N. Novgorod, Russia, 603005.*

Abstract. We investigated the neurophysiological features of the process in the easier and more difficult task in the *oddboll* paradigm. The subjects were previously divided into more or less accurate ones using the Kogan test. The purpose of the study was to study the neurophysiological differences of event-related potentials (ERP) between the accurate and inaccurate subjects. The main condition for identifying of neurophysiological markers of information processing accuracy was the use of different sensory modalities and non-coincidental mental operations for leveling of secondary factors of the cortical regulation. In the Kogan test there was a visual search of the picture which was the most similar to the sample. In the *oddboll* auditory paradigm test there was suggested to press the button (discrimination) at the appearance of the rarer significant tone. The task was carried out with the simultaneous registration of the EEG. A statistical analysis of the ERP average amplitudes was performed within 500 ms after the significant tone presentation. The comparison the ERP in accurate and inaccurate subjects in the difficult task allows to observe the amplitude differences for later stages of information processing. The author discusses a possible role of the behavior control, internal speech, awareness and mindfulness in providing of more accurate information processing.

Key words: event-related potentials, accuracy and difficulty of processing information, regulation of mental activity, *odd boll* paradigm.

Введение. Мозг современного человека перерабатывает растущий приток информации. Все большую роль в социальной адаптации играет умственная деятельность. Для описания ментальной активности используют различные характеристики поведения и нейрофизиологические параметры работы мозга. К объективным поведенческим характеристикам можно отнести время реакции, скорость переработки информации, ошибки. К субъективным – трудность, интерес и новизну. Нейрофизиологические методы могут описывать электрическую активность, изменение кровотока и потребления глюкозы структур мозга, развитие утомления во время умственной деятельности.

В настоящее время сложилась определенная картина относительно материального субстрата ментальной активности. Умственная деятельность человека главным образом обеспечивается дорсолатеральным фронтальным неокортексом, речевыми центрами Брока и Вернике и участками соматосенсор-

ной и зрительной ассоциативной коры. Согласно модели париетально-фронтальной интеграции, ключевым условием обеспечения когнитивной деятельности является взаимодействие перечисленных выше структур [15]. Для изучения электрической активности структур мозга во время умственной деятельности применяется метод *вызванных потенциалов* (ВП). В случае регистрации вызванной активности мозга на подачу стимулов определенной модальности (например вспышки света) над корой регистрируются ранние или сенсорные компоненты (экзогенные). Если определенным стимулам придается целевое значение, то в вызванной активности появляются еще и более поздние когнитивные компоненты (эндогенные) ВП. Такой вид вызванной активности получил название *связанных с событием потенциалов* (ССП).

К наиболее изученным поздним компонентам СПП можно отнести положительную волну с пиковой латентностью 280-350 мс (*P300*) [3]. Для надежного выявления *P300* проводят регистрацию, чередуя два тона (например 1000 и 2000 Гц), согласно *oddball* парадигме [38]. При появлении редкого (целевого) стимула просят нажать кнопку, частый стимул (нецелевой) игнорируется испытуемым. При интерпретации используют форму СПП, пиковую латентность и амплитуду компонентов. Латентный период СПП связывают со временем, необходимым на обработку информации об объекте [35]. Например, для *P300* обнаружена обратная связь между продолжительностью латентного периода *P300* и академической успеваемостью студентов [36], общим уровнем интеллекта [12, 16], уровнем произвольного внимания [21] и рабочей памятью [42]. Амплитуда этого компонента СПП также является нейрофизиологическим коррелятом умственных способностей. Обнаружена положительная связь с уровнем умственных способностей [33].

На сегодняшний день выявлена связь компонентов *MMN, P160, N200, P300, N400, LPT* с различными психическими процессами, относящимися к познавательной деятельности [9, 11, 17, 25, 39]. Эти данные уточняют общую нейрофизиологическую картину о пространственно-временных особенностях процессов восприятия, внимания, памяти, мыслительных операций, но не отвечают на вопрос, как осуществляется регуляция познавательных процессов. Высокий уровень отдельных психических функций не гарантирует значительной эффективности в умственной деятельности. Так, у людей с отличной долговременной памятью может быть низкая академическая успеваемость, а испытуемые с хорошей устойчивостью внимания при выполнении теста с релевантными и нерелевантными стимулами могут сделать много ошибок. В научной литературе можно встретить описание ряда функций и процессов, которые можно отнести к более высоким системным уровням управления познавательной деятельности, такие как контроль поведения [2], внутреннюю речь [7], осознанность и внимательность [44]. Нейрофизиологические механизмы этих функций и процессов пока недостаточно изучены. В большей степени нейрофизиологические исследования посвящены изучению контроля поведения с использованием парадигмы *go/nogo* [28].

