

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНТЕГРАТИВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ЭЭГ В СТРУКТУРЕ ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА НЕЙРОКОГНИТИВНОГО СТАТУСА

© Н.Ю. Кипятков<sup>1</sup>, В.Б. Дутов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России;

<sup>2</sup> ГБУЗ Психоневрологический диспансер № 1, Санкт-Петербург

**Резюме.** Задача настоящего исследования оценить нейрокогнитивный профиль человека в условиях дефицита времени. Мы использовали регистрацию ЭЭГ с последующей компьютерной обработкой. В основную группу вошли 152 взрослых в возрасте от 18 до 65 лет, которые проходят профессиональный отбор для профессий, требующих повышенного внимания. Обработка фрагментов ЭЭГ проводилась компьютерной программой WinEEG: выполнялся расчет индексов и спектров мощности в каждом частотном диапазоне. Результаты обследования 34 пациентов психоневрологического диспансера были контролем. Статистическая обработка данных, полученных при компьютерном анализе ЭЭГ позволила выявить, какие различия между двумя данными группами были статистически значимыми. Это прежде всего индексы и спектры мощности ЭЭГ в тета-диапазоне по всем отведениям. Индексы и спектры мощности ЭЭГ в альфа-диапазоне частот также значительно отличаются в затылочных и височных отведениях. Компьютерный анализ ЭЭГ является перспективным для дальнейшего развития быстрой диагностики психического состояния человека в психофизиологических скрининг-тестах. Предлагаемая схема может оказаться полезной для комплексной экспресс-диагностики психического состояния человека.

**Ключевые слова:** ЭЭГ; тета-диапазон; индекс ЭЭГ; спектры мощности ЭЭГ.

В современных условиях нередко возникает необходимость оценить функциональное состояние человека в довольно сжатые временные сроки, в таких случаях стандартизация работы специалиста при проведении анализа в условиях дефицита времени особенно актуальна [2]. Это направление затрагивает и психоневрологию, где оценка нейрокогнитивного статуса сегодня имеет первостепенное значение. В соответствии с действующим законодательством обязательное психическое освидетельствование проходят при приеме на работу, выдаче и подтверждении водительских прав, выдаче разрешения на ношение огнестрельного оружия. В то же время каких-либо устоявшихся регламентов оценки психического здоровья или в более широком смысле «психической нормы» на сегодняшний день не существует [1].

Большим распространением для оценки психического здоровья пользуется регистрация ЭЭГ, как в покое, так и с выполнением стандартных проб, в том числе с регистрацией вызванных потенциалов, а также различные методы психологического тестирования, подбор которых в каждом конкретном случае подвержен значительным вариациям.

Мы решили изучить возможности вторичной компьютерной обработки ЭЭГ-сигналов в состоянии покоя при сравнении групп здоровых людей с пациентами с верифицированными психопатологическими диагнозами.

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На базе отделения функциональной диагностики СПб ГБУЗ «Психоневрологический диспан-

сер № 1» мы регистрировали ЭЭГ покоя в течение минуты в 8 биполярных отведениях:  $Fp_1 - C_3$ ,  $Fp_2 - C_4$ ,  $C_3 - O_1$ ,  $C_4 - O_2$ ,  $O_1 - T_3$ ,  $O_2 - T_4$ ,  $T_3 - Fp_1$ ,  $T_4 - Fp_2$  с помощью программно-аппаратного комплекса Телепат-104. Последующая компьютерная обработка сигнала проводилась с помощью программы WinEEG версия 1.3 путем подсчета индексов и спектров мощности ЭЭГ в 5 частотных диапазонах (тета, дельта, альфа, бета-1, бета-2).

Для нейрофизиологического исследования была сформирована исследуемая группа I. Ее составили 152 здоровых испытуемых в возрасте от 18 до 65 лет проходившее психиатрическое освидетельствование в СПб ГБУЗ «Психоневрологический диспансер № 1». Регистрированные в этой группе ЭЭГ визуально были оценены как записи «без пароксизмальных и очаговых изменений». Для контроля в нейрофизиологическом обследовании использовалась исследуемая группа II, состоявшая из 34 пациентов дневного стационара СПб ГБУЗ «Психоневрологический диспансер № 1».

