

БИОЛОГИЯ, BIOTEХНОЛОГИИ И МЕДИЦИНА

УДК 612.014.42/591.3

Водолажская Маргарита Геннадьевна, Чадова Инна Николаевна**ДИНАМИКА ЭЭГ ЛИЦ ЖЕНСКОГО ПОЛА В ТЕЧЕНИЕ
ОВАРИАЛЬНО-МЕНСТРУАЛЬНОГО ЦИКЛА (ОМЦ)**

В статье представлено исследование динамики показателей ЭЭГ женщин в доовуляторный (I стадия) и постовуляторный (II стадия) периоды ОМЦ. В I стадию ОМЦ установлены более высокие значения амплитуды и мощности ритмов ЭЭГ по сравнению со II стадией преимущественно в правой гемисфере.

Ключевые слова: женщины, овариально-менструальный цикл, ЭЭГ.

Vodolazhskaya Margarita Gennad'evna, Chadova Inna Nikolaevna**DYNAMICS OF EEG WOMEN DURING THE OVARIAN-MENSTRUAL CYCLE (OMC)**

Dynamics of EEG indicators of women in preovulation (the I stage) and postovulation periods (the II stage) OMC is researched. Higher values of sizes of amplitude and average power rhythms EEG in 1st phase OMC in comparison with 2nd stage are established, recorded, in right hemisphere.

Key words: women, ovarian-menstrual cycle, EEG.

Известно, что сдвиги, происходящие в организме на протяжении ОМЦ, существенно влияют на показатели биоэлектрической активности головного мозга женщин. Однако сведения, касающиеся такого рода церебральной динамики, весьма эклектичны. Это может объясняться разрозненностью оценки отдельных показателей ЭЭГ в относительно короткие фазы ОМЦ. Такой подход не позволяет в полной мере выявить основные тенденции изменения показателей ЭЭГ под влиянием фактора ОМЦ, их направленность и выраженность. В связи с этим **целью** данного исследования было выявление, определение и сравнение характера динамики амплитудных, мощностных, спектрально-частотных показателей ЭЭГ по всему частотному диапазону в доовуляторную и постовуляторную стадии ОМЦ.

Материал и методика. Для регистрации ЭЭГ использованы: 21-канальный электроэнцефалограф «Нейрон-Спектр-4/ВП» (система «10-20» по Jasper, референтные электроды располагались на мочках ушей). Цифровое оборудование – производство компании Нейрософт. Статистическая обработка результатов проводилась с помощью пакетов программ Microsoft Excel (2007), STATISTIKA v. 6.0. Работа не противоречила Хельсинкской декларации о правах человека. В исследовании добровольно приняло участие 49 женщин-правшей в возрасте от 18 до 30 лет, имеющих стабильный овариально-менструальный цикл. Лица женского пола (25 человек), находившиеся в момент исследования на доовуляторной стадии ОМЦ (1–14 день), составили I группу испытуемых, 24 женщины на постовуляторной фазе ОМЦ (15–28 день) составили II группу. Корреляционный и аппроксимационный анализы проводились между вариационными рядами, включающими в себя численные значения дней ОМЦ, расположенные в порядке возрастания, и соответствующими им нейродинамическими показателями ЭЭГ по всем отведениям каждого исследуемого параметра. Так, для испытуемых I и II групп было составлено 2 вариационных ряда по дням ОМЦ: 1) с 1 по 14 день; 2) с 15 по 28 день. Таким образом устанавливалась степень, направленность, характер влияния микростадии ОМЦ (в днях) на следующие параметры каждого ЭЭГ-ритма (дельта, тета, альфа, бетаН-низкочастотного, бетаВ-высокочастотного) по каждому отведению: амплитуда спектра (полная, средняя, максимальная), мкВ; мощность спектра (полная, средняя, максимальная), мкВ*мкВ/с; частота (средняя, доминирующая), Гц; индекс, %. Для подтверждения общей закономерности проводилось сравнение с помощью Т-критерия Стьюдента усредненных величин показателей ЭЭГ двух исследуемых групп испытуемых.