К методическим трудностям изучения регуляции когнитивной сферы человека относится необходимость учета большого числа факторов, таких как целенаправленный характер, сенсорные процессы, внимание, память, эмоциональная и волевая сферы, устная и письменная речь. При исследовании нейрофизиологических коррелятов переработки информации более ранние компоненты (такие как *N100* и *P160*) принято соотносить преимущественно с сенсорными, а более поздние (такие как *N200, P300, N400*) с когнитивными процессами. При анализе поздних компонентов ВП не следует забывать о том, что кроме когнитивных процессов преимущественного коркового происхождения (категоризация, память, внимание, принятие решения), присутствуют также тонические компоненты неспецифической активации мозга, наиболее выраженные в области вертекса [5]. К особенностям произвольной регуляции когнитивных процессов у взрослых людей следует отнести их целенаправленный характер, являющийся результатом деятельности передних отделов коры и особенностью протекания мыслительных процессов в речевой форме, определяемых функционированием центров устной и письменной речи в левом полушарии. Некоторые компоненты ВП выражены лишь при достаточной сложности и определенном уровне информационной нагрузки [6], поэтому желательно проводить испытание с разными по трудности заданиями.

Цель исследования – выяснить, какие этапы переработки информации являются определяющими для более эффективной умственной деятельности. Для этого мы нивелировали влияние модально специфических и неспецифических процессов обработки сенсорной информации, а также уменьшили роль вербальных центров и специфичность конкретных мыслительных операций. В результате сравнения СПП групп, отличающихся точностью обработки, мы ожидали увидеть особенности регуляции когнитивной деятельности.

Материалы и методы исследования. Для того, чтобы исключить из анализа влияние модально-специфических сенсорных механизмов на когнитивную деятельность из анализа, сначала разделили группы на точную (0-4 ошибки) и неточную (5-9 ошибок) с помощью теста Когана [23]. В этом испытании ведущей сенсорной системой является зрительный анализатор. Затем регистрировали СПП на слуховые сигналы. Так, как в тесте Когана нужно найти наиболее похожий рисунок (обобщение), а во время регистрации СПП нужно отличить тоны (дискриминация), мы смогли уменьшить влияние специфичности умственной операции на характер вызванной активности мозга.

В нашем исследовании мы использовали два типа задания. Первое задание легкое – *oddball* с простой дифференцировкой (тоны 1000 и 2000 Гц) в нем участвовало 20 испытуемых, второе более трудное

(тоны 1400 и 1600 Гц) выполняли 30 (15 точных и 15 неточных). В обоих случаях на редкий сигнал нужно было нажать кнопку. Для простой дифференцировки отличались также громкость (60 и 80 дБ), длительность тона (50 и 100 мс) и вероятность предъявления (80 и 20%). Для трудной дифференцировки кроме высоты тона отличалась еще вероятность предъявления (70 и 30%). Перед испытанием испытуемому трижды предлагалось прослушать значимый (более высокий) и незначимый (более низкий) тон.

Регистрация ЭЭГ проводилась в четырех равноудаленных от вертекса отведениях (*Fz, C3, C4, Pz*). Во первых, такая схема регистрации связана с намерением уменьшить влияние так называемой неспецифической обработки информации, максимально выраженной в *Cz*. Во вторых, данный монтаж позволит увидеть топологические особенности ССП передней и задней ассоциативных систем (*Fz* и *Pz*), а также областей с преимущественно сукцессивной (левая гемисфера-*C3*) и симультанной обработкой информации (правая гемисфера-*C4*). Регистрацию ССП проводили с помощью электроэнцефалографа Нейрон-Спектр-4ВПМ и программы Нейро-МВП.Net с частотой дискретизации 1000 гц. Во время регистрации испытуемый находился в частично затемненной и звукоизолированной комнате в положении полулежача.

Для сравнительного анализа брали усредненные программой Нейро-МВП.Net кривые, зарегистрированные для значимых стимулов длительностью 500 мс. Достоверность различий средних значений амплитуды ССП и коррекцию на множественное сравнение осуществляли с помощью непараметрического кластерного анализа [27], реализованного в модуле *NME* для *Python* [19, 20, 23]. Сравнивая ССП двух групп, мы рассчитывали выявить различия в когнитивной регуляции у групп, отличающихся точностью переработки информации.

Результаты и их обсуждение. Анализ данных проводили в три этапа. На первом этапе осуществляли визуальное сравнение полученных кривых между собой и их сопоставление с типичными кривыми ССП [3, 35]. Следующий шаг – выделение статистически значимых интервалов между группами. Далее для полученных интервалов проводили коррекцию для множественных сравнений. Задание с легкой дифференцировкой. На рис. 1 представлены кривые, построенные по средним значениям связанных с событием потенциалов, которые, согласно инструкции, были значимыми. Усреднение вызванной активности мозга проведено на отрезке от начала предъявления значимого стимула в течении 500 мс. Визуальное сравнение кривых проводили сначала для более раннего периода. Этот отрезок ССП в значительной степени аналогичен кривым, усредненным для незначимого стимула, называемый *V*-волной (*P60, M100, P160*). Этот период принято связывать с сенсорной обработкой внешних раздражителей. Негативная волна *M100* в группе неточных представляет собой пик привычной синусоидальной формы (*Fz, C4, Pz*). В отведении *C3* эта волна имеет форму плато. Во всех отведениях начальный отрезок ВП хорошо отличим от более поздних компонентов – *N200, P300*. Поздние компоненты ССП определяют когнитивный этап обработки информации. Таким образом наиболее типичный вид ССП на значимый стимул наблюдаем в неточной группе. ССП в точной группе имеют отличия от типичных кривых. Первое отличие – не виден ранний позитивный компонент *P160* (рис. 1). Второй особенностью является редуцированная волна *N200*. Границу между ранними и поздними компонентами (*P160/N200*) можно определить только в центрально-теменном отведении. На остальных кривых на позитивный компонент *P160* накладывается негативная волна *MMN* [31]. С помощью поточечного анализа удалось выделить для этого задания интервалы с достоверными различиями между группами для трех отведений (табл.1). Все обнаруженные отличия относятся к позитивной волне *P300*. После поправки на множественные сравнения достоверно различающихся интервалов между группами не обнаружили.