Данные были проанализированы с помощью статистической программы SPSS 9.0 for Windows по следующему алгоритму. Первоначально каждая выборка проверялась на соответствие нормальному распределению (Гаусса) визуально с помощью построения гистограммы и по критерию Колмогорова-Смирнова. Данные, подчиняющиеся законам нормального распределения, были проанализированы на достоверность с помощью критерия Стьюдента. Данные, для которых соответствие нормальному распределению доказать не удалось, анализировали с помощью критерия Вальда-Вольфовица и Манна-Уитни. В ре-

Таблица 1

Результаты спектров мощности ЭЭГ в дельта и тета диапазонах

	Дельта		Тета	
	Группа I	Группа II	Группа I	Группа II
$Fp_1 - C_3$	$14,72 \pm 0,9$	$13,45 \pm 2,4$	$10,38 \pm 0,5$	$16,32 \pm 2,2$
$Fp_2 - C_4$	$13,18 \pm 0,8$	$13,80 \pm 2,8$	$10,28 \pm 0,6$	$16,93 \pm 2,4$
$C_3 - O_1$	$7,30 \pm 0,6$	$11,40 \pm 2,0$	$6,16 \pm 0,4$	$17,49 \pm 2,9$
$C_4 - O_2$	$6,60 \pm 0,5$	$11,95 \pm 2,1$	$6,31 \pm 0,4$	$17,63 \pm 2,9$
$O_1 - T_3$	$9,60 \pm 1,3$	$12,60 \pm 2,3$	$6,02 \pm 0,4$	$16,74 \pm 2,5$
$O_2 - T_4$	$7,52 \pm 0,5$	$12,83 \pm 1,7$	$6,12 \pm 0,4$	$17,79 \pm 2,8$
$T_3 - Fp_1$	$14,25 \pm 0,9$	$12,70 \pm 2,2$	$10,46 \pm 0,5$	$18,63 \pm 2,7$
$T_4 - Fp_2$	$13,66 \pm 0,8$	$13,22 \pm 1,7$	$11,17 \pm 0,6$	$18,72 \pm 2,3$

Здесь и далее — среднее  $\pm$  ошибка среднего арифметического

зультате были отобраны показатели, статистически различающиеся в исследуемых группах.

В рамках аналитической статистики был выполнен многофакторный анализ для оценки зависимости одного количественного признака от нескольких других признаков при прогнозировании значения одного признака по значению нескольких признаков. Поскольку зависимый и независимые признаки являются количественными, мы выбрали метод множественного линейного регрессионного анализа, в котором последовательно оценивали каждый из изучаемых признаков.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

При статистическом анализе результатов, полученных в ходе исследования ЭЭГ, определены конкретные показатели, для которых доказана статистически достоверная разница в исследуемой группе I (условно здоровые) и исследуемой группе II (пациенты дневного стационара). Это, прежде всего, индексы и спектры мощности ЭЭГ в тета-диапазоне (с доверительной вероятностью более 99%). В литературе спектральная мощность медленноволновых процессов описывается для оценки сознания [6], доказываемся эффективность определения спектральных характеристик при разных состояниях ЦНС, таких как сон, бодрствование с закрытыми глазами, бодрствование с открытыми глазами

и [10]. Описываются отличия в тета ритме при выполнении мыслительной работы и в состоянии покоя [7]. Показаны статистически достоверные результаты в сравнении тета и альфа активности, и недостоверные результаты при сравнении бета активности у индивидов с психической патологией [8]. Дельта-волновая активность также описывается в литературе с позиции отражения на ЭЭГ воздействия наркотических веществ [5]. Показано, что во время сна достоверно изменяется спектральная мощность дельта-волн [4]. Традиционно эти данные с успехом используются для определения глубины сна [9]. Меньшую статистическую достоверность показывают результаты анализа ряда показателей в альфа и бета диапазоне в конкретных отведениях, которые могут быть использованы комплексно. Некоторые результаты по спектральной мощности ЭЭГ в тета и дельта-диапазонах приведены в таблице 1.

Обращает внимание существенное различие средних результатов в тета диапазоне, например, для отведения  $C_4 - O_2$  средние значения в исследуемой группе I —  $6,31 \pm 0,4$ , в исследуемой группе II —  $17,63 \pm 2,9$ , для дельта диапазона в том же отведении средние значения в исследуемой группе I —  $6,60 \pm 0,5$ , в исследуемой группе II —  $11,95 \pm 2,1$ .

