

ПОЛОВЫЕ ОСОБЕННОСТИ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ГОЛОВНОГО МОЗГА В ДИАПАЗОНЕ БЕТА-РИТМА ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ КАК ОТРАЖЕНИЕ ОБЩЕГО АДАПТАЦИОННОГО СИНДРОМА

Сычев В.В.¹, Шатрова Н.В.¹, Сычева Л.П.²

¹ ФГБОУ ВО «Рязанский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова» Минздрава России, Рязань, e-mail: vitalic43@yandex.ru, shatrnat@gmail.com;

² ГБУ РО «Городская клиническая больница № 10», Рязань, e-mail: sychevalidiia@yandex.ru

Спектральный анализ электроэнцефалограммы на основе быстрого преобразования Фурье позволяет выявить половые особенности функциональной организации биоэлектрической активности головного мозга, вероятно, отражающие различия в проявлении общего адаптационного синдрома (стресса) у мужчин и женщин в состоянии бодрствования. Учитывая данные о роли высокочастотной составляющей ЭЭГ в протекании нейро- и патофизиологических процессов, мы изучали показатель доминирующей частоты в диапазоне бета-ритма. Согласно полученным нами данным мозг женщин отличается от мозга мужчин более высоким уровнем активации по доминирующей частоте бета-ритма. Для биоэлектрической активности мозга мужчин характерно наличие функциональной межполушарной асимметрии бета-ритма с более высокими значениями его доминирующей частоты в височных отделах правого полушария. Данный характер активации мужского мозга можно рассматривать как проявление у мужчин общего адаптационного синдрома в виде отрицательного эмоционального состояния в ответ на исследование. Биоэлектрическая активность мозга женщин характеризуется отсутствием функциональной межполушарной асимметрии по бета-ритму и наличием внутривисочных различий в виде более высоких значений показателя доминирующей частоты бета-ритма в лобных областях правого полушария. Данный характер активации женского мозга можно рассматривать как проявление у женщин общего адаптационного синдрома в виде ориентировочной реакции на новизну обстановки исследования. Выявленные половые особенности биоэлектрической активности головного мозга в диапазоне бета-ритма, вероятно, отражающие проявление стресса у мужчин и женщин, следует учитывать при проведении нейро- и патофизиологических исследований для получения сопоставимых результатов.

Ключевые слова: электроэнцефалография, бета-ритм, активация, эмоции, стресс.

SEXUAL FEATURES OF BIOELECTRIC BRAIN ACTIVITY IN THE BETA-RHYTHM RANGE OF ELECTROENCEPHALOGRAM AS A REFLECTION OF GENERAL ADAPTATION SYNDROME

Sychev V.V.¹, Shatrova N.V.¹, Sycheva L.P.²

¹ Ryazan State Medical University, n.a. I.P. Pavlov, Ryazan, e-mail: vitalic43@mail.ru, shatrnat@gmail.com;

² Ryazan City Clinical Hospital No.10, Ryazan, e-mail: sychevalidiia@yandex.ru

The spectral analysis of the electroencephalogram based on Fourier's rapid transformation reveals the sexual features of the functional organization of the brain bioelectric activity, probably reflecting differences in the manifestation of the general adaptive syndrome (stress) in men and women in a state of wakefulness. Taking into account the role of the high-frequency component of EEG in the course of neuro- and pathophysiological processes, we studied the indicator of the dominant frequency in the beta-rhythm range. According to our data, the brains of women differ from men's brains by a higher level of activation at the dominant frequency of beta-rhythm. The bioelectric activity of the male brain is characterized by functional lateralization of beta-rhythm with higher values of its dominant frequency in the temporal regions of the right hemisphere. This pattern of the male brain activation can be seen as a manifestation in men of general adaptive syndrome in the form of a negative emotional state in response to research. Bioelectric activity of women's brains is characterized by the absence of functional lateralization in beta-rhythm and the presence of intra-hemisphere differences in the form of higher values of the beta-rhythm dominant frequency in the frontal areas of right hemisphere. This pattern of activation of the female brain can be seen as a manifestation in women of general adaptation syndrome in the form of an indicative reaction to the novelty of the study environment. The identified sexual features of bioelectric brain activity in the beta-rhythm range, probably reflecting stress in men and women, should be taken into account in neuro- and pathophysiological studies for to produce comparable results.