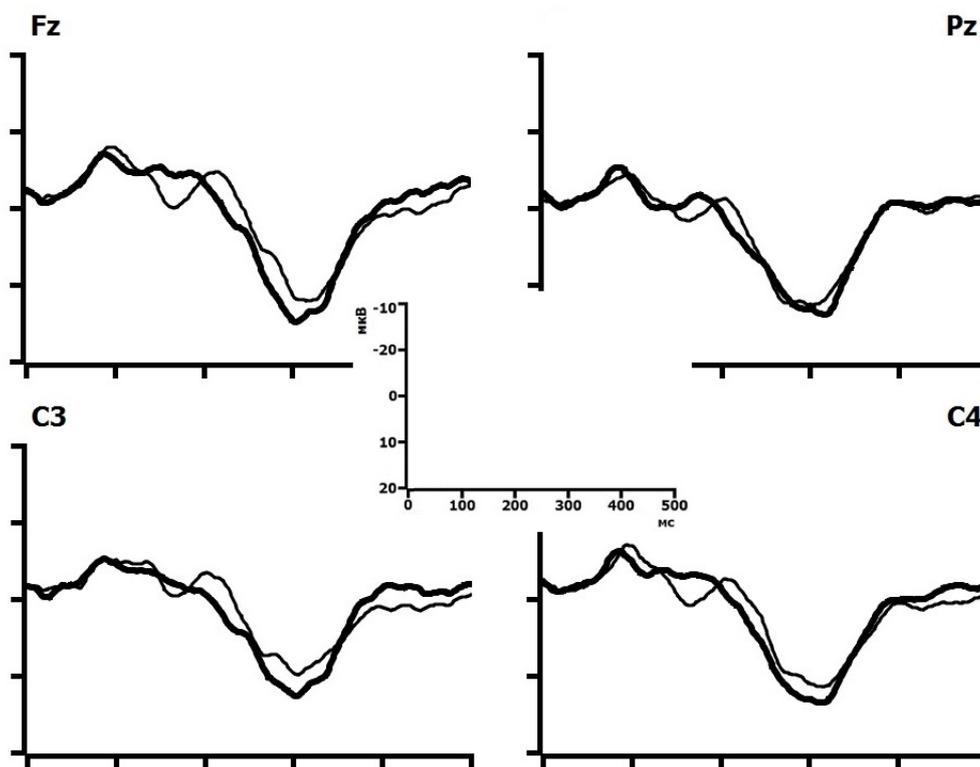


Рис. 1. Кривые ССП на значимый стимул в задании с легкой дифференцировкой.
Толстая линия ССП – точной группы, тонкая линия – неточной

Задание с трудной дифференцировкой. В обеих группах ранние компоненты ССП хорошо отличимы от поздних. В задних отделах ССП более сглажены, чем в передних. Известно, что увеличение трудности задания в дискриминационных тестах уменьшает амплитуду $P300$ [24]. В нашем исследовании в обеих группах наблюдали значительное снижение амплитуды $P300$. Амплитуда положительной волны $P300$ уменьшилась в среднем для всех отведений в 2,5 раза для точных и 2,6 раза для неточных по сравнению с легким заданием. Кроме того, выделили несколько интервалов для ранних и особенно для поздних компонентов ССП с достоверными различиями в диапазоне от 27 до 460 мс (табл.1). Обнаруженные отличия относятся к позитивной к позитивной волне $P50$, $P300$ и негативной волне $N100$ и $N300$. Для более поздних компонентов, таких как $P300$ различия найдены в Fz и $C3$, для $N300$ они обнаружены во всех 4 отведениях (табл.1). После поправки на множественные сравнения интервалов ССП достоверные различия между группами остались только для интервала 402-449 мс (негативная волна $N300$) в правом центральном отведении ($p < 0,0384$). Таким образом, в более трудном задании амплитудные различия связанные с точностью переработки информации, для поздних компонентов ССП стали более выражены. Далее попробуем интерпретировать амплитудные различия для поздних компонентов ССП.