В таблице 2 представлены средние значения в исследуемых группах I и II, полученные при под-

Таблица 2

Результаты спектров мощности ЭЭГ в альфа и бета-1 диапазонах

	Альфа		Бета-1	
	Группа I	Группа II	Группа I	Группа II
$Fp_1 - C_3$	$47,83 \pm 2,0$	$40,4 \pm 4,4$	$5,79 \pm 0,4$	$9,40 \pm 1,5$
$Fp_2 - C_4$	$50,05 \pm 2,0$	$42,05 \pm 4,7$	$5,73 \pm 0,4$	$9,85 \pm 1,6$
$C_3 - O_1$	$67,39 \pm 1,9$	$47,98 \pm 4,6$	$5,98 \pm 0,6$	$8,83 \pm 1,5$
$C_4 - O_2$	$69,43 \pm 1,7$	$47,84 \pm 4,9$	$6,15 \pm 0,6$	$8,48 \pm 1,4$
$O_1 - T_3$	$66,15 \pm 1,9$	$46,30 \pm 4,4$	$6,32 \pm 0,6$	$8,91 \pm 1,5$
$O_2 - T_4$	$68,26 \pm 1,7$	$45,94 \pm 5,0$	$6,24 \pm 0,6$	$8,09 \pm 1,3$
$T_3 - Fp_1$	$47,70 \pm 1,7$	$37,49 \pm 4,1$	$6,86 \pm 0,5$	$9,90 \pm 1,5$
$T_4 - Fp_2$	$47,90 \pm 1,7$	$39,70 \pm 3,8$	$6,56 \pm 0,5$	$10,80 \pm 1,7$

Таблица 3

Статистическая достоверность индексов ЭЭГ

Биполярные отведения	Частотные диапазоны:				
	Дельта	Тета	Альфа	Бета-1	Бета-2
$Fp_1 - C_3$		$p < 0,01$			
$Fp_2 - C_4$	$p < 0,05$	$p < 0,01$			
$C_3 - O_1$		$p < 0,01$			
$C_4 - O_2$		$p < 0,01$			$p < 0,05$
$O_1 - T_3$		$p < 0,01$			$p < 0,05$
$O_2 - T_4$		$p < 0,01$	$p < 0,05$		
$T_3 - Fp_1$	$p < 0,05$	$p < 0,01$			$p < 0,05$
$T_4 - Fp_2$	$p < 0,05$	$p < 0,01$			

счете спектров мощности ЭЭГ в альфа и бета1 диапазонах. Для отведения  $C_4 - O_2$  в альфа-диапазоне средние значения в исследуемой группе I —  $69,43 \pm 1,7$ , в исследуемой группе II —  $47,84 \pm 4,9$ , в бета-1-диапазоне средние значения в исследуемой группе I —  $6,15 \pm 0,6$ , в исследуемой группе II —  $8,48 \pm 1,4$ . Для отведения  $O_1 - T_3$  в альфа-диапазоне средние значения в исследуемой группе I —  $66,15 \pm 1,9$ , в исследуемой группе II —  $46,30 \pm 4,4$ , в бета-1-диапазоне средние значения в исследуемой группе I —  $6,32 \pm 0,6$ , в исследуемой группе II —  $8,91 \pm 1,5$ .

Для индексов ЭЭГ с достоверными различиями в исследуемых группах являются височно-лобные отведения в дельта-диапазоне. Для спектров мощности ЭЭГ достоверная статистическая разница в результатах сравниваемых групп показана для затылочных правополушарных отведений в дельта-диапазоне, для затылочных отведений и в левом и в правом полушарии для альфа-диапазона и височно-лобных отведений для бета 1 диапазона. В таблицах 3 и 4 приведены данные статистической достоверности результатов по критериям Вальда–Вольфовица и Манна–Уитни. В случаях значения  $p \geq 0,05$  — уровень значимости не приводится.

На рисунке 1 показана линейная диаграмма для значений индексов ЭЭГ для тета-диапазона в отве-

дении  $Fp_1 - C_3$  (нижняя кривая распределения признака у здоровых испытуемых группы I, верхняя кривая — у пациентов группы II).

