

УДК 57.045

ЗАВИСИМОСТЬ УРОВНЯ АКТИВАЦИИ КОРЫ ГОЛОВНОГО МОЗГА ЖЕНЩИН ОТ РАЗЛИЧНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

© 2015 г. К.И. Павлов¹, В.Н. Мухин¹, В.Г. Каменская², В.М. Клименко¹

¹ Институт экспериментальной медицины, Физиологический отдел им. И.П. Павлова,
г. Санкт-Петербург, Россия

² Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, г. Елец, Россия

Актуальность изучения физиологических реакций женщин на различные факторы земной и космической погоды обусловлена недостатком экспериментальных исследований. Цель работы: установить зависимость уровня активации коры головного мозга женщин от метеорологических и космофизических характеристик земной и космической погоды. Электроэнцефалограмма (ЭЭГ) регистрировалась у испытуемых, находящихся в положении «сидя», в спокойном состоянии, с закрытыми глазами. Было проведено четыре серии регистрации биоэлектрической активности мозга с февраля по июнь 2013 г. Установлено, что уровень активности коры существенно различался при регистрации ЭЭГ в четырех точках данного полугодичного периода. Были определены значимые отношения между уровнем активности коры и характеристиками земной и космической погоды, а именно, чем выше температура атмосферного воздуха, ниже скорость ветра и энергия космических лучей, тем ниже уровень активации коры правой затылочной доли.

Ключевые слова: экологические факторы, электроэнцефалограмма (ЭЭГ), активация коры.

PACS 91.25.-r (Geomagnetism)

Введение

Динамика внешних экологических факторов, как правило, не учитывается при проведении психофизиологических и психологических исследований, хотя они активно влияют на получаемые количественные и качественные данные, нередко нарушая принцип воспроизводимости условий и результатов эксперимента. Кора головного мозга человека, обеспечивая функции психической деятельности и сознания, также осуществляет связь организма с внешней средой и активно участвует в процессах адаптации к колебаниям внешних экологических условий, селективно изменяя при этом свою активность.

В литературе имеется ряд работ, посвященных изучению влияния факторов космической [Doronin et al., 1998; Карпин, Кострюкова, 2004; Побаченко, 2007; Цыганков, Григорьев, 2009; Кануников и др., 2010; Ходанович и др., 2011; Хаснулин и др., 2011; Mulligan, Persinger, 2012; Хорсева, 2013] и земной [Сороко и др., 2009; Холманский, 2009; Гудинова, Акимова, 2010; Vodolazhskaia et al., 2010; Vodolazhskii, Vodolazhskaia, 2013] погоды на спектральные характеристики ЭЭГ.

Так, в исследованиях И.Е. Кануникова с соавторами [2010] показано, что изменения геомагнитного поля достоверно положительно коррелируют со значениями показателей пространственной синхронизации ЭЭГ височных отведений правого полушария; по мнению авторов, это отражает реакцию адаптации в ответ на стрессорное воздействие, вызванное изменением геомагнитной активности.

Согласно работе К.В. Цыганкова и П.Е. Григорьева [2009], доминирование активности левого полушария связано с полярностью межпланетного магнитного поля (как в диапазоне суток, так и лет), а активность правого полушария возрастает в годы максимальной гелиогеофизической возмущенности.

М.Г. Водолажская с соавторами, применяя ЭЭГ метод, продемонстрировала, что церебральные процессы обладают тонкой физиологической чувствительностью к режиму ветра, температуре, атмосферному давлению и относительной влажности воздуха [Vodolazhskaia et al., 2010].

Наши исследования показали, что возрастание солнечной активности способствует ухудшению цветовой перцепции и приводит к снижению эффективности решения когнитивных задач у молодых женщин. Наиболее значимыми факторами земной и космической погоды, оказывающими влияние на когнитивную деятельность, являются магнитное поле Солнца (SMF), скорость ветра и солнечная составляющая космических лучей [Павлов, Каменская, 2013а].

В работах С.П. Смышляева и П.А. Блакидной с соавторами имеются данные, подтверждающие определенную связь гелиогеофизических и метеорологических факторов. Установлено, что возрастание солнечной активности от минимума к максимуму одиннадцатилетнего цикла приводит к увеличению температуры воздуха, изменению газового состава атмосферы, облачности, скорости ветра и характеристик атмосферных фотохимических процессов образования озона [Смышляев и др., 2005; Блакидная и др., 2010].

Таким образом, актуальность нашего исследования обусловлена недостатком экспериментальных работ, посвященных изучению физиологических реакций организма на действие различных факторов земной и космической погоды, трудностями интерпретации полученных результатов из-за сложности солнечно-земных связей и недостаточной изученности влияния излучений дальнего Космоса.

Объектом изучения являлись молодые женщины. Выбор такого объекта исследования связан с необходимостью более детального изучения комплексного влияния экологических факторов на нейрофизиологические процессы в организме женщин репродуктивного возраста с целью сохранения и укрепления их здоровья и здоровья будущего поколения.

Известно, что мужчины и женщины с метеотропиями имеют большую выраженность дисфункций сердечно-сосудистой системы, однако у женщин эти изменения более заметны [Grigoruk, Katyuchin, 2004; Соловьев и др., 2014].

Целью настоящего исследования являлось установить зависимость уровня активации коры головного мозга женщин от метеорологических и космофизических характеристик земной и космической погоды. При изложении материала мы придерживались традиции, восходящей еще к работе А.Л. Чижевского [1976], согласно которой одни и

те же наблюдаемые космофизические факторы и зависящие от них физиологические реакции рассматриваются в рамках нескольких временных срезов.

Методы исследования

Основная идея настоящего исследования заключалась в сопоставлении интенсивности различных факторов окружающей среды (геокосмических и метеорологических) и степени активации коры мозга. Степень активации коры мозга оценивалась электрофизиологически: по уровню десинхронизации электроэнцефалограммы. Еще в середине XX в. Г. Мэгун и Г. Морuzzi (цит. по: [Фокина и др., 2007]) установили, что повышение активности коры и подкорковых образований головного мозга сопровождается увеличением степени десинхронизации ЭЭГ, т.е. увеличением частоты и уменьшением амплитуды основных ритмов ЭЭГ. Таким образом, уровень десинхронизации является физиологическим маркером активности коры.