Связь $P300$ с когнитивными функциями и регуляцией умственной деятельности. Когнитивная обработка физических характеристик объектов происходит при участии $P300$ [11]. Кроме того амплитуда волны $P300$ коррелирует с объемом оперативной памяти в задании $N-back$ [42]. При этом амплитуда волны $P300$ для значимого стимула в $oddball$ парадигме максимальна в теменных отведениях. То есть можно говорить о лобно-теменном градиенте волны $P300$, называемом также волной $P3b$. В нашем исследовании для трудного задания этот градиент наблюдался в неточной группе ($Pz/Fz - 1,63$; $Pz/C3 - 1,40$; $Pz/C4 - 1,32$) отсутствовал в точной группе (0,97; 0,97; 1,06 соответственно). Мы предполагаем, что более высокая амплитуда $P300$ в лобно-центральных отведениях у точных испытуемых может быть связана с $no-go$ компонентом ССП, который обычно регистрируют в парадигме $go/nogo$ с максимумом в лобно-центральных отведениях [28]. Этот компонент относят к контролю поведения, его связывают с мониторингом конфликта, возникающим при предъявлении нерелевантных стимулов. В группах с синдромом дефицита внимания и у более импульсивных лиц наблюдают более низкую амплитуду лобно-центрального $P300$ [26, 33, 34]. Поведение таких лиц связано с более высоким количеством ошибок во время выполнения когнитивных задач. В нашем исследовании более выраженная амплитуда $P300$ может быть связана с усилением бдительности и снижении импульсивности у точных испытуемых.

Связь поздних негативных компонентов ($N300$, $N400$) с когнитивными функциями и регуляцией умственной деятельности. К наиболее изученным поздним негативным компонентам можно отнести нега-

тивную волну N400, которую связывают с семантической и лингвистической обработкой информации [25], в нейролингвистических пробах увеличение амплитуды N400 растет со сложностью лексико-семантической интеграции [41]. В нашем испытании были использованы стимулы, которые нельзя отнести к вербальным. В некоторых исследованиях поздние компоненты ССП связывают с ментальной репрезентацией, причем волну N300 соотносят с активацией ментальной репрезентации невербальных стимулов, а N400 вербальных [43]. Есть данные о том, что N400 увеличивается при категоризации невербальных объектов в более трудных заданиях [1]. С увеличением трудности задания наблюдается усиление выраженности физиологических компонентов внутренней речи [7]. Эти данные наводят на мысль, что N300 компонент при обработке невербальных объектов может относиться к внутренней речи.

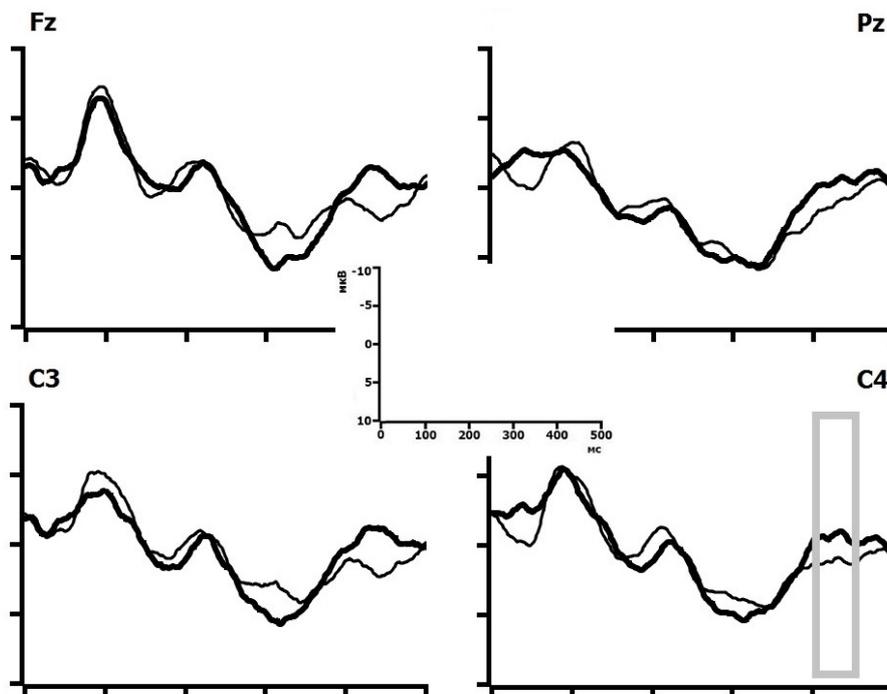


Рис. 2.А – Кривые ССП на значимые стимулы в задании с трудной дифференцировкой. Временной интервал ССП со статистически достоверными отличиями ($p < 0,05$) между точными и неточными группами с поправкой на множественное сравнение выделен серой рамкой

Речь, как фактор регуляции умственной деятельности. Речь играет важную роль в саморегуляции поведения человека, нарушение устной речи (дислексия) приводит к нарушению исполнительских функций [32]. Состояние артикуляционного аппарата влияет на параметры мозгового кровоснабжения [4]. У дислексических детей обнаружена более низкая амплитуда N450 или увеличение ее пиковой латентности при выполнении задачи решения визуальной рифмы [8], при чтении про себя правильных и неправильных окончаний предложения [13]. В *oddball* парадигме также обнаружили снижение амплитуды волны N300 у больных дислексией [29]. Учитывая выше изложенные факты и то, что в левом центральном отведении мы наблюдали тенденцию к увеличению волны N300 в точной группе, можем предположить более выраженную речевую саморегуляцию в точной группе. Ниже попробуем ответить на вопрос почему в точной группе более высокая амплитуда N300 в лобном и правом центральном отведении.

