

**Авторская колонка**

**ЗНАЧЕНИЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ДИАПАЗОНОВ  
ПОЛОС ЭЭГ В ОЦЕНКЕ УСПЕШНОСТИ  
ТРЕНИНГА НЕЙРОБИОУПРАВЛЕНИЯ**

*Мельников Михаил Евгеньевич,  
Безматерных Дмитрий Дмитриевич,  
Федеральный Исследовательский  
Центр Фундаментальной и Трансляционной  
Медицины, г. Новосибирск*

*Савелов Андрей Александрович,  
Петровский Евгений Дмитриевич,  
Институт «Международный  
томографический центр»  
СО РАН, г. Новосибирск*

*Кочетова Арина Владимировна,  
Новосибирский национальный  
исследовательский государственный  
университет, г. Новосибирск  
E-mail: [mikhail-melnikov@mail.ru](mailto:mikhail-melnikov@mail.ru)*

**УДК 159.953.5:612.821**

**Аннотация.** Границы альфа-диапазона на спектре ЭЭГ могут определяться стандартно (8-13 Гц) или индивидуально для каждого испытуемого. В исследовании рассмотрено влияние способа выделения частотных полос ЭЭГ на оценку динамики показателей ЭЭГ у 13 здоровых женщин в ходе курса саморегуляции асимметрии медленных ритмов ЭЭГ во фронтальных отведениях. Корреляции средних по сеансу значений мощности  $\alpha$ -,  $\theta$ - и  $\beta$ -1-активности, а также асимметрии  $\alpha$ - и  $\theta$ -ритмов, полученных для стандартных и индивидуальных диапазонов (0,943-0,995), были достаточно высоки, чтобы предполагать взаимозаменяемость показателей. Однако для части проанализированных сессий показано, что спектральная мощность  $\alpha$ -ритма в левом и правом лобных отведениях в индивидуальных границах выше, чем в стандартных.

**Ключевые слова:** нейробиоуправление, электроэнцефалография (ЭЭГ), альфа-ритм ЭЭГ, индивидуальная частота альфа-ритма, кривые обучаемости.

Альфа ( $\alpha$ )-ритм ЭЭГ – высокоамплитудный ритм с доминирующей частотой около 10 Гц, характеризующийся выраженным пиком на спектрограмме и ассоциированный с пассивностью соответствующих регионов коры [1].

Границами  $\alpha$ -полосы у взрослых людей считаются 8-13 Гц, реже 7-12 Гц. Существует альтернативный подход, предполагающий определение частично или полностью индивидуальных границ  $\alpha$ -диапазона, например, как диапазона, на котором наблюдается снижение мощности ЭЭГ при закрывании испытуемым глаз, или на основании выделения частоты индивидуального  $\alpha$ -пика [2]. Показано, что индивидуальный индекс асимметрии  $\alpha$ -ритма оценивается в индивидуальном диапазоне более надежно, чем в стандартном [3]. Сегодня мало известно о влиянии способа установления частотных полос ЭЭГ на результаты прикладных исследований. Цель данной работы в установлении роли стандартных / индивидуальных границ  $\theta$ ,  $\alpha$  и  $\beta$ -1 полос в оценке ЭЭГ-динамики здоровых людей, проходящих экспериментальный курс нейробиоуправления.

Испытуемые, условно здоровые молодые женщины (N=13), прошли курс нейробиоуправления по асимметрии  $\alpha$ -ритма (основанный на модифицированном протоколе Розенфельда [4]) или  $\theta$ -ритма ЭЭГ, состоявший из десяти 25-минутных сеансов. Три из них были разделены на две равные части, первая из которых использовалась для тренинга, а вторая – для оценки сформированности навыка саморегуляции. Остальные 7 сеансов были целиком посвящены тренингу. Запись ЭЭГ и предъявление обратной связи производились с помощью АПК БОСЛАБ БИ-012 (ООО «Комсиб», Новосибирск). В ходе тренинга использовались два позолоченных биполярных ЭЭГ-электрода (F3-A1 и F4-A2) и заземляющий ушной электрод-прищепка. Тренинг проводился по частотным диапазонам, индивидуализированным в соответствии с описанием ниже. В интересах данного исследования все 13 человек рассматривались как единая группа, и учитывались все 13 временных отрезков.