Объектом исследования являлась группа добровольцев – студенток Института детства Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена ($n = 10$) первого периода зрелого возраста – от 23 до 34 лет (25.9 ± 3.5 лет) (по периодизации, принятой на Международном симпозиуме по возрастной периодизации, г. Москва, 1965 г.) как наиболее физиологически стабильного периода жизни женщины. Все испытуемые были праворукими.

Проведены четыре серии регистрации биоэлектрической активности мозга, распределенных по сезонам следующим образом: 1-я серия проводилась в 19.02–05.03.2013 г.; 2-я серия – 05.03–29.03.2013 г.; 3-я серия – 25.04–20.05.2013 г.; 4-я серия – 22.05–11.06.2013 г. Такое распределение серий во времени обусловлено целесообразностью включения половины годичного цикла (полупериод годичного цикла) колебания изучаемых индексов земной и космической погоды, в котором представлены минимальные и максимальные значения индексов. Запись ЭЭГ в период каждой серии производилась в разные дни и однократно у каждой испытуемой. Всего проанализировано 40 электроэнцефалограмм, время регистрации которых было равномерно распределено по всему периоду исследования.

Во время регистрации ЭЭГ испытуемые в течение 5 мин находились в положении «сидя», в спокойном состоянии, с закрытыми глазами. Использовался электроэнцефалограф-регистратор «Энцефалан-ЭЭГР-19/26» модификация «Мини» (НПКФ «Медиком МТД», г. Таганрог). Четыре пары активных электродов располагались по стандартной системе 10–20 в симметричных точках правого и левого полушария (F3, F4, C3, C4, P3, P4, O1, O2). Референтные электроды (A1, A2) прикреплялись за ушами в области сосцевидных отростков. Заземляющий электрод находился в точке Fz. Сопротивление электродов составляло 10–30 кОм. С помощью компьютерной программы «Энцефалан» (профессиональная версия, 2012 г.) были выявлены и удалены глазодвигательные, мышечные, электрокардиографические артефакты, единичные спайки и острые волны.

Определялись спектральные показатели в следующих частотных диапазонах: дельта-1 (Д1) = 0.50–2.0 Гц; дельта-2 (Д2) = 2.0–4.0 Гц; тета (Т) = 4.0–8.0 Гц; альфа (А) = 8.0–13.0 Гц; бета-1 (Б1) = 13.0–24.0 Гц; бета-2 (Б2) = 24.0–35.0 Гц. Был проведен анализ спектров мощности по количественному показателю ОЗМ – относительному значению мощностей по основным полосам в каждом из отведений (%), и далее выполнена z-нормализация показателей ОЗМ, полученных данных по формуле

$$x' = (x - x_{cp})/y, \quad (1)$$

где x' – нормализованное значение в баллах; x – значение ОЗМ; x_{cp} – среднее арифметическое ОЗМ по группе из 10 человек; y – стандартное отклонение. Определены уровни

десинхронизации ЭЭГ в каждом из отведений в соответствии со шкалой от 0 до 5 баллов. Уровень десинхронизации 0 баллов соответствовал преобладанию нормализованного значения мощности ЭЭГ в диапазоне Д1, 1 балл соответствовал диапазону Д2, 2 балла – диапазону Т, 3 балла – диапазону А, 4 балла – диапазону Б1, 5 баллов соответствовало частотной полосе Б2 [Мухин и др., 2011].

Уровни десинхронизации по каждому отведению сопоставлялись с 7 геокосмическими и 14 региональными (г. Санкт-Петербург) метеорологическими индексами. Значения геокосмических индексов находятся в свободном доступе на сайте NOAA (National Geophysical Data Center): SMF – среднесуточная напряженность магнитного поля Солнца (мкТл); SsN – среднеемесячное число солнечных пятен; F10.7fl – среднеемесячный поток солнечного радиоизлучения на частоте 2800 МГц; CR – энергия космических лучей для каждого часа мирового времени (МэВ); Dst – возмущенность геомагнитного поля для каждого часа мирового времени (нТл); A_p – среднеемесячный планетарный индекс геомагнитной активности (нТл); A_e – индекс авроральной электроструи для каждого часа мирового времени (нТл). Метеорологические индексы представлены на сайтах «Погода и климат» и «POGODA.BY» значениями, имеющими место в день и час исследования в период с февраля по июнь 2013 г.: Time – время проведения исследования; Wind – скорость ветра (м/с); Shows – горизонтальная дальность видимости (м); T – температура воздуха, измеренная на высоте 2 м над землей (°C); T_d – температура точки росы (°C); F – относительная влажность воздуха (%); T_e – эффективная температура (°C); T_{es} – эффективная температура на солнце (°C); P – атмосферное давление на уровне моря (гПа); P_0 – атмосферное давление, измеренное на уровне метеостанции (гПа); T_{min} – минимальная суточная температура (°C); T_{max} – максимальная суточная температура (°C); T_{amp} – максимальная амплитуда колебания суточных значений температуры; Clouds – облачность (баллы).

С целью математико-статистического анализа использовался расчет среднего значения и среднеквадратического отклонения. Определение связей между параметрами проводилось с помощью корреляционного анализа Спирмена, регрессионного анализа. Критериями достоверности результатов были: коэффициент корреляции r с соответствующим значением уровня достоверности ($p \leq 0.05$; $p \leq 0.01$), построение скатерограмм для визуального анализа репрезентативности корреляционных связей, вычисление коэффициента детерминации R^2 и определение F-критерия Фишера и соответствующего показателя уровня достоверности ($p \leq 0.05$; $p \leq 0.01$) в тесте ANOVA для доказательства влияния независимых переменных (индексов земной и космической погоды) на зависимые переменные (уровни десинхронизации ЭЭГ) в простом и множественном регрессионном анализе.

С целью выделения наиболее существенных связей между параметрами ЭЭГ и индексами земной и космической погоды, линейно изменяющимися в течение исследуемого полугодичного периода, применялся факторный анализ, выполненный методом главных компонент (principal components) с ротацией факторов по методу Equamax.