Интересные результаты получены при изучении тренировки внимательности [30]. Она уменьшает активацию и фокусирует активность мозга. В данном случае речь идет о тренировке контроля внимания, способности осознанно разделять его на сенсорные модальности и удерживать сознание в настоящем времени. У лиц с высокими баллами по шкале осознанности и внимательности обнаружили большую разницу амплитуды N400 между конгруэнтными и неконгруэнтными негативными эмоциональными словами [18]. Также интересно, что у людей со сниженным контролем эмоций (с высокими показателями по шкале психопатии *MMPI*) негативная волна N400 имеет более низкую амплитуду [14]. В нашем исследовании негативная волна N300 достоверно выше в правом центральном отведении и наблюдается тенденция к увеличению в лобном отведении у точной группы, что может интерпретироваться как большая осознанность поведения и большая произвольность в точной группе. Таким образом, поздние негативные компоненты также могут отражать процессы регуляции поведения и познавательной деятельности.

**Статистически достоверные отличия ($p < 0,05$) на кривой ССП (500 мс)
 между точными и неточными группами**

Отведения	Легкая дифференцировка Интервалы кривой ССП от/до (мс)	Трудная дифференцировка Интервалы кривой ССП от/до (мс)
<i>Fz</i>	215-238	308-321; 428-444
<i>C3</i>	214-230	114-123; 302-319; 421-460
<i>C4</i>	287-299	27-57; 402-449
<i>Pz</i>		49-55; 375-388

Обычным шрифтом выделены интервалы с различиями средней амплитуды ССП без поправки, жирным с поправкой на множественное сравнение.

Закключение. Исследовано, что различие кривых ССП в группах отличающихся точностью переработки информации будут зависеть от трудности задания. В легком задании более типично выглядят ранние компоненты ССП у неточной группы. В трудном задании у точной группы в лобном и центральных отведениях наблюдалась большая амплитуда компонентов P300 и N300 в сравнении с неточной. Поздние негативные компоненты ССП в лобных и центральных отделах в более трудных заданиях могут отражать процессы регуляции познавательной деятельности человека.

Литература

1. Бетелева Т.Г. Изменения событийно связанных потенциалов в процессе классификации изображений // Физиология человека. 1998. Т. 24, №4. С. 64.
2. Виленская Г. А. Исполнительные функции: природа и развитие // Психологический журнал. 2016. Т. 37, № 4. С. 21–31.
3. Гнездицкий В.В. Вызванные потенциалы мозга в клинической практике. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 1997. 124 с.
4. Жулев Е.Н., Успенская О.А., Шевченко Е.А., Александров А.А. Оценка влияния стоматологического ортопедического лечения на состояние мозговой гемодинамики у больных с дисциркуляторной энцефалопатией // Современные технологии в медицине. 2013. Т. 5, № 1. С. 82–84.
5. Ревенок Е.В., Гнездицкий В.В., Калашникова Л.А. Различия P300, нейропсихологического профиля и когнитивных нарушений при деменции коркового и подкоркового типов // Физиология человека. 2001. № 3. С. 42–53.
6. Рутман Э.М. Вызванные потенциалы в психологии и в психофизиологии. Москва: Изд-во Наука, 1979. 124 с.
7. Соколов А.Н. Внутренняя речь и мышление. Москва: Изд-во ЛКИ, 2007. С. 131–165.
8. Ackeiman P.T., Dykman R.A., Oglesby D.M. Visual event-related potentials of dyslexic children to rhyming and nonrhyming stimuli // Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology. 1994. V. 16 P. 138–154.
9. Amenado E., Escera C. The accuracy of sound duration representation in the human brain determines the accuracy of behavioral perception // European Journal of Neuroscience. 2000. V. 12. P.2570–2574.
10. Azizian A., Freitas A.L., Watson T.D., Squires N.K. Electrophysiological correlates of categorization: P300 amplitude as index of target similarity // Biological. 2006. V. 1 P. 278–288.
11. Bazana P.G., Stelmack R.M. Intelligence and information processing during an auditory discrimination task with backward masking: An event-related potential analysis // Journal of Personality and Social Psychology. 2002. V.83 P. 998–1008.
12. Beauchamp C.M., Stelmack R.M. The chronometry of mental ability: an event-related potential analysis of an auditory oddball discrimination task // Intelligence. 2006. V.34 P. 571–586.
13. Brandeis D.L., Vitacco. D., Steinhjansen H.C. Mapping brain electric micro-states in dyslexic children during reading // Acta Paedopsychiatrica. 1994. V.56. P. 239–247.
14. Campanella S., Vanhooland M.E., Philippot P. Emotional deficit in subjects with psychopathic tendencies as assessed by the Minnesota Multiphasic Personality Inventory-2: an event-related potentials study // Neuroscience Letters. 2005. V. 373 P. 26–31.
15. Colom R., Richard J. Haier , Kevin Head , Juan Álvarez-Linera , María Ángeles Quiroga , Pei Chun Shih , Rex E. Jung . Gray matter correlates of fluid, crystallized, and spatial intelligence: Testing the P-FIT model // Intelligence. 2009. V. 37 P. 124–135.
16. De Pascalis V., Varriale V., Matteoli A., Intelligence and P3 components of the event-related potential elicited during an auditory discrimination task with masking // Intelligence. 2008. V. 36 P. 35–47.