Результаты и обсуждение. Первичный частотно-спектральный анализ биоэлектрической активности мозга по отведениям (без разделения спектра ЭЭГ на отдельные ритмы) обнаружил две противоположные по своей направленности тенденции линейного изменения биоэлектрической

активности мозга в течение ОМЦ, имеющие заметный либо выраженный характер ($< 0,05$). Данные тенденции указывали на постепенное снижение в доовуляторную стадию (I стадия) цикла значений амплитудных и мощностных компонентов ЭЭГ, а также на увеличение показателей спектральной частоты ЭЭГ в постовуляторный период (II стадия). В первом случае об этом свидетельствовали множественные корреляции, выявленные преимущественно в отведениях правого полушария по показателям полной и средней амплитуды и мощности спектров, во втором случае – корреляционные связи в отведениях T6A2 ($R = -0,47$, $P < 0,05$), PzA1 ($R = -0,45$, $P < 0,05$) по показателю средней частоты спектров. Разумно было предположить, что в основе обнаруженных тенденций лежат спектральные значения конкретных ритмов, вероятно, несколько «сглаженные» значениями других ритмов, имеющих более слабую связь с ОМЦ. С целью подтверждения этого был проведен более детальный корреляционный анализ, в ходе которого учитывались отдельные частотные и спектральные диапазоны ЭЭГ.

Таким способом на I стадии ОМЦ была установлена постепенная регрессия значений полной, средней, максимальной спектральной мощности и амплитуды бетаН-ритма от начала ОМЦ к овуляции по всей поверхности правого полушария, а также в затылочных отделах левого полушария. Также выявилось локальное линейное снижение мощности спектра дельта-ритма ($< 0,05$) в задней половине правого полушария и уменьшение всех мощностных и амплитудных показателей в затылочных отведениях OzA2, O1A1 спектра бетаВ-ритма от 1 к 14 дню цикла. Кроме того, в отведениях передней части левого полушария F3A1 ($R = 0,44$, $P < 0,05$), Fp1A1 ($R = -0,47$, $P < 0,05$), FpzA2 ($R = -0,46$, $P < 0,05$) было зарегистрировано плавное повышение частоты спектра бетаН-ритма. Корреляций относительно показателей спектра альфа-ритма не выявилось. На II стадии ОМЦ, напротив, основные статистически достоверные изменения ЭЭГ касались альфа-ритма, что выразилось в постепенном увеличении его спектральной доминирующей частоты по всей передней части скальпа, росте амплитуды в правой гемисфере, а также в усилении его индекса в теменной области. Это указывало на увеличение вклада основного ритма ЭЭГ в корковый электрогенез от середины к концу цикла. Также было выявлено локальное снижение индекса тета-ритма ($< 0,05$) по всей задней части правого полушария и некоторое увеличение спектральной частоты бетаН-ритма ($< 0,05$) в единичных отведениях: F7A1 ($R = 0,41$, $P < 0,05$) и T5A1 ($R = 0,57$, $P < 0,05$). В I и II стадию большинство установленных корреляционных связей являлись заметными, что свидетельствовало о некотором влиянии на данную динамику ЭЭГ и других факторов, не учитываемых в нашем исследовании. Но во II фазу цикла связи между днями ОМЦ и частотой основного ритма ЭЭГ уже имели выраженный характер, что, вероятно, было обусловлено усилением влияния гормонального фактора – стадии ОМЦ – в данном случае, изменений, происходивших в постовуляторную стадию. По данным О. М. Базановой [2009], такая динамика частоты основного ритма ЭЭГ могла быть связана с повышением концентрации прогестерона во II стадию цикла. В целом полученные результаты свидетельствовали о повышении биоэлектрической активности мозга в постовуляторный период ОМЦ и, напротив, о ее снижении в доовуляторный период.

В соответствии с этим были получены более высокие усредненные значения показателей ЭЭГ мозга во второй половине ОМЦ по сравнению с первой, выявленные с помощью анализа по Т-критерию Стьюдента (табл. 1). Основные различия касались спектральной мощности ЭЭГ. Последняя была статистически достоверно выше для спектров альфа-, бетаН и дельта- ритмов в постовуляторный период ОМЦ по сравнению с доовуляторным периодом, особенно в передней части правого полушария (C4A2, F4A2, T4A2) и в задних отделах левого полушария (O1A1, P3A1, T5A1).