Результаты исследования

Установлены статистически значимые корреляционные связи между некоторыми индексами земной и космической погоды и уровнем десинхронизации ЭЭГ. Эти индексы существенным образом изменялись в ходе полугодичного периода. Из данных, приведенных в табл. 1, видно, что при переходе от 1-й серии измерений к 4-й происходит естественное увеличение температуры, горизонтальной дальности видимости,

Таблица 1. Динамика индексов земной и космической погоды в периоды проведения исследования

№ серии измерений	T	Clouds	Shows	Wind	CR	SsN	F10.7fl	A_p
1-я серия	-3.2	7.7	8800	2.6	9170.4	42.1	105.8	5.8
2-я серия	-2.8	6.5	8000	2.6	9202.5	57.9	111.2	9.0
3-я серия	13.5	7.5	10000	1.9	8972.3	75.6	128.2	7.5
4-я серия	19.5	6.2	10000	2.2	8722.4	70.8	125.0	10.9

Примечание. Усл. обозн. индексов здесь и в табл. 2, 3 см. в разделе «Методы исследования».

а также уменьшаются облачность и скорость ветра. Показатели, отражающие характеристики космической погоды, также изменялись: при переходе от зимы к лету уменьшалась энергия космических лучей, а показатели солнечной активности (число солнечных пятен и поток солнечного радиоизлучения), напротив, увеличивались. В ответ на общее увеличение солнечной активности при переходе от 1-й серии измерений к 4-й наблюдалось и увеличение значений индекса геомагнитной активности A_p .

С помощью корреляционного анализа определены многочисленные связи между уровнями десинхронизации ЭЭГ в основных отведениях и геокосмическими и метеорологическими индексами.

В 1-й серии измерений (февраль–март 2013 г.) установлены отрицательные корреляционные связи между уровнем десинхронизации в левом затылочном отведении испытуемых и показателем Shows ($r = -0.67$; $p \leq 0.05$), а также показателем времени проведения исследования Time ($r = -0.65$; $p \leq 0.05$) (рис. 1). Простой регрессионный анализ показал, что доля объясненной дисперсии зависимой переменной (O1) равна 55 % для связи между уровнем десинхронизации в O1-отведении и индексом Shows ($F = 9.73$; $p \leq 0.01$) и 43 % – для связи между уровнем десинхронизации в этом же отведении и индексом Time ($F = 6.08$; $p \leq 0.05$).

Полученные данные позволили предположить, что чем меньше горизонтальная дальность видимости и раньше время проведения исследования, тем больше наблюдаемый уровень десинхронизации в левом затылочном отведении и, следовательно, выше уровень активации зрительной зоны коры левого полушария.

Показатель времени проведения исследования (Time) отрицательно коррелирует с уровнем десинхронизации и в левом теменном отведении ($r = -0.65$; $p \leq 0.05$), что также демонстрирует факт увеличения активности левой теменной доли в утреннее и полуденное время суток. Достоверность результата подтверждается 46 % объясненной дисперсии зависимой переменной – уровня десинхронизации в левом теменном отведении ($F = 6.86$; $p \leq 0.05$).

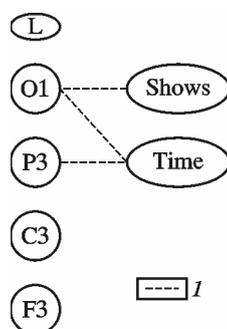


Рис. 1. Корреляционная плеяда изучаемых параметров в 1-й серии измерений

Усл. обозн. индексов здесь и далее на рис. 2–4 см. в разделе «Методы исследования»; L – группа отведений левого полушария; I – $p \leq 0.05$

Исходя из общепринятых представлений о функциональной роли левой теменной доли, можно предположить, что в утреннее и полуденное время происходит более эффективный анализ акустической и зрительной информации ассоциативными зрительно-акустическими полями и более выраженная поддержка речевой функции, связанной с оценкой веса, формы, размера и характера поверхности предмета, воздействующего на рецепторы кожи, а также более успешная ориентация в пространстве и привязка к местности за счет связей с медиальной энторинальной корой, являющейся центром мозговой сети пространственной навигации [Агаджанян и др., 2005; Sargolini et al., 2006].

Для 2-й серии измерений (март 2013 г.) характерны многочисленные сильные положительные корреляционные связи между индексом Clouds и уровнями десинхронизации в обоих лобных (правом: $r = 0.74$; $p \leq 0.05$ и левом: $r = 0.81$; $p \leq 0.05$) и обоих центральных (правое: $r = 0.76$; $p \leq 0.05$; левое: $r = 0.71$; $p \leq 0.05$) отведениях (рис. 2). Кроме того, уровень десинхронизации в правом теменном отведении также имеет положительную корреляцию с индексом Clouds ($r = 0.67$; $p \leq 0.05$). Влияние параметра Clouds на вышеперечисленные уровни десинхронизации в соответствующих отведениях подтверждается статистически достоверными значениями критерия F в тесте ANOVA и значительными долями объясненных дисперсий зависимых переменных (уровней десинхронизации), находящихся в интервале от 42 до 61 %.

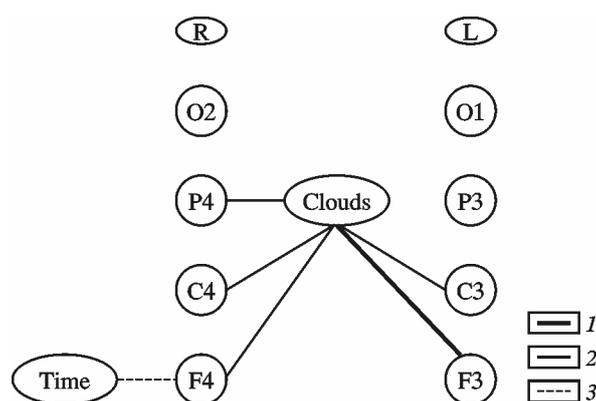


Рис. 2. Корреляционная плеяда изучаемых параметров во 2-й серии измерений
Здесь и далее на рис. 3, 4: R – группа отведений правого полушария;
L – группа отведений левого полушария; 1 – $p \leq 0.01$; 2, 3 – $p \leq 0.05$

Мы предполагаем, что атмосферные условия пониженной облачности вызывают уменьшение уровня общей десинхронизации в лобных и центральных электроэнцефалографических отведениях, причем центром распространения уменьшения десинхронизации является левая лобная доля.