17. Donchin E., Coles M. Is the P300 component a manifestation of context updating? // Behavioral and Brain Sciences. 1988. V. 11 P. 357–379.
18. Dorjee D., Niall L., Darrall-Rew J., Thierry G. Dispositional mindfulness and semantic integration of emotional words: Evidence from event-related brain potentials. // Neuroscience Research. 2015. V. 97 P. 45–51.
19. Gramfort A., Luessi M., Larson E., Engemann D., Strohmeier D., Brodbeck C., Parkkonen L., Hämäläinen M. MNE software for processing MEG and EEG data // NeuroImage. 2014. V. 86 P. 446–460.
20. Gramfort A., Luessi M., Larson E., Engemann D., Strohmeier D., Brodbeck C., Goj, Jas M., Brooks T., Parkkonen L., Hämäläinen M. MEG and EEG data analysis with MNE-Python // Frontiers in Neuroscience. 2013. V. 7.
21. Hillyard S.A., Kutas M. Electrophysiology of cognitive processing // Annual Review of Psychology. 1983. V. 34 P. 33–61.
22. URL: <https://www.nmr.mgh.harvard.edu/mne/stable/index.html>
23. Kagan J. Reflection-impulsivity: The generality and dynamics of conceptual tempo // Abnormal. Psychology/ 1966. V. 71. P. 17–24.
24. Kok A. On the utility of P3 amplitude as a measure of processing capacity // Psychophysiology/ 2001. V. 38 P. 557–577.
25. Kutas M., Federmeier K. D. Thirty Years and Counting: Finding Meaning in the N400 Component of the Event-Related Brain Potential (ERP) // Annual Review of Psychology. 2011. V. 62 P. 621–647.
26. Lazzaro I., Anderson J., Gordon E., Clarke S., Leong J., Meares R. Single trial variability within the P300 (250–500 ms) processing window in adolescents with attention deficit hyperactivity disorder // Psychiatry Research. 1997. V. 73 P. 91–101.
27. Maris E., Oostenveld R. Nonparametric statistical testing of EEG- and MEG-data // Journal of Neuroscience Methods. 2007. V. 164 P. 177–190.
28. Miller E.K., Cohen J.D. An integrative theory of prefrontal cortex function // Annu Rev Neurosci. - 2001. P. 167–202.
29. Mirsky A. F. Behavioral and psychophysiological markers of disordered attention // Environmental Health Perspectives. 1987. V. 74. P. 191–199.
30. Moore A., Gruber T., Deroose J., Malinowski P. Regular, brief mindfulness meditation practice improves electrophysiological markers of attentional control // Front Hum. Neurosci. 2012. №6. P. 18. DOI: 10.3389/fnhum.2012.00018.
31. Naatanen R., Paavilainen P., Rinne T., Alho K. The mismatch negativity (MMN) in basic research of central auditory processing: A review // Clinical Neurophysiology 2007. V. 118. P. 2544–2590.
32. Reiter A., Tucha O., Lange K. W. Executive functions in children with dyslexia // Dyslexia. 2005. V. 11. P. 116–131.
33. Russo P. M., De Pascalis V., Varriale V., Barratt E. S. Impulsivity, intelligence and P300 wave: an empirical study // International Journal of Psychophysiology. 2008. V. 69. P. 112–118.
34. Ruchsnow M., Groen C., Kiefer M., Hermle L., Spitzer M., Falkenstein M. (2008). Impulsiveness and ERP components in a Go/Nogo task // Journal of Neural Transmission V. 2008. V. 115 P. 909–915.
35. Polich J. Updating P300: An integrative theory of P3a and P3b // Clinical Neurophysiology 2007. V. 118 P. 2128–2148.
36. Polich J., Martin S. P300, cognitive capability, and personality: A correlational study of university undergraduates // Personal. Individ. Differ. 1992. V.13 P. 533–543.
37. Russo P.M., De Pascalis V., Varriale V., Barratt E. S. Impulsivity, intelligence and P300 wave: An empirical study // International Journal of Psychophysiology. 2008. V.69 P. 112–118
38. Squires N.K., Squires K.C., Hillyard S.A. Two varieties of long latency positive wave evoked by unpredictable auditory stimuli in man // Electroencephalography and Clinical Neurophysiology. 1975. V. 38 P. 387–401.
39. Stelmack R.M., Houlihan M. Intelligence, learning disabilities, and event-related potentials // Developmental Neuropsychology. 1995 V. 11 P. 445–465.
40. Tremblay K. L., Kraus N. Auditory Training Induces Asymmetrical Changes in Cortical Neural Activity // Journal of Speech, Language, and Hearing Research. 2002. V.45 P. 564–572.
41. Van Petten C., Luka B. J. Neural localization of semantic context effects in electromagnetic and hemodynamic studies // Brain and Language 2006. V. 97 P. 279–293.
42. Watter S. Geffen G. M., Geffen L. B. The w-back as a dual-task: P300 morphology under divided attention // Psychophysiology 2001. V.3 P. 998–1003.
43. West W. Caroline; Holcomb, Phillip J. Event-related potentials during discourse-level semantic integration of complex pictures // Cognitive Brain Research. 2002 V. 13 P. 363–375.
44. Zei-dan F.F., Johnson S.K., Diamond B.J. Mindfulness meditation improves cognition: Evidence of brief mental training // Consciousness and Cognition. 2010. Vol. 19. P. 597–605.