Примечательно, что именно в этих и в соседних с ними участках скальпа методом корреляционного анализа зафиксировано основное падение мощностных и амплитудных характеристик ЭЭГ в период от начала до середины ОМЦ. Таким образом, происходило постепенное и масштабное снижение нейродинамических показателей от первого дня цикла к овуляции, а затем повышение амплитудных и частотных характеристик от овуляции к концу ОМЦ.

Если традиционно считать, что снижение мощности основного ритма ЭЭГ – это следствие большей активации коры головного мозга, а ее повышение – результат снижения церебральной активности [4, 13, 14], то можно сделать предположение о некотором снижении напряжения головного мозга во II фазу ОМЦ, происходящем в связи со стабилизацией его биоэлектрической активности в данный период. Тогда, опираясь на данные о том, что альфа-ритм играет основную роль в обеспечении важнейших функций головного мозга [2], становится более понятна природа обще-

известного повышения когнитивного потенциала женщин в поствулярную фазу ОМЦ (особенно в первый его период). То, что эти и другие изменения ЭЭГ, происходящие под воздействием фактора ОМЦ, проявляются преимущественно в правой гемисфере (42 R в правом полушарии против 13 R в левом полушарии), целесообразно объяснить с позиций имеющих в литературе сведений о большем влиянии гормонов на правое полушарие мозга [3] по сравнению в левым, реализующимся в связи с наличием связи между правой гемисферой и диэнцефальными структурами, ответственными за нейро-гормональный контроль [12].

Таблица

Сравнение значений абсолютных величин ($M \pm m$) средней мощности спектров ритмов ЭЭГ в довулярную и поствулярную фазы ОМЦ

Отв.	Спект дельта-ритма ЭЭГ			Спектр альфа-ритма ЭЭГ			Спектр бета-ритма ЭЭГ		
	Доову-я фаза	Постов-я фаза	t-зн.	Доову-я фаза	Постов-я фаза	t-зн.	Доову-я фаза	Постов-я фаза	t-зн.
O2A2	2,37±0,36	3,4±0,7	-1,25	2,12±0,39	3,22±0,7	-1,4	0,85±0,16	1,64±0,29	-1,14
O1A1	3,71±1,17	2,88±0,36	0,65	1,72±0,29*	3,59±0,82*	-2,23	0,95±0,06*	1,19±0,06*	-0,84
P4A2	2,58±0,26*	3,95±0,44*	-2,72	3,03±0,56	5,19±1,04	-1,87	0,99±0,11*	1,62±0,24*	-2,23
P3A1	2,87±0,23	3,91±0,53	-1,75	2,51±0,42*	5,64±1,28*	-2,41	0,96±0,15*	1,62±0,19*	-2,25
C4A2	2,54±0,26*	4,17±0,57*	-2,31	1,1±0,16*	1,84±0,33*	-2,09	0,68 ±,29	1,11 ±0,08	-2,2
C3A1	2,88±0,53	3,7±0,46	-1,12	1,18±0,19	1,86±0,36	-1,7	0,72 ±0,24	1,04 ±,29	-1,63
F8A2	1,92±0,19*	3,29±0,49*	-2,52	0,47±0,06	0,78±0,15	-2	0,47±0,27	0,87 ±0,13	-1,42
F7A1	2,14±0,34	3,73±1,14	-1,28	0,45±0,06	0,78±0,16	-1,9	0,54±0,06	0,81±0,11	-1,4
F4A2	2,9±0,26*	4,38±0,66*	-2,04	0,85±0,11*	1,46±0,29*	-2,02	0,71±0,24	1,14±0,06	-1,69
F3A1	3,58±0,56	4,94±1,14	-1,04	0,83±0,11	1,39±0,27	-2	0,76±0,11	1,42±,29	-1,58
Fp2A2	6,92±1,36	7,33±1,54	-0,22	0,72±0,08	1,12±0,22	-1,75	1,39±0,06	2,25±0,11	-0,92
Fp1A1	7,46±1,67	7,19±1,52	0,12	0,71±0,08	1,15±0,23	-1,91	1,55 ±,29	2,17±0,16	-0,73
T6A2	1,85±0,23*	3,03±0,45*	-2,28	1,11±0,22	2,27±0,64	-1,78	0,57±0,15	0,98±0,23	-1,86
T5A1	1,69±0,17*	3,02±0,46*	-2,66	0,87±0,14*	1,66±0,34*	-2,19	0,47±0,11*	0,86±0,7*	-2,71
T4A2	1,86±0,2	3±0,52	-1,96	0,56±0,08*	1,04±0,21*	-2,19	0,45±0,06	0,78±0,24	-1,88
T3A1	1,99±0,27	2,91±0,47	-1,65	0,66±0,11	1,09±0,22	-1,79	0,48±0,13	0,82±0,16	-1,95
FpzA2	7,24±1,8	7,5±1,65	-0,11	0,75±0,09	1,19±0,24	-1,75	1,48 ±,29	2,24 ±0,27	-0,82
FzA1	3,65±0,28	4,63±0,53	-1,59	1,04±0,13	1,75±0,35	-1,96	0,86±0,11	1,31 ±0,15	-1,69
CzA2	3±0,28*	4,48±0,5*	-2,53	1,3±0,17	2,11±0,39	-1,96	0,8 ±0,19*	1,25±0,24*	-2,03
PzA1	2,92±0,24*	4,08±0,47*	-2,14	3,27±0,58	4,96±0,99	-1,51	1,08±0,16	1,61 ±0,08	-1,85
OzA2	1,66±0,22*	3,13±0,47*	-2,79	1,44±0,24*	2,71±0,57*	-2,12	0,62±0,15*	1,06±0,19*	-2,15