Таким образом, визуально наблюдаемая в ходе 2-й серии измерений пониженная облачность по сравнению с показателями облачности в 1-й и 3-й сериях способна снижать активность лобных ассоциативных полей левого полушария, уменьшая, возможно, при этом эффективность формирования программы сложных поведенческих актов в ответ на воздействие средовых факторов на основе сенсорных сигналов всех модальностей.

Статистически значимые отрицательные корреляции установлены между уровнем десинхронизации в правом лобном отведении и временем проведения исследования (Time) ($r = -0.68$; $p \leq 0.05$), при этом доля объясненной дисперсии зависимой переменной составила 51% ($F = 8.37$; $p \leq 0.05$).

Время начала проведения измерений – 12.00 ч; окончания – 19.00 ч по московскому времени. Иными словами, при проведении исследования в более ранние часы происходит более выраженная десинхронизация в правой лобной доле; напротив, в более поздние часы уровень активации ассоциативных зон коры правой лобной доли уменьшается, что, вероятно, сказывается на эффективности выполнения определенных когнитивных задач.

Для 3-й серии измерений (апрель–май 2013 г.) характерны многочисленные отрицательные корреляционные связи между уровнем десинхронизации в правом затылочном отведении и геокосмическими индексами CR ($R^2 = 0.58$), SsN ($R^2 = 0.71$), F10,7fl ($R^2 = 0.71$), A_p ($R^2 = 0.71$), а также между уровнем десинхронизации в правом затылочном отведении и температурными показателями: T ($R^2 = 0.73$), T_d ($R^2 = 0.58$), T_e ($R^2 = 0.70$), T_{es} ($R^2 = 0.52$), T_{max} ($R^2 = 0.67$), T_{min} ($R^2 = 0.72$) (для всех коэффициентов корреляции $p \leq 0.01$; показатели R^2 , указанные в скобках, – это коэффициенты детерминации зависимой переменной, т.е. уровня десинхронизации ЭЭГ) (рис. 3).

Имеются сильные корреляционные связи между температурными показателями T ($R^2 = 0.70$), T_d ($R^2 = 0.59$), T_e ($R^2 = 0.69$), T_{es} ($R^2 = 0.48$), T_{max} ($R^2 = 0.64$), T_{min} ($R^2 = 0.70$), CR ($R^2 = 0.50$), SsN ($R^2 = 0.68$), F10,7fl ($R^2 = 0.68$), A_p ($R^2 = 0.68$) и уровнем десинхронизации в правом теменном отведении ($p \leq 0.01$). Необходимо отметить, что подавляющее число коэффициентов детерминации значительно больше 0.50, что свидетельствует о достаточно выраженном влиянии факторов земной и космической погоды на уровень десинхронизации в затылочном и теменном отведении правого полушария. Кроме того, подобные отрицательные корреляционные связи, только с более низким уровнем статистической достоверности ($p \leq 0.05$), наблюдаются между всеми вышеперечисленными индексами (температурными и геокосмическими) и уровнем десинхронизации в левом затылочном отведении, причем величины объясненных дисперсий – около 52 %.

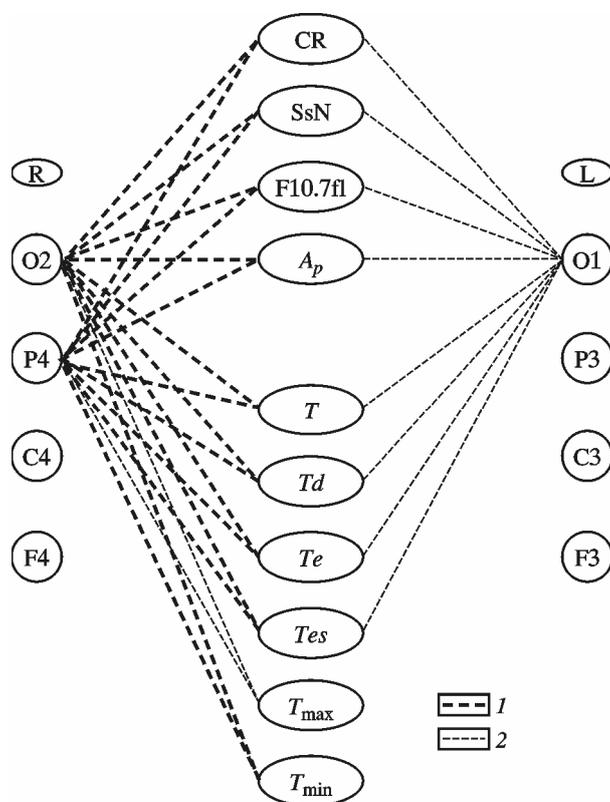


Рис. 3. Корреляционная плеяда изучаемых параметров в 3-й серии измерений
1 – $p \leq 0.01$; 2 – $p \leq 0.05$

Можно предположить, что чем выше температура атмосферного воздуха, больше планетарный индекс геомагнитной активности и число солнечных пятен, интенсивнее поток солнечного радиоизлучения и выше энергия космических лучей (солнечная их составляющая), тем ниже уровень активности коры затылочных долей, главным образом затылочной доли правого полушария.

В 4-й серии измерений (май–июнь 2013 г.) установлены тесные отрицательные корреляции между уровнем десинхронизации в правом лобном отведении и индексами солнечной активности SsN ($r = -0.77$; $p \leq 0.01$) и F10,7fl ($r = -0.77$; $p \leq 0.01$) и тесная положительная корреляция с индексом геомагнитной активности A_p ($r = 0.77$; $p \leq 0.01$) (рис. 4).