На рисунке 2 продемонстрирована линейная диаграмма для значений спектров мощности ЭЭГ для тета-диапазона в отведении  $C_3 - O_1$  (нижняя кривая

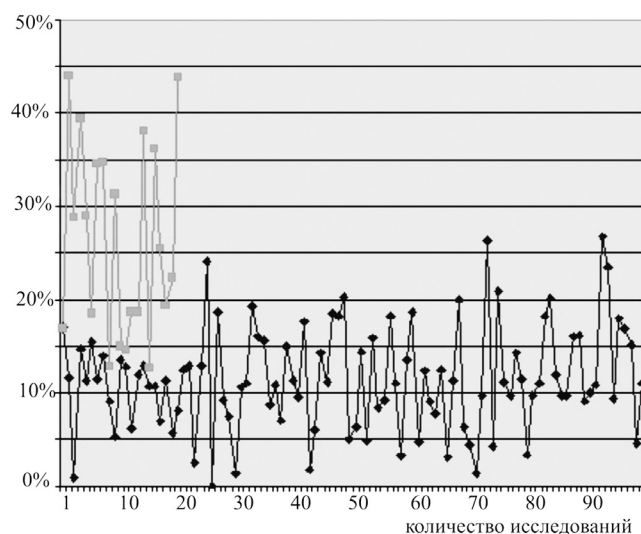


Рис. 1. Линейная диаграмма: индексы ЭЭГ тета-диапазон отведение  $Fp_1 - C_3$ . Примечание: в тексте

Таблица 4

Статистическая достоверность спектров мощности ЭЭГ

Биполярные отведения:	Частотные диапазоны				
	Дельта	Тета	Альфа	Бета-1	Бета-2
$Fp_1 - C_3$		$p < 0,01$		$p < 0,05$	
$Fp_2 - C_4$		$p < 0,01$			
$C_3 - O_1$		$p < 0,01$	$p < 0,05$	$p < 0,05$	
$C_4 - O_2$	$p < 0,05$	$p < 0,01$	$p < 0,05$		
$O_1 - T_3$		$p < 0,01$	$p < 0,05$		
$O_2 - T_4$	$p < 0,05$	$p < 0,01$	$p < 0,05$		
$T_3 - Fp_1$		$p < 0,01$		$p < 0,05$	
$T_4 - Fp_2$		$p < 0,01$		$p < 0,05$	

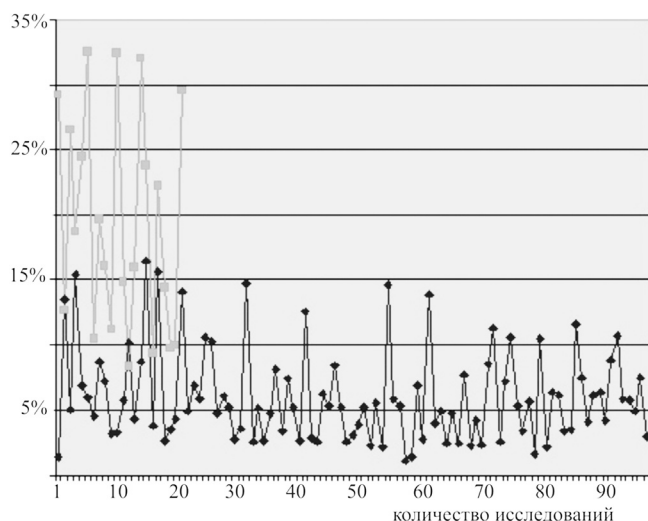


Рис. 2. Линейная диаграмма: спектры мощности ЭЭГ тета-диапазон отведение  $C_3 - O_1$ . Примечание: в тексте