Примечание: *($P > 0, 05$)

Установленное в ходе нашего исследования преобладание реактивности спектров быстрочастотных ритмов ЭЭГ к сдвигам, происходящим в течение ОМЦ, продемонстрировало большую чувствительность последних к непрерывно воздействующим на организм отдельным эндогенным факторам. Кроме того, большая реактивность альфа- и бета-ритмов по сравнению с медленночастотными ритмами была установлена в нашей лаборатории также при изучении влияния на ЭЭГ ординарных экзогенных факторов [16]. В свою очередь, согласно другому ранее проведенному нами исследованию [7], по мере взросления и старения наиболее выраженное снижение, напротив, отмечалось преимущественно для частотных диапазонов спектров дельта- и тета-ритмов. При этом регрессия значений спектров альфа- и бета-ритмов происходила намного менее выражено, что согласуется с данными Н. В. Вольф, А. А. Глухих (2011). Можно предположить, что ввиду сравнительно быстрой деградации с возрастом медленночастотной ритмики, более пластичные быстрочастотные ритмы ЭЭГ, возникшие в эволюционном плане несколько позже, выполняют по отношению к ней охранительную функцию, принимая на себя основной «удар» определенных внешних и внутренних факторов.

Отдельного внимания заслуживала динамика ЭЭГ, установленная в лобных отделах на I стадии ОМЦ, косвенно указывающая на обособленную функциональную роль этой области мозга в процессах, связанных с церебральной регуляцией ОМЦ. Так, несмотря на общее фоновое снижение значений показателей спектра низкочастотного бета-ритма, только в области левых фронтальных отведений скальпа наблюдалось линейное повышение ($< 0,05$) спектральной частоты данного