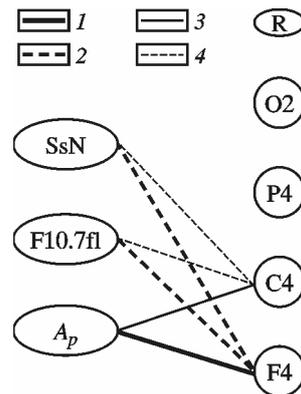


Рис. 4. Корреляционная плеяда изучаемых параметров в 4-й серии измерений
1, 2 – $p \leq 0.01$; 3, 4 – $p \leq 0.05$

Подобная же картина корреляционных связей, только на менее высоком уровне значимости ($p \leq 0.05$), характерна в отношении уровня десинхронизации в правом центральном отведении. Важно, что величина объясненной дисперсии для каждой из зависимых переменных (уровень десинхронизации в отведениях F4 и C4) составила 61 ($p \leq 0.01$) и 47 % ($p \leq 0.05$). Следовательно, увеличение уровня десинхронизации в правом лобном и центральном отведениях наблюдается при возрастании геомагнитной активности. Увеличение солнечной активности вызывает уменьшение уровня десинхронизации, а значит, снижение корковой активности ассоциативных полей правой лобной доли.

Факторный анализ позволил определить пятифакторную структуру уровней десинхронизации ЭЭГ по отведениям, метеорологических и геокосмических индексов. Критерий Кайзера–Мейера–Олкина (Kaiser–Meyer–Olkin measure of sampling adequacy) оказался равен 0.51, а значение критерия сферичности Бартлетта – < 0.01 . Это указывает на адекватную возможность применимости факторного анализа к данной выборке. Необходимо отметить, что факторный анализ проводился по всем сериям измерений, что позволило увеличить число анализируемых данных в соответствии с количеством испытуемых и величину объясненной дисперсии (71 %).

Наиболее важным для детального рассмотрения является первый фактор, названный нами физиолого-космометеорологическим, в который с максимальным факторным весом вошли показатели температуры T_d (0.83), T_e (0.78), T (0.76), индекс энергии космических лучей CR (–0.72), скорость ветра Wind (–0.67) и уровень десинхронизации в правом затылочном отведении O2 (–0.63) (табл. 2).

Таблица 2. Результаты факторного анализа

Индексы	Факторы				
	1	2	3	4	5
<i>Td</i>	0.832	0.348	0.050	0.000	0.202
<i>Te</i>	0.779	0.309	0.021	0.394	0.230
<i>T</i>	0.758	0.302	0.044	0.407	0.234
CR	-0.719	-0.374	-0.027	-0.161	-0.253
Wind	-0.668	0.068	0.280	-0.144	-0.295
O2	-0.631	0.026	0.269	0.050	0.258
<i>P₀</i>	-0.073	-0.956	-0.024	-0.040	-0.037
<i>P</i>	-0.077	-0.956	-0.024	-0.041	-0.037
SsN	0.456	0.725	-0.261	0.137	0.144
F10.7fl	0.595	0.628	-0.256	0.042	0.184
<i>T_{amp}</i>	0.183	-0.509	-0.144	0.488	0.075
F3	0.117	0.162	0.813	-0.297	-0.141
C3	0.002	0.055	0.799	-0.323	-0.121
F4	-0.082	-0.142	0.740	0.169	-0.075
C4	-0.104	-0.126	0.695	0.151	0.145
O1	-0.323	0.182	0.338	0.060	0.312
<i>F</i>	-0.113	-0.070	0.057	-0.899	-0.140
Clouds	0.021	0.014	0.032	-0.854	-0.037
<i>A_p</i>	0.386	0.433	0.136	0.542	-0.225
Dst	0.072	0.018	-0.184	-0.097	-0.834
Time	0.083	0.186	-0.177	0.112	0.582
SMF	-0.255	0.120	0.144	0.300	-0.580
Shows	0.442	0.025	-0.059	0.209	0.550

Примечание. Выделены факторные веса параметров, входящих в соответствующий фактор.

Таким образом, чем выше температура атмосферного воздуха, ниже скорость ветра и энергия космических лучей, тем ниже уровень десинхронизации в проекции правого затылочного отведения и, следовательно, ниже уровень активации соответствующих ассоциативных полей правой затылочной доли.

Целесообразно также описать третий фактор, названный нами электроэнцефалографическим. В него вошли все электроэнцефалографические параметры десинхронизации ЭЭГ по отведениям: F3 (0.81), C3 (0.80), F4 (0.74), C4 (0.70), O1 (0.34). Характер этих связей указывает на возможное физиологическое единство электрофизиологических параметров десинхронизации ЭЭГ, обусловленное влиянием на кору неспецифических активирующих и тормозных систем мозга.

Факторы 2, 4 и 5 отражают внутренние взаимосвязи между индексами земной и космической погоды, что демонстрирует влияние гелиогеофизических факторов на метеорологические, однако подробный анализ этих влияний в задачи нашей работы не входил.

Обсуждение результатов

В ходе нашего исследования было обнаружено, что многие геокосмические и метеорологические факторы влияют на уровень активации коры дифференцированно, в зависимости от серии измерений, а точнее, от сезонных колебаний характеристик земной

и космической погоды, что согласуется с результатами работы В.Н. Шеповальникова и С.И. Сороко [1992], в которой представлена идея о том, что на организм человека оказывают воздействия не столько абсолютные значения факторов окружающей среды, сколько их колебания.

Так, в феврале–марте 2013 г. при неблагоприятных условиях видимости и в более ранние часы обследования наблюдалось увеличение активности зрительной зоны коры левого полушария. Это может быть связано с большей нагрузкой на зрительный анализатор испытуемых при возрастающей сложности распознавания объектов при плохом освещении.

В марте 2013 г. (во 2-й серии измерений) атмосферные условия характеризовались пониженной облачностью, т.е. более или менее ясной погодой, и снижали активность лобных ассоциативных полей левого полушария; вероятно, это сопряжено с некоторым эмоционально-волевым утомлением и снижением эффективности когнитивных функций.

В апреле–мае 2013 г. (3-я серия измерений) повышение температуры воздуха, возрастание солнечной и, вероятно, «сезонное» увеличение геомагнитной активности сопровождалось снижением активности коры затылочных долей главным образом правого полушария. Показано выраженное влияние этих факторов на снижение активности затылочной доли правого полушария, о чем свидетельствуют высокие значения долей объясненной дисперсии, полученных при составлении уравнений линейной регрессии (табл. 3). В этот период деактивация коры затылочных долей правого полушария выражалась смещением мощности спектра в область частотных диапазонов «дельта-1» и «тета». В работе Л.А. Дикой [2010] есть сведения о повышении активности и когерентности тета-ритма в париетально-окципитальной зоне коры во время сочинения музыки. Это рассматривается автором как проявление активизации процессов внимания, извлечения из памяти эмоциональных образов и эвристический процесс поиска новых, оригинальных решений, связанных с прошлым эмоциональным опытом, что было показано и в нашей работе [Павлов, Каменская, 2014].