Keywords: electroencephalography, beta-rhythm, activation, emotions, stress.

Проблема полового диморфизма является одной из важнейших в современной науке о мозге человека [1]. Известно, что значительная индивидуальная вариабельность мозга человека, проявляющаяся как на структурном, так и на функциональном и биохимическом уровнях, в значительной степени обусловлена влиянием фактора пола [1, 2].

Проведенные в последние десятилетия исследования убедительно показали, что половые различия протекания нейро- и патофизиологических процессов не только связаны с особенностями обусловленной полом социализации [3, 4], но и в значительной степени имеют под собой биологическую основу [1, 2]. Таким образом, все более очевидной становится необходимость учета фактора пола при подборе групп испытуемых в клинических, нейро- и патофизиологических исследованиях для получения сопоставимых результатов.

В предыдущих наших работах [5, 6] нами были выявлены существенные особенности частотно-пространственной организации биоэлектрической активности мозга мужчин и женщин – как в норме, так и при различных видах патологии. При этом мы изучали показатель взвешенной среднеарифметической спектра частот электроэнцефалограммы (ЭЭГ), отражающий средний энергетический вклад определенных областей головного мозга в протекание нейро- и патофизиологических процессов. Данный показатель согласно полученным нами данным находился в диапазоне альфа-ритма электроэнцефалограммы [5, 6].

В то же время большое значение в протекании нейро- и патофизиологических процессов имеет высокочастотная составляющая электроэнцефалограммы (бета-ритм) [7]. В настоящее время функциональное значение бета-ритма остается до конца не выясненным. Ряд исследователей [7, 8] указывают на функциональную неоднородность бета-ритма, выделяя низкочастотный бета-1 ритм, связанный с активационными и эмоциональными процессами, и высокочастотный бета-2 ритм, отражающий локальные процессы обработки информации. По мнению других авторов [8, 9], рассматривающих ЭЭГ как динамический стохастический процесс, данное разделение представляется достаточно условным. Появление на ЭЭГ высокоамплитудного бета-ритма принято считать критерием патологии [7, 9].

Целью настоящего исследования стало изучение половых особенностей биоэлектрической активности головного мозга по данным показателя доминирующей частоты в диапазоне бета-ритма электроэнцефалограммы. Для этого нами были поставлены следующие задачи исследования.

1. Изучить зональные, межполушарные и глобальные (по мозгу в целом) половые

особенности биоэлектрической активности у испытуемых в состоянии бодрствования.

2. Дать нейро- и патофизиологическую интерпретацию полученных результатов.

Материал и методы исследования

С целью изучения биоэлектрической активности головного мозга нами была проведена регистрация электроэнцефалограммы у 28 мужчин (средний возраст \pm стандартная ошибка среднего $43,61 \pm 3,23$ года) и 36 женщин (средний возраст \pm стандартная ошибка среднего $42,61 \pm 2,39$ года). Различия мужской и женской выборок по возрасту по двустороннему *t*-критерию Стьюдента статистически недостоверны ($p=0,809$). В исследовании приняли участие только здоровые праворукие испытуемые. Для определения ведущей руки применялись общепринятые методики [10].

Запись ЭЭГ проводилась на 16-канальном электроэнцефалографе «Компакт-Нейро» научно-медицинской фирмы «Нейротех» (г. Таганрог). Наложение чашечковых электродов осуществляли по международной системе «10-20» [9]. Во время проведения методики испытуемый находился в состоянии бодрствования (с закрытыми глазами).

Спектральный анализ ЭЭГ проводился на основе быстрого преобразования Фурье. В качестве эпох для анализа выбирались безартефактные участки электроэнцефалограммы длительностью 4 секунды (стандартно заданная прибором величина шага обработки данных) [9]. Частота опроса (дискредитации) составляла 250 Гц. Для уменьшения влияния артефакта электроокулограммы на результаты исследования из расчетов были исключены нижние лобные отведения (Fp1 и Fp2). Изучали показатель доминирующей частоты в диапазоне бета-ритма (от 14 до 24 Гц) для каждого стандартного отведения по данным амплитудного спектра ЭЭГ. Ограничение бета-диапазона по верхней частоте было обусловлено техническими возможностями прибора.