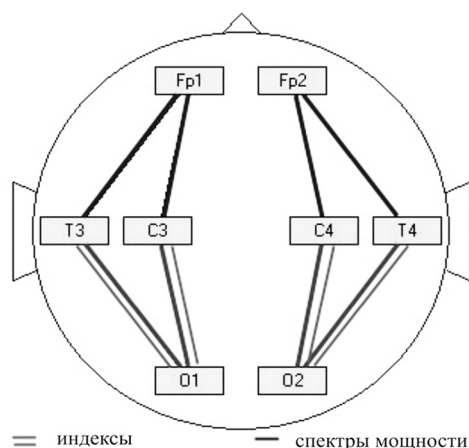


Рис. 3. Локализация выявленных связей в дельта- и альфа-диапазонах

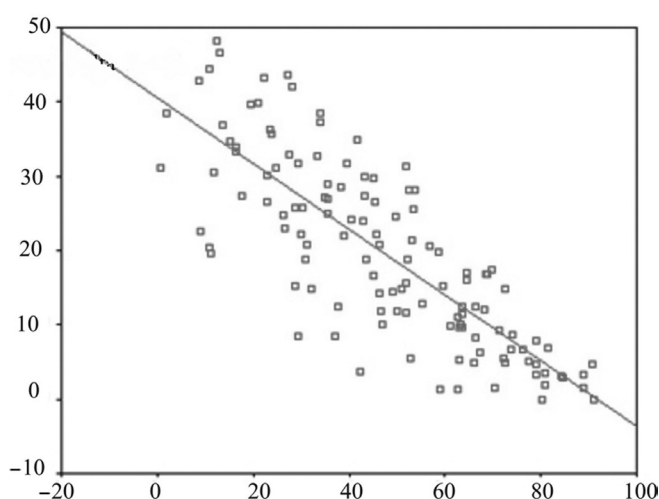


Рис. 4. Диаграмма рассеяния. Примечание: по оси ординат — индексы в отведении  $O_1 - T_3$ , дельта-диапазон (в процентах), по оси абсцисс — индексы в отведении  $O_1 - T_3$ , альфа-диапазон (в процентах)

распределение признака у здоровых испытуемых группы I, верхняя кривая — у пациентов группы II).

В результате линейного регрессионного анализа подробно изучена взаимосвязь индексов и спектров мощности между собой. Данные линейного регрессионного анализа полученных результатов свидетельствуют об устойчивой зависимости признаков внутри конкретного диапазона, например, в виде корреляции между изменениями в «парных отведениях» (два биполярных отведения мы называем «парными» если они являются зеркальным отражением друг друга в разноименных полушариях). Межполушарные взаимодействия и корреляции между частотными показателями между левым и правыми полушариями описываются в литературе [3].

Для ряда индексов и спектров мощности ЭЭГ в дельта-диапазоне установлена регрессионная связь с одноименными показателями альфа-диапазона. Любопытна проекция полученных регрессионных уравнений на скальп, так дельта-альфа сопряжение индексов характерно для заднеполушарных отведений, а дельта-альфа сопряжение спектров мощности характерно для переднеполушарных отведений (рис. 3). Причем в этом случае полученные коэффициенты регрессии отрицательные. На рисунке 4 — диаграмма рассеяния с регрессионными прямыми, иллюстрирующая связь показателей индексов ЭЭГ в отведении  $O_1 - T_3$  в дельта и альфа диапазонах.

На основании полученных результатов мы можем высказать следующие предположения. Индексы и спектры мощности в одних и тех же отведениях для одного и того же диапазона, несмотря на существенную разницу алгоритмов их определения, оказываются, как правило, связаны между собой. Возможно, индексы и спектры мощности ЭЭГ немного под разными углами характеризуют одни и те же показатели. Будучи выражены в процентном отношении (так что сумма в 100% получается при сложении показателей во всех диапазонах) индексы и спектры мощности отражают некую «степень присутствия» в суммарных колебаниях волн того или иного диапазона. Для большинства изученных данных характерна связь между показателями в «соседних отведениях», так как при биполярном исследовании регистрируемая кривая отражает по существу алгебраическую сумму колебаний электрического потенциала под двумя электродами. Таким образом, одна из двух составляющих алгебраическую сумму для каждого из пары «соседних отведений» оказывается общей. Кроме этого, в ряде случаев (это показано для дельта-, бета-1 и бета-2 диапазонов) существует регрессионная зависимость между «парными электродами» для симметричных отведений в разных полушариях. Мы можем предположить, что дельта- и бета- составляющие колебаний симметричны в левом и правом полушарии.