Таблица 3. Результаты простого регрессионного анализа результатов 3-й серии измерений

Отведение (зависимые переменные)	Индекс (независимые переменные)	Коэффициент детерминации (R^2)	Уравнение простой линейной регрессии
O2	SsN	0.71	$O2 = -0.508(SsN) + 40.375$
O2	F10.7fl	0.71	$O2 = -0.508(F10.7fl) + 67.092$
O2	A_p	0.71	$O2 = -0.640(A_p) + 6.8$
O2	T	0.73	$O2 = -0.256(T) + 5.456$

Множественный регрессионный анализ позволил выявить наиболее значимые факторы земной и космической погоды, комплексно влиявшие на активность коры правой затылочной доли в апреле–мае 2013 г., – это температура воздуха, поток солнечного радиоизлучения на частоте 2800 МГц и энергия космических лучей. Величина объясненной дисперсии уровня десинхронизации в правом затылочном отведении составила 93 % ($F = 25.79$; $p \leq 0.001$). Ниже представлено уравнение множественной регрессии:

$$O2 = 1.384(F10.7fl) + 0.01(CR) - 0.691(T) - 259.677.$$

В мае–июне 2013 г. (4-я серия измерений) при (возможно, сезонно обусловленном) возрастании геомагнитной активности наблюдалось увеличение уровня активации коры правого полушария в проекциях лобного и центрального отведений, а увеличение тогда же солнечной активности вызывало снижение корковой активности ассоциативных полей правой лобной доли. Эти данные в целом согласуются с данными Д.Р. Белова с соавторами, свидетельствующими о том, что наиболее значимые корреляции между геомагнитной активностью и спектральными параметрами ЭЭГ представлены в лобных и центральных отведениях [Belov *et al.*, 1998].

Наиболее чувствительным к влиянию геомагнитной и солнечной активности является правое полушарие. Это полностью согласуется с имеющимися литературными данными об активации структур правого полушария в ответ на сильное воздействие внешних средовых факторов. В работе К.В. Цыганкова и П.Е. Григорьева [2009] показано доминирование правого полушария, положительно связанного с гелиогеофизической активностью и уровнем атмосферного инфразвука.

Таким образом, при изменениях гелиогеофизических параметров земной и космической погоды происходит активация коры правого полушария, причем этот процесс характеризуется разнонаправленностью реагирования в ответ на воздействие Солнца или геомагнитного поля.

Увеличение количества солнечных пятен и интенсификация потока солнечного радиоизлучения приводит к подавлению активности префронтальной коры правого полушария, что, возможно, сопровождается ухудшением когнитивной деятельности. Это подтверждается исследованиями А.А. Конрадова и А.И. Михайлова, которые отмечали резкое замедление времени реакции человека на внешние сигналы и снижение энергетических ресурсов организма при возрастании солнечной активности, а также исследованиями Е.Г. Камeneвой, Г.А. Софронова и А.М. Жиркова, показавшими повышение тревожности и понижение стрессоустойчивости при возрастании солнечной активности [Конрадов *и др.*, 2004; Михайлов *и др.*, 2004; Камeneва *и др.*, 2014]. В наших работах также было показано, что усиление солнечной активности у большей части испытуемых вызывает ухудшение временных показателей перцептивно-моторных реакций, качества выполнения тестовых заданий и распознавания цифровых символов на цветовом фоне, снижение адаптационного ресурса [Павлов, Каменская, 2013б].

Факторный анализ показал, что чем выше температура атмосферного воздуха, ниже скорость ветра и энергия космических лучей, тем ниже уровень десинхронизации в правом затылочном отведении и уровень активации коры правой затылочной доли. Таким образом, при наличии более благоприятных условий земной и космической погоды происходит ослабление активации коры правой затылочной доли. Это подтверждается данными работы В.П. Леутина и Е.И. Николаевой [2008], в которой показана активация левого полушария при воздействии привычных внешних благоприятных условий, а также согласуется с результатами работы Е. Мотта с соавторами [Motta *et al.*, 2011], которыми показано снижение количества случаев регистрации эпилептиформной активности и эпилептических припадков в летний сезон, являющийся более благоприятным периодом для восстановления адаптационного ресурса по сравнению с зимне-весенним периодом.

Результаты проведенного нами исследования свидетельствуют, что изменяющиеся во времени (в течение полугода) уровни значений экологических факторов земной и космической погоды дифференцированно влияют на уровень локальной активации коры у женщин первого периода зрелого возраста. Наиболее чувствительной к воздействию экологических факторов земной и космической погоды областью мозга является

кора правой затылочной доли. Влияние погодных условий на уровень общей активации (arousal reaction) не выявлено, это подтверждается спецификой состава 3-го фактора, включающего только параметры уровней десинхронизации ЭЭГ; ни один из космофизических или метеорологических индексов не вошел в структуру данного фактора.

Заключение

Подводя итоги, следует отметить, что выявленные нами корреляционные связи между уровнем десинхронизации ЭЭГ и экологическими факторами могут служить доказательством как прямого, так и опосредованного их влияния на активацию коры.

Низкая дальность видимости, утреннее и полуденное время регистрации ассоциированы с активацией коры, а атмосферные условия пониженной облачности, повышение температуры атмосферного воздуха, возрастание солнечной активности, низкая скорость ветра и энергия космических лучей – с деактивацией коры. Влияние геомагнитной активности неоднозначно: ее усиление связано со снижением активности коры затылочных долей и повышением активности правой лобной доли.

Напряженность магнитного поля Солнца, индексы авроральной электроструи и возмущенности геомагнитного поля, относительная влажность воздуха, атмосферное давление не продемонстрировали корреляционно-регрессионных связей с уровнем активации коры головного мозга.

Настоящее исследование является пилотным, и статистически доказанные нами связи в полной мере являются справедливыми только для данного периода наблюдений и могут быть специфическими для данного возраста и пола испытуемых. Необходимо проведение дальнейших исследований на других половозрастных группах. Кроме того, представляется целесообразным оценить влияние факторов земной и космической погоды в ходе длительных психофизиологических и электрофизиологических исследований с целью верификации полученных данных и соблюдения единообразия условий эксперимента.