Обработка полученных в исследовании данных проводилась с использованием пакета статистического анализа данных программы Microsoft Office Excel 2019. Для описательной характеристики групп испытуемых рассчитывались следующие показатели: медиана (Me), верхний (UQ) и нижний (LQ) квартили, среднее значение *M* и стандартная ошибка среднего (*m*).

Для сравнения выборок по возрасту применялся двусторонний *t*-критерий Стьюдента для несвязанных выборок (проверка на нормальность распределения соответствующих показателей в группах испытуемых проводилась методом двух стандартных отклонений).

Для сравнения выборок по показателю доминирующей частоты ЭЭГ в диапазоне бета-ритма применялся непараметрический критерий Манна–Уитни (рассчитывались нормальная аппроксимация данного критерия *Z* и уровень значимости различий *p*).

Полученные в исследовании различия биоэлектрической активности головного мозга

мужчин и женщин считались статистически достоверными при уровне значимости $p \leq 0,05$ [11].

Результаты исследования и их обсуждение

Полученные нами данные частотно-пространственной организации биоэлектрической активности головного мозга у мужчин и женщин в состоянии бодрствования (с закрытыми глазами) приведены в таблице 1.

Таблица 1

Показатели доминирующей частоты в диапазоне бета-ритма электроэнцефалограммы у мужчин и женщин по стандартным отведениям, полушариям головного мозга и мозгу в целом

Отведения ЭЭГ	Мужчины доминирующая частота бета-ритма			Женщины доминирующая частота бета-ритма			Z	p
	Me	LQ	UQ	Me	LQ	UQ		
F1	15	14	18	17	15	19	-2,80	0,003
F2	16	15	17,25	18	15,75	20	-2,93	0,002
F3	15	14	16	17,5	15	19	-3,74	0,001
F4	15,5	14	17	16	15	19	-2,88	0,002
C1	16	15	19	17,5	15	19	-1,67	0,047
C2	16	15	18,25	17	15	19	-1,28	0,100
T1	15	14	16,25	17	15	18,25	-3,23	0,001
T2	16,5	14,75	19,25	17	15	19,25	-1,02	0,153
T3	15	14	16,25	17	15	18	-2,57	0,005
T4	15,5	14,75	17	16	15	18	-2,25	0,012
P1	16	14,75	18	16	15	18,25	-1,82	0,034
P2	16	14,75	17	16	14	18,25	-1,97	0,025
O1	16	15	17	16	15	17	-1,60	0,054
O2	16	15	17	16	14,75	18	-1,27	0,103
Правое полушарие	16	15	17	16,5	15	18	-1,79	0,037
Левое полушарие	15,5	14	16,25	17	15	18,25	-2,97	0,002
Весь мозг	15,75	15	16,625	16,5	15,375	18	-3,03	0,001

Таким образом, при сравнении по показателю доминирующей частоты электроэнцефалограммы в диапазоне бета-ритма мы выявили существенные половые

различия, которые заключались в превышении данного показателя у женщин по сравнению с мужчинами – как по большинству одноименных стандартных отведений, так и по правому и левому полушариям головного мозга и по мозгу в целом ($p \leq 0,05$). Исключение в данном случае составляли только отведения С2, Т2 и О2, где статистически достоверных половых различий выявлено не было ($p > 0,05$).

Для биоэлектрической активности мозга мужчин было выявлено наличие функциональной межполушарной асимметрии по показателю доминирующей частоты в диапазоне бета-ритма с превышением данного показателя в правом полушарии головного мозга по сравнению с левым полушарием ($p = 0,014$).

Были выявлены также зональные особенности биоэлектрической активности головного мозга мужчин, которые заключались в превышении показателя доминирующей частоты бета-ритма в заднелобных (F4), средневисочных (T2) и задневисочных (T4) отведениях правого полушария над аналогичным показателем в симметричных отведениях (F3, T1 и T3 соответственно) в левом полушарии мозга ($p < 0,05$).