ритма к середине цикла и лишь на данном участке в I стадии цикла полная амплитуда спектра низкочастотного бета-ритма была достоверно выше по сравнению со II стадией ОМЦ. Объяснением этого явления могли служить данные, касающиеся формирования овуляторной доминанты, которая, согласно исследованиям В. В. Васильевой (2010), отображается на ЭЭГ в левых передних областях мозга, и именно к середине цикла. Такое доминантное состояние характеризуется более высокими показателями быстрочастотных компонентов ЭЭГ, в частности параметрами бета-ритма. При этом наряду с образованием доминанты в контрлатеральном полушарии формируется вторичный очаг, проявляющийся в виде наиболее низких показателей ЭЭГ [5]. Учитывая вышесказанное, можно предположить, что выявленная во фронтальных отделах (преимущественно левой гемисферы) динамика спектра низкочастотного бета-ритма в течение I стадии цикла отражала процессы формирования такого рода доминанты. В свою очередь, снижение спектральной мощности дельта-ритма в нижних отделах правого полушария, наслаивающееся на более масштабную регрессию бета-ритма, могло являться следствием перераспределения мозговой энергии в пользу левых передних отделов мозга. Полученные результаты подтверждали факт уравнивания общемозгового потенциала при усилении одного ритма за счет другого [6].

Интересно то, что в постовуляторную стадию в лобных отведениях также было выявлено линейное повышение частоты, но уже альфа-ритма. Согласно О. М. Базановой (2009), это могло являться следствием повышения уровня прогестерона во II фазу ОМЦ. Снижение же индекса тета-ритма в заднем отделе правого полушария в данный период цикла, вероятно, являлось признаком постепенно происходящей от овуляции к концу цикла гиппокампальной дезактивации [11]. В основе этого, по всей видимости, лежал механизм, описанный В. Ф. Кичигиной в 2004 г. Его суть заключается в падении значений тета-ритма за счет блокады норадренергической системы синего пятна и одновременной активации тормозного воздействия сератонинергической системы медианного ядра шва. По данным В. Н. Бабичева [2005], увеличение уровня серотонина, происходящее в связи с экспрессией его ключевого фермента, и снижение норадренергического тонуса опосредовано за счет галанина, осуществляется под воздействием овариальных гормонов, в том числе и эстрогена. Таким образом, постепенно повышающийся в постовуляторный период ОМЦ уровень половых гормонов, вероятно, имеет отрицательную связь с паттерном тета-ритма ЭЭГ. А так как в литературе присутствуют сведения о связи биопотенциалов тета диапазона с вниманием и памятью [15], то такую регрессию индекса тета-ритма целесообразно связать с падением определенных психофизиологических характеристик лиц женского пола к концу II фазы цикла.

Заключение. Таким образом, динамика ритмов ЭЭГ соответствует биоритмической природе овариально-менструального цикла и характеризуется общим фоновым снижением биоэлектрической активности в его первую фазу и ее усилением во вторую фазу, что, по всей видимости, может являться одновременно как причиной, так и следствием изменения психоэмоционального состояния лиц женского пола в течение ОМЦ. Линейная динамика низкочастотной ритмики, в свою очередь, носит более локальный характер и ограничивается в основном лишь пределами задних отделов правого полушария. В доовуляторную стадию цикла такая регрессия спектральных показателей дельта-ритма, вероятно, является отражением перераспределения мозговой энергии при возникновении овуляторной доминанты (в левых лобных отведениях) в доовуляторный период. Процентное же уменьшение компонента тета-ритма в ЭЭГ в постовуляторный период, возможно, связано с ослаблением влияния диэнцефальных структур. Наибольшая реактивность спектров «быстрых» ритмов ЭЭГ к сдвигам, происходящим в течение ОМЦ, как и к другим эндо- и экзогенным факторам, предположительно, является следствием наибольшей эволюционной прогрессивности неокортикальных структур мозга, в которых происходит их генерация. Возможно, такой механизм призван обеспечить большую сохранность биоэнергетических ресурсов глубинных церебральных структур, являющихся генераторами медленноволновой ритмики [16], что отражает его охранительно-адаптивную природу.

Литература

1. Бабичев В. Н. Нейроэндокринный эффект половых гормонов // Успехи физиологических наук. 2005. Т. 36. № 1. С. 54–67.
2. Базанова О. М. Современная интерпретация альфа активности // Успехи физиологических наук. 2009. № 3. С. 32–46.
3. Бианки В. Л., Филиппова Е. Б. Асимметрия мозга и пол. СПб.: СПбГУ., 1997. 327 с.