Для оценки эффекта индивидуализации частотных диапазонов использовались полные записи сессий тренинга, разделенные на эпохи длительностью 1000 мс с перекрытием 50%. Границы  $\alpha$ -полосы были идентифицированы на основании записей в состоянии покоя перед сеансом, в тех же отведениях. На спектрах ЭЭГ, записанной с закрытыми глазами, идентифицирована частота наиболее высокого пика внутри предполагаемой  $\alpha$ -полосы. Эта частота  $\pm 2$  Гц принималась за границы  $\alpha$ -диапазона, полоса от 4 Гц до нижней границы  $\alpha$  – за  $\theta$ -диапазон, а от верхней границы  $\alpha$  до 20 Гц – за диапазон  $\beta$ -1. При невозможности идентифицировать  $\alpha$ -пик его частота принималась равной 10 Гц. В качестве стандартных приняты границы  $\theta$  4-8 Гц,  $\alpha$  8-13 Гц и  $\beta$ -1 13-20 Гц.

Очистка ЭЭГ от артефактов и выбросов и оценка мощности полос ЭЭГ выполнены с помощью плагина EEGLab, работающего в среде Matlab. Для каждой выделенной эпохи с использованием оконного преобразования Фурье рассчитывалась спектральная плотность мощности, после чего происходило ее усреднение по всем эпохам, и определялись нормализованные значения мощности в каждом из рассматриваемых диапазонов. Статистический анализ полученных значений был проведен в IBM SPSS 21.0 и включал проверку нормальности распределения по критерию Колмогорова-Смирнова, t-критерий Стьюдента для связанных выборок и корреляционный анализ  $r$  Пирсона.

Результаты показали высокий уровень корреляции показателей мощности и асимметрии ритмов ЭЭГ, рассчитанных в стандартном и индивидуальном диапазоне (Т. 1). Таким образом, при усреднении по целому сеансу (на значительном количестве эпох) эти два способа оценки границ диапазонов ЭЭГ могут считаться взаимозаменяемыми.

Таблица 1

Средние ( $m$ ) и стандартные отклонения ( $\sigma$ ) коэффициента корреляции метрик ЭЭГ, полученных для стандартных и индивидуализированных диапазонов ЭЭГ

	Спектральная мощность						Асимметрия	
	Левое полушарие			Правое полушарие			$\alpha$	$\theta$
	$\alpha$	$\theta$	$\beta-1$	$\alpha$	$\theta$	$\beta-1$		
$m$	0,943	0,977	0,981	0,968	0,982	0,981	0,980	0,995
$\sigma$	0,044	0,025	0,019	0,017	0,014	0,019	0,016	0,008

Тем не менее, посессионное сравнение значений мощности  $\alpha$ -ритма выявило систематически большие значения в случае принятия индивидуальных диапазонов (Т. 2). Для  $\beta-1$  диапазона в левом отведении значимое различие показано только на одном сеансе. В случае мощности в  $\beta-1$  полосе справа, мощности  $\theta$  в обоих отведениях, а также асимметрии  $\alpha$ - и  $\theta$ -ритмов не выявлено достоверных различий показателей в зависимости от способа определения границ диапазонов.

Таблица 2

Средние ( $m$ ) и стандартные отклонения ( $\sigma$ ) различий в мощности  $\alpha$ -ритма (в  $\text{мкВ}^2$ ), полученных для стандартных и индивидуализированных диапазонов ЭЭГ, и результаты их сравнения