Полученные данные зональных различий биоэлектрической активности головного мозга мужчин приведены в таблице 2.

Таблица 2

Функциональная межполушарная асимметрия по показателю доминирующей частоты в диапазоне бета-ритма по стандартным отведениям и полушариям головного мозга у мужчин

Отведения ЭЭГ	Me	LQ	UQ	Отведения ЭЭГ	Me	LQ	UQ	Z	p
F1	15	14	18	F2	16	15	17,25	-1,57	0,059
F3	15	14	16	F4	15,5	14	17	-2,19	0,014
C1	16	15	19	C2	16	15	18,25	-1,02	0,153
T1	15	14	16,25	T2	16,5	14,75	19,25	-2,43	0,008
T3	15	14	16,25	T4	15,5	14,75	17	-1,86	0,031
P1	16	14,75	18	P2	16	14,75	17	-0,66	0,253
O1	16	15	17	O2	16	15	17	-1,25	0,105
Левое полушарие	15,5	14	16,25	Правое полушарие	16	15	17	-2,20	0,014

Для биоэлектрической активности мозга женщин функциональной межполушарной асимметрии по показателю доминирующей частоты в диапазоне бета-ритма выявлено не было – как по полушариям мозга, так и по большинству стандартных отведений. Исключение составили заднелобные (передневисочные) отведения, где имелась тенденция

($p=0,051$) к превышению доминирующей частоты бета-ритма в левом передневисочном отведении (F3) над аналогичным показателем в правом передневисочном отведении (F4).

В то же время были выявлены внутриполушарные зональные различия биоэлектрической активности головного мозга женщин, которые заключались в превышении показателя доминирующей частоты бета-ритма в правом переднелобном отведении (F2) над аналогичным показателем во всех стандартных отведениях правого полушария ($p<0,05$).

Полученные данные зональных различий биоэлектрической активности в правом полушарии головного мозга у женщин приведены в таблице 3.

Таблица 3

Активация в области переднелобного отведения (F2) в правом полушарии головного мозга у женщин по показателю доминирующей частоты бета-диапазона

Отведения ЭЭГ	Me	LQ	UQ	Отведение F2 ЭЭГ			Z	p
				Me	LQ	UQ		
F4	16	15	19	18	15,75	20	-2,30	0,011
C2	17	15	19	18	15,75	20	-1,65	0,049
T2	17	15	19,25	18	15,75	20	-1,92	0,027
T4	16	15	18	18	15,75	20	-2,46	0,007
P2	16	14	18,25	18	15,75	20	-2,71	0,003
O2	16	14,75	18	18	15,75	20	-2,95	0,002

В левом полушарии головного мозга у женщин аналогичной активации в области переднелобного отведения (F1) выявлено не было и зональные различия по сравнению с правым полушарием по показателю доминирующей частоты бета-ритма были выражены значительно меньше.

Учитывая, что полностью исключить высшую нервную деятельность даже при покое зрительного анализатора не представляется возможным, полученные в нашем исследовании данные биоэлектрической активности мозга в диапазоне бета-ритма электроэнцефалограммы, по-видимому, отражают особенности протекания нейро- и патофизиологических процессов у мужчин и женщин в состоянии бодрствования.

Выявленные нами половые различия доминирующей частоты бета-ритма с более высокими значениями данного показателя у женщин по сравнению с мужчинами соответствуют данным литературы о том, что биоэлектрическая активность головного мозга у женщин характеризуется более высокими, чем у мужчин, частотами альфа-ритма и большей величиной бета-активности [9]. Полученные в нашем исследовании данные, по-видимому, отражают более высокий уровень активации женского мозга по сравнению с

мозгом мужчин в состоянии бодрствования [9].

Известно, что в основе работы центральной нервной системы как в норме, так и при патологии лежит структурно-функциональный принцип. При этом одними из фундаментальных закономерностей работы головного мозга являются межполушарное взаимодействие и межполушарная асимметрия [10, 12].