Литература

- Агаджанян Н.А., Власова И.Г., Ермакова Н.В., Торшин В.И.* Основы физиологии человека. М.: РУДН, 2005. 408 с.
- Блакидная П.А., Смышляев С.П., Атласкин Е.М., Шаарийбуу Г.* Модельное исследование влияния солнечной активности на газовый состав и тепловой режим атмосферы // Уч. зап. Рос. гос. гидрометеорол. ун-та. 2010. № 12. С. 25–36.
- Гудинова Ж.В., Акимова И.С.* Результаты исследования погодных условий на работоспособность школьников (на примере г. Омска) // Сиб. мед. журн. 2010. Т. 93, № 2. С. 100–102.
- Дикая Л.А.* Нейрофизиологические корреляты творческой деятельности при сочинении музыки у подростков // Новые исследования. 2010. Т. 1, № 22. С. 19–26.
- Каменева Е.Г., Софронов Г.А., Жирков А.М.* Роль погодных факторов в изменении психофизиологического состояния здорового человека и больного ИБС при воздействии Солнца // Мед. академ. журн. 2014. Т. 14, № 1. С. 66–73.
- Кануников И.Е., Белов Д.Р., Гетманенко О.В.* Влияние геомагнитной активности на электроэнцефалограмму человека // Экология человека. 2010. № 6. С. 6–11.
- Карпин В.А., Кострюкова Н.К.* Влияние слабых магнитных полей на высшую нервную деятельность // Сиб. мед. журн. 2004. Т. 46, № 5. С. 7–11.

- Конрадов А.А., Коломийцев О.П., Иванов-Холодный Г.С., Петров В.Г. Периодика в динамике авиационных катастроф и ее связь с солнечной активностью // Биологические эффекты солнечной активности: Материалы Междунар. семинара, г. Пущино, 2004. Пущино, 2004. С. 48–49.
- Леутин В.П., Николаева Е.И. Адаптационные стратегии и специфика функциональной асимметрии мозга // Психология образования в поликультурном пространстве. 2008. Т. 2, № 3/4. С. 12–22.
- Михайлов А.И., Шилов Г.В., Шалимов П.М. Мониторинг воздействия гелиофизических факторов на здоровье, безопасность и надежность профессионального функционирования человека в авионавтике и других системах экстремального риска // Биологические эффекты солнечной активности: Материалы Междунар. семинара, г. Пущино, 2004. Пущино, 2004. С. 36–37.
- Мухин В.Н., Яковлев Н.М., Клименко В.М. Связь вариабельности сердечного ритма с уровнем активации лобной коры // Рос. физиол. журн. им. И.М. Сеченова. 2011. Т. 97, № 11. С. 1281–1288.
- Павлов К.И., Каменская В.Г. Экологические основания успешности когнитивной деятельности студенток // Психология образования в поликультурном пространстве. 2013а. Т. 3, № 23. С. 65–75.
- Павлов К.И., Каменская В.Г. Влияние геокосмических и метеорологических факторов на психологические и психофизиологические характеристики перцептивно-моторных реакций и распознавания символов у девушек с разным уровнем ювенильности // Сознание и физическая реальность. 2013б. Т. 18, № 5. С. 21–29.
- Павлов К.И., Каменская В.Г. Воздействие экологических факторов на спектральные характеристики динамической функциональной асимметрии мозга человека // Психология образования в поликультурном пространстве. 2014. Т. 3, № 27. С. 40–51.
- Побаченко С.В. Сопряженность флуктуации параметров фоновых УНЧ–КНЧ электромагнитных полей с характеристиками мозгового электрогенеза человека при различных гелиофизических условиях // Вестн. Том. гос. ун-та. 2007. № 297. С. 165–167.
- Смышляев С.П., Галин В.Я., Зименко П.А., Кудрявцев А.П. Моделирование влияния изменений спектральных потоков солнечной радиации, вызванных солнечной активностью, на содержание атмосферного озона // Метеорология и гидрология. 2005. № 8. С. 25–37.
- Соловьев В.С., Елифанов А.В., Соловьева С.В., Бакиева Э.М., Трусевич Н.В., Церцек Т.Н. Экологические факторы риска адаптации человека к природным условиям Среднего Приобья // Вестн. Тюмен. гос. ун-та. 2014. № 12. С. 121–128.
- Сороко С.И., Андреева С.С., Бекшаев С.С. Перестройки параметров электроэнцефалограммы у детей – жителей о. Новая Земля // Вестн. Северо-Вост. науч. центра ДВО РАН. 2009. № 2. С. 49–59.
- Фокина Ю.О., Павленко В.Б., Куличенко А.М. Вероятностные механизмы генерации электроэнцефалограммы // Уч. зап. Таврич. нац. ун-та им. В.И. Вернадского. 2007. Т. 20 (59), № 4. С. 96–108.
- Хаснулин В.И., Хаснулина А.В., Безпрозванная Е.А. Асимметрии функциональной активности полушарий мозга и обеспечение эффективной адаптации к геоэкологическим факторам высоких широт // Мир науки, культуры, образования. 2011. № 2. С. 308–311.
- Ходанович М.Ю., Кривова Н.А., Гуль Е.В., Зеленская А.Е., Бондарцева Н.С. Влияние долговременного снижения уровня геомагнитного поля на биоэлектрическую активность мозга лабораторных крыс // Вестн. Том. гос. ун-та. 2011. № 348. С. 155–160.
- Холманский А.С. Зависимость ресурса функциональной асимметрии мозга от внешних условий // Асимметрия. 2009. Т. 3, № 1. С. 51–62.