References

1. Beteleva TG. Izmeneniya sobytiyno svyazannykh potentsialov v protsesse klassifikatsii izobrazheniy [Changes of event related potentials in the process of image classification]. *Fiziologiya cheloveka*. 1998;24(4):64. Russian.
2. Vilenskaya GA. Iсполnitel'nye funktsii: priroda i razvitiye [Executive function: the nature and development]. *Psikhologicheskiy zhurnal*. 2016;37(4):21-31. Russian.
3. Gnezditskiy VV. Vyzvannye potentsialy mozga v klinicheskoy praktike [evoked potentials in clinical practice.]. Taganrog: Izd-vo TRTU; 1997. Russian.
4. Zhulev EN, Uspenskaya OA, Shevchenko EA, Aleksandrov AA. Otsenka vliyaniya stomatologicheskogo ortopedicheskogo lecheniya na sostoyaniye mozgovoy gemodinamiki u bol'nykh s distsirkulyatornoy entsefalopatiyei [evaluation of the effect of stomatologic-ray orthopedic treatment on the cerebral hemodynamics in patients with dyscirculatory encephalopathy]. *Sovremennye tekhnologii v meditsine*. 2013;5(1):82-4. Russian.
5. Revenok EV, Gnezditskiy VV, Kalashnikova LA. Razlichiya R300, neyropsikhologicheskogo profilya i kognitivnykh narusheniy pri dementsii korkovogo i podkorkovogo tipov [differences of the P300, neuropsychological profile and cognitive impairment in dementia of the cortical and subcortical types]. *Fiziologiya cheloveka*. 2001;3:42-53. Russian.
6. Rutman EM. Vyzvannye potentsialy v psikhologii i v psikhofiziologii [potentials in psychology and psychophysiology]. Moscow: Izd-vo Nauka; 1979. Russian.
7. Sokolov AN. Vnutrennyaya rech' i myshlenie [Inner speech and thinking]. Moscow: Izd-vo LKI; 2007. Russian.
8. Ackeiman PT, Dykman RA, Oglesby DM. Visual event-related potentials of dyslexic children to rhyming and nonrhyming stimuli. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*. 1994;16:138-54.
9. Amenedo E, Escera S. The accuracy of sound duration representation in the human brain determines the accuracy of behavioral perception. *European Journal of Neuroscience*. 2000;12:2570-4.
10. Azizian A, Freitas AL, Watson TD, Squires NK. Electrophysiological correlates of categorization: P300 amplitude as index of target similarity. *Biological*. 2006;1:278-88.
11. Bazana PG, Stelmack RM. Intelligence and information processing during an auditory discrimination task with backward masking: An event-related potential analysis. *Journal of Personality and Social Psychology*. 2002;83:998-1008.
12. Beauchamp CM, Stelmack RM. The chronometry of mental ability: an event-related potential analysis of an auditory oddball discrimination task. *Intelligence*. 2006;34:571-86.
13. Brandeis DL, Vitacco D, Steinhjauen HC. Mapping brain electric micro-states in dyslexic children during reading. *Acta Paedopsychiatrica*. 1994;56:239-47.
14. Campanella S, Vanhooand ME, Philippot P. Emotional deficit in subjects with psychopathic tendencies as assessed by the Minnesota Multiphasic Personality Inventory-2: an event-related potentials study. *Neuroscience Letters*. 2005;373:26-31.
15. Colom R, Richard J. Haier , Kevin Head , Juan Álvarez-Linera , María Ángeles Quiroga , Pei Chun Shih , Rex E. Jung . Gray matter correlates of fluid, crystallized, and spatial intelligence: Testing the P-FIT model. *Intelligence*. 2009;37:124-35.
16. De Pascalis V, Varriale V, Matteoli A, Intelligence and P3 components of the event-related potential elicited during an auditory discrimination task with masking. *Intelligence*. 2008;36:35-47.
17. Donchin E, Coles M. Is the P300 component a manifestation of context updating? *Behavioral and Brain Sciences*. 1988;11:357-79.
18. Dorjee D, Niall L, Darrall-Rew J, Thierry G. Dispositional mindfulness and semantic integration of emotional words: Evidence from event-related brain potentials. *Neuroscience Research*. 2015;97:45-51.
19. Gramfort A, Luessi M, Larson E, Engemann D, Strohmeier D, Brodbeck C, Parkkonen L, Hämäläinen M. MNE software for processing MEG and EEG data. *NeuroImage*. 2014;86:446-60.
20. Gramfort A, Luessi M, Larson E, Engemann D, Strohmeier D, Brodbeck C, Goj, Jas M, Brooks T, Parkkonen L., Hämäläinen M. MEG and EEG data analysis with MNE-Python. *Frontiers in Neuroscience*. 2013;7.
21. Hillyard SA, Kutas M. Electrophysiology of cognitive processing. *Annual Review of Psychology*. 1983;34:33-61.
22. Available from: <https://www.nmr.mgh.harvard.edu/mne/stable/index.html>
23. Kagan J. Reflection-impulsivity: The generality and dynamics of conceptual tempo. *Abnormal. Psychology*/ 1966;71:17-24.
24. Kok A. On the utility of P3 amplitude as a measure of processing capacity. *Psychophysiology*. 2001;38:557-77.
25. Kutas M, Federmeier KD. Thirty Years and Counting: Finding Meaning in the N400 Component of the Event-Related Brain Potential (ERP). *Annual Review of Psychology*. 2011;62:621-47.