Функции правого и левого полушарий головного мозга в значительной степени специализированы. При этом левое полушарие в большей степени отвечает за абстрактно-логическое мышление и нейрофизиологические процессы, протекающие осознанно, произвольно и опосредованно речью. Правое полушарие в большей степени ответственно за процессы узнавания (лиц, обстановки), зрительное и пространственное восприятие, а также обеспечивает эмоциональные реакции, способность восприятия интонаций речи, восприятия и дифференцировки неречевых стимулов, таких как жесты и мимика [8, 12].

Полученные в нашем исследовании данные о наличии функциональной межполушарной асимметрии по показателю доминирующей частоты в диапазоне бета-ритма у мужчин и ее отсутствию у женщин в состоянии бодрствования, по-видимому, соответствуют данным литературы о более выраженной латерализации функций мозга у мужчин и менее выраженной у женщин [2].

В то же время, основываясь на представлениях А.Р. Лурии [13] о трех блоках структурно-функциональной модели интегративной работы головного мозга, можно предположить, что выявленные в нашем исследовании зональные особенности биоэлектрической активности головного мозга мужчин и женщин могут отражать половые различия в протекании нейро- и патофизиологических процессов.

Согласно данной модели височные отделы коры головного мозга входят в состав «энергетического» блока (или блока регуляции уровня бодрствования) [13].

Таким образом, наличие у мужчин в состоянии бодрствования функциональной межполушарной асимметрии по показателю доминирующей частоты бета-ритма с преимущественной активацией височной области правого полушария, вероятно, отражает большой вклад в протекание нейро- и патофизиологических процессов у мужчин отделов головного мозга, входящих в первый («энергетический») блок по А.Р. Лурия [13].

В то же время, учитывая современные представления о височных отделах коры головного мозга как о проекции лимбической системы («эмоциональный мозг» по А.М. Вейну [14]), выявленные нами зональные особенности биоэлектрической активности мозга у мужчин, по-видимому, могут отражать их эмоциональное состояние в условиях проведения исследования.

Согласно данным нейро- и патофизиологических исследований восходящая

активирующая ретикулярная формация ствола головного мозга, влияя преимущественно на структуры левого полушария, определяет функциональные состояния типа сон – бодрствование, а диэнцефальные образования, имеющие отношение к активации правого полушария, определяют функциональные состояния напряжения или стресса [8, 14]. При этом большинство данных клинических исследований указывают на преимущественную связь левого полушария с положительными эмоциями, правого полушария – с отрицательными [8].

Таким образом, наличие у мужчин функциональной межполушарной асимметрии биоэлектрической активности с активацией височных отделов правого полушария головного мозга можно рассматривать как проявление общего адаптационного синдрома (стресса) [3] в виде отрицательного эмоционального состояния, вероятно, связанного с обстановочной афферентацией в условиях проведения исследования.

Отсутствие у женщин межполушарной асимметрии по показателю доминирующей частоты бета-ритма, по-видимому, свидетельствует о менее выраженной у них эмоциональной реакции при проведении исследования. При этом активация у женщин фронтальных областей в пределах правого полушария позволяет предположить большой вклад в протекание нейро- и патофизиологических процессов отделов головного мозга, входящих в третий блок – программирования, регуляции и контроля за протеканием психической деятельности модели А.Р. Лурия (кора лобных долей мозга) [13]. В то же время, основываясь на представлениях Э. Голдберга [15] о роли правой фронтальной коры в обработке новой информации, можно предположить, что проявление общего адаптационного синдрома у женщин выражено в виде ориентировочной реакции на новизну обстановки при проведении исследования.

Выявленные в нашем исследовании половые особенности биоэлектрической активности головного мозга в диапазоне бета-ритма, по-видимому, отражающие проявления общего адаптационного синдрома (стресса) у мужчин и женщин, следует учитывать при проведении нейро- и патофизиологических исследований на этапе подбора групп испытуемых для получения сопоставимых результатов.

Заключение

Полученные в нашем исследовании данные биоэлектрической активности головного мозга в диапазоне бета-ритма, по-видимому, отражают особенности протекания нейро- и патофизиологических процессов у мужчин и женщин в состоянии бодрствования с закрытыми глазами.

Биоэлектрическая активность мозга женщин характеризуется более высокими по сравнению с мужчинами показателями доминирующей частоты в диапазоне бета-ритма, что,

вероятно, отражает более высокий уровень активации женского мозга по сравнению с мужским в условиях проведения исследования.