- Хорсева Н.И.* Возможность использования психофизиологических показателей для оценки влияния космофизических факторов // Геофизические процессы и биосфера. 2013. Т. 12, № 2. С. 34–56.
- Цыганков К.В., Григорьев П.Е.* Влияние гелиогеофизических факторов на латерализацию инсультов головного мозга // Асимметрия. 2009. Т. 3, № 4. С. 56–79.
- Чижевский А.Л.* Земное эхо солнечных бурь. М.: Мысль, 1976. 367с.
- Шеповальников В.Н., Сороко С.И.* Метеочувствительность человека. Бишкек: Илим, 1992. 247 с.
- Belov D.R., Kanunikov I.E., Kiselev B.V.* Dependence of human EEG spatial synchronization on the geomagnetic activity on the day of experiment // Ros. Fiziol. Zh. im. I.M. Sechenova. 1998. V. 84, N 8. P. 761–774.
- Doronin V.N., Parfentev V.A., Tleulin S.Z., Namvar R.A., Somsikov V.M., Drobzhev V.I., Chemeris A.V.* Effect of variations of the geomagnetic field and solar activity on human physiological indicators // Biofizika. 1998. V. 43, N 4. P. 647–653.
- Grigoruk S.D., Katyuchin V.N.* Climate and ecological factors of the risk of acute myocardial infarction in conditions of the Extreme North // Kardiologiya – Cardiology. 2004. № 3. P. 61–64.
- Karlov V.A., Selitskii G.V., Sorokina N.D.* The action of a magnetic field on the bioelectrical activity of the brain in healthy subjects and epilepsy patients // Zh. Nevrol. Psikiatr. im. S.S. Korsakova. 1996. V. 96, N 2. P. 54–58.
- Motta E., Goiba A., Bal A., Kazibutowska Z., Strzaia-Orzei M.* Seizure frequency and bioelectric brain activity in epileptic patients in stable and unstable atmospheric pressure and temperature in different seasons of the year: A preliminary report // Neurol. Neurochir. 2011. V. 45, N 6. P. 561–566.
- Mulligan B.P., Persinger M.A.* Experimental simulation of the effects of sudden increases in geomagnetic activity upon quantitative measures of human brain activity: Validation of correlational studies // Neurosci. Lett. 2012. V. 516, N 1. P. 54–56.
- Sargolini F., Fyhn M., Hafting T., McNaughton B.L., Witter M.P., Moser M.-B., Moser E.I.* Conjunctive representation of position, direction, and velocity in entorhinal cortex // Science. 2006. V. 312, N 5774. P. 758–762.
- Saroka K.S., Caswell J.M., Lapointe A., Persinger M.A.* Greater electroencephalographic coherence between left and right temporal lobe structures during increased geomagnetic activity // Neurosci. Lett. 2014. V. 560. P. 126–130.
- Vodolazhskaia M.G., Vodolazhskii G.I., Naimanova M.D., Roslyi I.M.* The influence of geophysical factors on the parameters of human electroencephalogram // Biofizika. 2010. V. 55, N 3. P. 544–551.
- Vodolazhskii G.I., Vodolazhskaia M.G.* Weather sensitivity of healthy organism // Aviakosm. Ekolog. Med. 2013. V. 47, N 2. P. 3–8.

Сведения об авторах

ПАВЛОВ Константин Иванович – кандидат психологических наук, старший научный сотрудник, Институт экспериментальной медицины, Физиологический отдел им. И.П. Павлова. 197376, г. Санкт-Петербург, ул. Акад. Павлова, д. 12. Тел.: +7 (960) 262-26-73. E-mail: youngexp@yandex.ru

PAVLOV Konstantin Ivanovich – Ph.D., senior scientific researcher, Pavlov Department of Physiology, Institute of Experimental Medicine. St.-Petersburg, Russia. Tel.: +7 (960) 262-26-73. E-mail: youngexp@yandex.ru

МУХИН Валерий Николаевич – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник, Институт экспериментальной медицины, Физиологический отдел им. И.П. Павлова. 197376, г. Санкт-Петербург, ул. Акад. Павлова, д. 12. Тел.: +7 (921) 362-08-45. E-mail: Valery.Mukhin@gmail.com

MUKHIN Valery Nicolaevich – M.D., Ph.D., senior scientific researcher, Pavlov Department of Physiology, Institute of Experimental Medicine. St.-Petersburg, Russia. Tel.: +7 (921) 362-08-45. E-mail: Valery.Mukhin@gmail.com

КАМЕНСКАЯ Валентина Георгиевна – доктор психологических наук, профессор, чл.-корр. РАО, Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина. 399770, Липецкая обл., г. Елец, ул. Коммунаров, д. 28. Тел.: +7 (911) 831-19-49. E-mail: kamenskaya-v@mail.ru

KAMENSKAYA Valentina Georgievna – Ph.D., professor, corresponding member, Bunin Yelets State University. Yelets, Lipetsk Distr., Russia. Tel.: +7 (911) 831-19-49. E-mail: kamenskaya-v@mail.ru

КЛИМЕНКО Виктор Матвеевич – доктор медицинских наук, профессор, почетный доктор ИЭМ, Физиологический отдел им. И.П. Павлова. 197376, г. Санкт-Петербург, ул. Акад. Павлова, д. 12. Тел.: +7 (952) 380-07-52. E-mail: klimenko_victor@mail.ru

KLIMENKO Victor Matveevich – M.D., Ph.D., professor, the head of division Pavlov Department of Physiology, Institute of Experimental Medicine. St.-Petersburg, Russia. Tel.: +7 (952) 380-07-52. E-mail: klimenko_victor@mail.ru

DEPENDENCE OF FEMALE CEREBRAL CORTEX ACTIVATION ON ECOLOGICAL FACTORS

K.I. Pavlov¹, V.N. Mukhin¹, V.G. Kamenskaya², V.M. Klimenko¹

¹ Institute of Experimental Medicine, Pavlov Department of Physiology, St.-Petersburg, Russia

² Bunin Yelets State University, Yelets, Russia

Abstract. The aim of our research is to study the relationship between the level of activation of the female cerebral cortex and meteorological and cosmophysical characteristics of terrestrial and space weather. The cortical activity was assessed by detecting of the level of EEG desynchronization. EEG was recorded in 10 females who were sitting at rest with their eyes closed. Four series of brain activity recording were performed from February to June of the same year (2013). We concluded that the time of registration in four points of six-month period have an effect on cortical activity. Rise in the air temperature, abatement of the wind velocity, and decrease in the energy of cosmic rays result in decrease of the cortical activity in the right occipital lobe.

Keywords: ecological factors, electroencephalogram (EEG), cortex activation.