26. Lazzaro I, Anderson J, Gordon E, Clarke S, Leong J, Meares R. Single trial variability within the P300 (250-500 ms) processing window in adolescents with attention deficit hyperactivity disorder. *Psychiatry Research*. 1997;73:91-101.
27. Maris E, Oostenveld R. Nonparametric statistical testing of EEG- and MEG-data. *Journal of Neuroscience Methods*. 2007;164:177-90.
28. Miller EK, Cohen JD. An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annu Rev Neurosci*. 2001;167-202.
29. Mirsky AF. Behavioral and psychophysiological markers of disordered attention. *Environmental Health Perspectives*. 1987;74:191-9.
30. Moore A, Gruber T, Derose J, Malinowski P. Regular, brief mindfulness meditation practice improves electrophysiological markers of attentional control. *Front Hum. Neurosci*. 2012;6:18. DOI: 10.3389/fnhum.2012.00018.
31. Naatanen R, Paavilainen P, Rinne T, Alho K. The mismatch negativity (MMN) in basic research of central auditory processing: A review. *Clinical Neurophysiology* 2007;118:2544-90.
32. Reiter A, Tucha O, Lange KW. Executive functions in children with dyslexia. *Dyslexia*. 2005;11:116-31.
33. Russo PM, De Pascalis V, Varriale V, Barratt ES. Impulsivity, intelligence and P300 wave: an empirical study. *International Journal of Psychophysiology*. 2008;69:112-8.
34. Ruchow M, Groen S, Kiefer M, Hermle L, Spitzer M, Falkenstein M. Impulsiveness and ERP components in a Go/Nogo task. *Journal of Neural Transmission* 2008;115:909-15.
35. Polich J. Updating P300: An integrative theory of P3a and P3b. *Clinical Neurophysiology* 2007;118:2128-48.
36. Polich J, Martin S. P300, cognitive capability, and personality: A correlational study of university undergraduates. *Personal. Individ. Differ*. 1992;13:533-43.
37. Russo PM, De Pascalis V, Varriale V, Barratt ES. Impulsivity, intelligence and P300 wave: An empirical study. *International Journal of Psychophysiology*. 2008;69:112-8
38. Squires NK, Squires KS, Hillyard SA. Two varieties of long latency positive wave evoked by unpredictable auditory stimuli in man. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*. 1975;38:387-401.
39. Stelmack RM, Houlihan M. Intelligence, learning disabilities, and event-related potentials. *Developmental Neuropsychology*. 1995;11:445-65.
40. Tremblay KL, Kraus N. Auditory Training Induces Asymmetrical Changes in Cortical Neural Activity. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*. 2002;45:564-72.
41. Van Petten C, Luka BJ. Neural localization of semantic context effects in electromagnetic and hemodynamic studies. *Brain and Language* 2006;97:279-93.
42. Watter S, Geffen GM, Geffen LB. The w-back as a dual-task: P300 morphology under divided attention. *Psychophysiology* 2001;3:998-1003.
43. West W, Caroline; Holcomb, Phillip J. Event-related potentials during discourse-level semantic integration of complex pictures. *Cognitive Brain Research*. 2002;13:363-75.
44. Zei-dan FF, Johnson SK, Diamond BJ. Mindfulness meditation improves cognition: Evidence of brief mental training. *Consciousness and Cognition*. 2010;19:597-605.

Библиографическая ссылка:

Продиус П.А. Нейрофизиологические маркеры точности переработки информации // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2018. №1. Публикация 2-1. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2018-1/2-1.pdf> (дата обращения: 15.01.2018).