4. Васильева В. В. Спектральные характеристики у женщин в разные фазы менструального цикла // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 2005. Т. 140. № 10. С. 374–376.
5. Васильева В. В. Механизмы формирования и функционирования репродуктивных доминант в спонтанных и стимулированных циклах. 2010. Т. 36. № 3. С. 55–65.
6. Водолажская М. Г., Рослый И. М., Водолажский Г. И. Иерархическая организация биоритмов основана на общих биохимических закономерностях // Вестник Ставропольского государственного университета. 2006. № 47. С. 200–212.
7. Водолажская М. Г., Чадова И. Н. Половые различия амплитуды спектров электроэнцефалографических ритмов в онтогенезе человека // Тез. докл. седьмого международного конгресса «Нейронаука для медицины и психологии». М.: МАКС пресс, 2011. С. 114.
8. Вольф Н. В., Глухих А. А. Фоновая электрическая активность мозга при «успешном» ментальном старении // Физиология человека. 2011. Т. 37. № 5. С. 51–60.
9. Кичигина В. Ф. Механизмы регуляции и функциональное значение тета-ритма: роль серотонинергической и норадренергической систем // Журнал высшей нервной деятельности. 2004. Т. 54. № 1. С. 101–119.
10. Куксова Н. С. К вопросу об источниках генерации медленной активности на ЭЭГ // XX съезд Физиологического общества им. И. П. Павлова. Тезисы докладов. М.: Издательский дом «Русский врач», 2007. С. 294.
11. Свидерская Н. Е., Прудников В. Н., Антонов А. Г. Особенности ЭЭГ признаков тревожности у человека // Журнал высшей нервной деятельности. 2001. Т. 54. № 2. С. 158.
12. Фотекова Т. А. Развитие высших психических функций у подростков // Материалы международной научной конференции «Физиология развития человека». М.: Вердана, 2009. Т. 19. № 2. С. 76–77.
13. Barry R. J., Clarke A. R., Johnstone S. J. et al. EEG differences between eyes-closed and eyes-open resting conditions // Clinical Neurophysiology. 2007. V. 118. P. 2765–2773.
14. Laufs H., Holt J. L., Elton R. et al. Where the BOLD signal goes when alpha EEG leaves // Neuroimage. 2006. V. 31. N. 4. P. 1408–1418.
15. Molle M., Marshall L., Fehm H. L., Born J. EEG theta synchronization conjoined with alpha desynchronization indicate intentional encoding // Eur. J. Neurosci. 2002. V. 15. № 5. P. 923–928.
16. Vodolazhskaya M., Vodolazhsky G., Naimanova M., Rosly I. Influence of Geophysical Factors on the Parameters of the Human Electroencephalogram // Biophysics. 2010. V. 55. № 3. P. 477–483.

УДК 637.147

**Евдокимов Иван Алексеевич, Смирнов Евгений Романович,
Шрамко Мария Ивановна, Гостищева Елена Александровна**

ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ МИКРОФИЛЬТРАЦИИ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КЕРАМИЧЕСКИХ МЕМБРАН

Представлены материалы по обработке молочной сыворотки методом микрофильтрации с использованием керамических мембран; изучены микробиологические и технологические показатели продуктов переработки сыворотки при различных температурах; предложены технологические режимы кондиционирования творожной сыворотки.

Ключевые слова: кондиционирование, санация, микрофильтрация, микробиологические показатели.

**Evdokimov Ivan Alekseevich, Smirnov Evgeniy Romanovich,
Shramko Mariya Ivanovna, Gostischeva Elena Aleksandrovna**

STUDY OF ASPECTS OF MILK WHEY CONDITIONING BY MICROFILTRATION WITH USING CERAMIC MEMBRANES

In the article presented materials on milk whey microfiltration with ceramic membranes. Microbiological and technological parameters were studied on each stage of the process with various temperatures. Technological regimes of acid whey processing are suggested.

Key words: conditioning, sanation, microfiltration, microbiological parameters.

В свете повышающегося дефицита пищевых ресурсов в мире и постоянного удорожания сырья вопрос его глубокой переработки стоит особенно остро. Решение данной проблемы в молочной отрасли предполагает развитие направлений переработки молочной сыворотки, что не только позволяет значительно повысить эффективность производства, но и решает весомую экологическую