Нами выявлены половые различия как межполушарной, так и внутрислошарной организации биоэлектрической активности головного мозга в диапазоне бета-ритма. При этом наличие у мужчин функциональной межполушарной асимметрии биоэлектрической активности с более высокими значениями показателя доминирующей частоты бета-ритма в височных отделах правого полушария головного мозга, по-видимому, может быть проявлением у них общего адаптационного синдрома (стресса) в виде отрицательного эмоционального состояния, вероятно, вызванного обстановочной афферентацией в условиях проведения исследования.

Отсутствие у женщин межполушарной асимметрии бета-активности, по-видимому, свидетельствует о менее выраженной у них эмоциональной реакции при проведении исследования. В то же время активация у женщин лобных областей в пределах правого полушария позволяет предположить наличие у них общего адаптационного синдрома в виде ориентировочной реакции на новизну обстановки при проведении исследования.

Выявленные половые особенности биоэлектрической активности головного мозга в диапазоне бета-ритма, вероятно, отражающие проявление стресса у мужчин и женщин, следует учитывать при проведении нейро- и патофизиологических исследований на этапе подбора групп испытуемых для получения сопоставимых результатов.

Список литературы

1. Боголепова И.Н., Малофеева Л.И. Мозг мужчины, мозг женщины: монография. М.: ФГБНУ «НЦН» РАМН, 2014. 300 с.
2. Ильин Е.П. Пол и гендер. СПб.: Питер, 2010. 686 с.
3. Коган Б.М., Дроздов А.З., Дмитриева Т.Б. Механизмы развития соматических и психопатологических стрессовых расстройств (половые и гендерные аспекты) // Системная психология и социология. 2010. №1. С.105-120.
4. Малаев Х.М., Коновалов О.Е., Филатова Е.В. Гендерные различия отношения к здоровью и медицинской активности пациентов с дорсопатиями // Наука молодых (Eruditio Juvenium). 2018. Т. 6, №1. С.39-52. DOI: 10.23888/HMJ2018139-52.
5. Сычев В.В., Сычев В. Н., Шатрова Н. В. Спектральный анализ электроэнцефалограммы в диагностике гипервентиляционного синдрома // Фундаментальные исследования. 2015. №1-6. С.1250-1252.
6. Шатрова Н.В., Сычев В.В. Половые особенности биоэлектрической активности

головного мозга по данным математического анализа ЭЭГ при высокочастотной (20 Гц) фотостимуляции // Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова. 2016. Т.24, №1. С.64-67.

7. Неробкова Л.Н., Авакян Г.Г., Воронина Т.А., Авакян Г.Н. Клиническая электроэнцефалография. Фармакоэлектроэнцефалография. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2018. 288 с.

8. Русалова М.Н. Асимметрия и функциональная неоднородность бета-1 колебаний ЭЭГ при ожидании неприятного стимула // Асимметрия (Journal of asymmetry). 2019. Т.13, №2. С.38-49.

9. Зенков Л.Р. Клиническая электроэнцефалография (с элементами эпилептологии). Руководство для врачей. 9-е изд. М.: МЕДпресс-информ, 2018. 360 с.

10. Хомская Е.Д., Ефимова И.В., Будыка Е.В., Ениколопова Е.В. Нейропсихология индивидуальных различий: Учебное пособие. М.: Издательский центр «Академия», 2011. 160 с.

11. Царик Г.Н. Информатика и медицинская статистика: Учебное пособие. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2017. 304 с.

12. Хохлова Л.А., Дерягина Л.Е. Латерализация биоэлектрической активности мозга, как предиктор мотивационно-когнитивных процессов // Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова. 2017. Т.25, №2. С. 184-192. DOI: 10.23888/PAVLOVJ201721184-192.

13. Лурия А.Р. Высшие корковые функции человека. СПб.: Питер, 2019. 768 с.

14. Вейн А.М. Лекции по неврологии неспецифических систем мозга. 3-е изд. М.: МЕДпресс-информ, 2010. 112 с.

15. Голдберг Э. Управляющий мозг: лобные доли, лидерство и цивилизация. М.: Смысл, 2003. 335 с.