	Левое полушарие			Правое полушарие		
	$m \pm \sigma$	$t$	$p$	$m \pm \sigma$	$t$	$p$
1	-0,26±0,75	-1,25	0,2343	-0,27±0,84	-1,15	0,2715
2	-0,35±0,49	-2,48	<b>0,0308</b>	-0,33±0,50	-2,27	<b>0,0440</b>
3	-0,33±0,71	-1,54	0,1535	-0,32±0,76	-1,41	0,1899
3 (т)	-0,76±1,38	-1,83	0,0965	-0,83±1,38	-2,01	0,0727
4	-0,18±0,27	-2,29	<b>0,0426</b>	-0,19±0,25	-2,63	<b>0,0234</b>
5	-0,26±0,27	-3,38	<b>0,0061</b>	-0,18±0,22	-2,86	<b>0,0154</b>
6	-0,38±0,52	-2,31	<b>0,0465</b>	-0,34±0,54	-2,02	0,0745
6 (т)	-0,76±1,13	-2,12	0,0630	-0,70±0,97	-2,26	0,0502
7	-0,43±1,12	-1,39	0,1893	-0,29±0,57	-1,88	0,0848
8	-0,95±2,12	-1,55	0,1486	-0,35±0,57	-2,13	0,0571
9	-0,37±0,76	-1,71	0,1160	-0,32±0,47	-2,34	<b>0,0390</b>
9 (т)	-0,58±1,24	-1,62	0,1326	-0,54±0,93	-2,00	0,0713
10	-0,37±0,63	-2,04	0,0665	-0,34±0,53	-2,24	<b>0,0470</b>

**Примечание:** отрицательные значения  $t$  соответствуют большей мощности в индивидуальной полосе  $\alpha$ -ритма; результаты, значимые при  $p < 0,05$  без поправок, выделены жирным начертанием.

С точки зрения корреляционного анализа, стандартные и индивидуализированные границы  $\alpha$ -ритма могут быть взаимозаменяемыми. Однако этот результат относится исключительно к значениям, усредненным по всему сеансу, и не может быть без дополнительных исследований перенесен на более мелкую динамику и тем более на предъявление обратной связи в реальном времени. Кроме того, результаты могут быть иными при полной индивидуализации диапазона, например, на основании критерия подавления ЭЭГ-активности при закрытых глазах.

При этом мощность  $\alpha$ -ритма повышается при индивидуализации диапазона. Этот результат связан с большей спектральной мощностью альфа-пика, по сравнению с соседними участками спектра и может быть артефактом того обстоятельства, что индивидуальная полоса была уже стандартной (4 и 5 Гц, соответственно), и в отсутствие ярко выраженного пика лежала на спектре левее (середина на 10 и 10,5 Гц, соответственно). Также большая мощность подтверждает меньшее влияние относительно низкоамплитудной активности, функционально соответствующей  $\theta$  и особенно  $\beta$ -1 диапазону. Следовательно, использование индивидуализированной  $\alpha$ -полосы более корректно. Для мощности  $\theta$  и  $\beta$ -1 активности, как и для показателей асимметрии, роль способа определения частотных полос пренебрежимо мала.

Таким образом, в случае, когда требуется оценить направление и наклон кривой научения, содержащей большое количество временных точек, а показатели ЭЭГ усредняются по значительному числу эпох, принятие стандартных и частично индивидуализированных границ диапазона является эквивалентным. Также способ выделения частотных полос не является критичным для определения асимметрии  $\alpha$ - и  $\theta$ -ритма и мощности  $\theta$  и  $\beta$ -1 активности. Однако если исследуется абсолютная мощность, и требуется сопоставить небольшое количество временных точек (например, записи, сделанные до и после интервенции) или результаты различных исследований, эти подходы могут давать значительно различающиеся результаты. При наличии возможности выбора рекомендуется задание индивидуализированных границ  $\alpha$ -полосы, которые в общем случае позволяют более корректно охарактеризовать спектральную область  $\alpha$ -ритма.

### Литература:

1. Allen J.J., Coan J.A., Nazarian M. Issues and assumptions on the road from raw signals to metrics of frontal EEG asymmetry in emotion // *Biological Psychology*. – 2004. – V. 67. – P. 183-218.
2. Bazanova O.M., Vernon D. Interpreting EEG alpha activity // *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. – 2014. – V. 44. – P. 94-110.
3. Quaedflieg C.W., Meyer T., Smulders F.T., Smeets T. The functional role of individual-alpha based frontal asymmetry in stress responding // *Biological Psychology*. – 2015. – V. 104. – P. 75-81.
4. Rosenfeld J.P. An EEG biofeedback protocol for affective disorders // *Clinical Electroencephalography*. – 2000. – V. 31. – P. 7-12.