## ВЫВОДЫ

1. Индексы и спектры мощности ЭЭГ в тета-, дельта- и альфа-частотных диапазонах являются эффективными отражением физиологических коррелятов психического статуса.
2. Данные по индексам и спектрам мощности в тета-диапазоне оказываются высоко достоверными ( $p < 0,01$ ) при оценке нейрофизиологического статуса.
3. В условиях дефицита времени в скрининговых обследованиях комплексное исследование ряда психических функций и регистрация ЭЭГ позволяют достоверно оценить психический статус.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Александровский Ю.А. Пограничные психические расстройства. — М.: Медицина, 2000. — С. 496.
2. Косарев В.В., Лотков В.С., Бабанов С.А. Роль периодических медицинских осмотров в сохранении здоровья // Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. — 2008. — N 1. — С. 30–32.
3. Цапарина Д.М., Цицерошин М.Н., Шеповальников А.Н. Реорганизация межполушарного взаимодействия при речемыслительной деятельности, направленной на синтез слов и предложений // Физиология человека. — 2007. — Т. 33, № 1. — С. 15–26.
4. Berry R.B., Asyali M.A., McNellis M.I. Within-night variation in respiratory effort preceding apnea termination and EEG delta power in sleep apnea // Journal of applied physiology. — 1998. — Vol. 85, N 4. P. 1434–1441.
5. Billard V.A., Gambus P.L., Chamoun N. Comparison of spectral edge, delta power, and bispectral index as EEG measures of alfentanil, propofol, and midazolam drug effect // Clinical pharmacology and therapeutics. — 1997. — Vol. 61, N 1. — P. 45–58.
6. Dressler O., Schneider G., Stockmanns G. Awareness and the EEG power spectrum: analysis of frequencies // British Journal of Anaesthesia. — 2004. — Vol. 93, N 6. — P. 806–809.
7. Keita T., Kazutomo W.Y. Properties of eeg power spectrum relating to working memory // Transactions of the Japanese Society for Medical and Biological Engineering. — 2002. — Vol. 40, N 1. — P. 7–12.
8. Nieber D., Schlegel S. Relationships between Psychomotor Retardation and EEG Power Spectrum in Major

Depression // Neuropsychobiology. — 1992. — Vol. 25, N 1. — P. 110–124.

9. Pulli K., Härmä M., Hasan J. The relationship between EEG delta activity and autonomic activity as measured by SCSB during daytime sleep // Journal of sleep research. — 1994. — Vol. 3 (2). — P. 106–110.
10. Sinha R. An approach to estimate EEG power spectrum as an index of heat stress using backpropagation artificial neural network // Medical Engineering & Physics. — 2003. — Vol. 29, N 1. — P. 120–124.

# **PROSPECTS OF USE OF INTEGRATIVE INDICATORS OF COMPUTER PROCESSING OF EEG IN THE STRUCTURE OF THE EXPRESS-ANALYSIS OF NEUROCOGNITIVE STATUS**

Kipyatkov N. Yu., Dutov V. B.

◆ **Resume.** The aim of the present study was to determine the set of procedures that allows to assess most adequately the neurocognitive profile of a person in conditions of time shortage. The procedure that we have suggested included the registration of EEG with its subsequent computer processing. The study group included 152 adults with age ranging from 18 to 65 years who were undergoing occupational selection for professions demanding heightened attention. Processing of the fragments of EEG with the computer program WinEEG allowed to calculate the index and power spectrum in every frequency range. The results of the examination of 34 psychoneurological dispensary patients served as the control database. In study group EEGs recorded during the testing were visually evaluated as free from any paroxysmal or focal abnormal activity. Statistical processing of the data obtained in EEG computer analysis allowed to reveal which differences between the two data groups were statistically significant: the indices and spectrums of EEG power of the theta frequency range in all channels. The indices and spectrums of EEG power of the alpha frequency range were also significantly different in occipital and temporal channels. Computer analysis of EEG makes this method a promising approach for further development of rapid diagnostics of human mental state in psychophysiological screening tests. The proposed procedures may be useful for integrated rapid diagnostics of human mental state.

◆ **Key words:** EEG; theta frequency range; index EEG; power spectrum EEG.

## ◆ Информация об авторах

Кипятков Никита Юрьевич — канд. мед. наук, старший преподаватель, кафедра нормальной физиологии. ГБОУ ВПО СПбГПМУ Минздрава России. 194100, Санкт-Петербург, ул. Литовская, д. 2. E-mail: fd@pnd1.spb.ru.

Дутов Владимир Борисович — канд. мед. наук, главный врач. ГБУЗ «Психоневрологический диспансер № 1». 199178, Санкт-Петербург, В.О., 12 линия, д. 39. E-mail: info@pnd1.ru.

Kipyatkov Nikita Yuryevich — MD, PhD, Assistant Professor, Department of Normal Physiology. Saint-Petersburg State Pediatric Medical University. 2, Litovskaya St., St. Petersburg, 194100, Russia. E-mail: fd@pnd1.spb.ru.

Dutov Vladimir Borisovich — MD, PhD, Head. Sankt-Petersburg Psychoneurological Clinic N 1. 39, 12 liniya, V.O., St. Petersburg, 199178, Russia. E-mail: info@pnd1.ru.