

УДК 612.014.4(470+571-17)

ПЕРЕСТРОЙКИ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ У ДЕТЕЙ – ЖИТЕЛЕЙ о. НОВАЯ ЗЕМЛЯ

С. И. Сороко, С. С. Андреева, С. С. Бекшаев

*Межинститутская лаборатория сравнительных эколого-физиологических исследований
Института эволюционной физиологии и биохимии им. И. М. Сеченова РАН
и Международного научно-исследовательского центра «Арктика» ДВО РАН, г. Санкт-Петербург
E-mail: soroko@iephb.ru*

В рамках мониторинга здоровья детей школьного возраста, проживающих за Полярным кругом (о. Новая Земля), регистрировали ЭЭГ в 19 стандартных отведениях в состоянии спокойного бодрствования при открытых (ГО) и закрытых глазах (ГЗ). В работе представлен сравнительный анализ абсолютной спектральной мощности ЭЭГ бета-, альфа-, тета- и дельта-ритмов и структуры паттерна ЭЭГ в период полярной ночи и полярного дня по возрастным группам (младшая – 7–12 лет, старшая – 13–17 лет). Показано, что как у младшей, так и у старшей возрастной группы спектральная мощность бета-, альфа- и тета-ритмов в период полярной ночи превышает таковые в период полярного дня практически по всем отведениям ЭЭГ. Показано, что во время полярной ночи сглаживаются различия между состоянием покоя с открытыми и закрытыми глазами по мощности ЭЭГ. В период полярного дня лучшее разделение ЭЭГ указанных состояний достигается по спектральной мощности тета-диапазона, особенно у детей младшей возрастной группы. Обнаружены характерные перестройки структуры паттерна ЭЭГ. Выявленные локальные и пространственные перестройки частотного спектра ЭЭГ и временной последовательности волновых компонентов паттернов ЭЭГ рассматриваются как изменение корково-подкорковых отношений в ответ на воздействие природных и социальных факторов среды и как адаптивные механизмы, направленные на поддержание жизнедеятельности и работоспособности организма ребенка в суровых условиях.

Ключевые слова: дети, адаптация, перестройки ЭЭГ, Заполярье, полярная ночь, полярный день.

ВВЕДЕНИЕ

Солнечная радиация и суточная периодика смены дня и ночи являются одними из важнейших экологических факторов, лежащих в основе возникновения жизни на Земле, эволюции функций и формирования биологических ритмов, организующих сопряженную и координированную деятельность всех органов и систем организма, регуляцию суточной активности биохимических и иммунологических процессов, работу гормональной системы, анализаторную и интегративную деятельность головного мозга. Рассогласованность биоритмов организма (десинхроноз) при дезадаптационных расстройствах или заболеваниях ведет к серьезным нарушениям здоровья. Нарушение светопериодики неизбежно сказывается не только на общем самочувствии человека, физической и умственной работоспособности, но и на способности организма адапти-

роваться к постоянно меняющимся условиям внешней среды.

Известно, что наибольшие нарушения привычной светопериодики отмечаются в полярных районах Земли. В литературе имеются данные об изменении состояния физиологических систем у полярников арктических и антарктических экспедиций, у моряков ледокольного флота и сотрудников полярных метеорологических станций (Сороко, 1984; Шеповальников, Сороко, 1992). Так, исследования, выполненные во время годичной зимовки в Антарктиде на станциях «Беллинсгаузен» и «Молодежная», показали, что наибольшие перестройки анализаторных и регулирующих функций мозга, находящихся свое отражение в изменении амплитудно-частотных и временных параметров электроэнцефалограммы (ЭЭГ), возникают у зимовщиков в полярную ночь (Бундзен, 1969; Сороко, 1984).

Поселок Белушья Губа с довольно развитой инфраструктурой (теплые дома, магазин, клуб,

почта, средняя школа, госпиталь и др.), в котором проводились наши исследования, расположен на побережье залива в юго-западной части южного острова Новая Земля. Архипелаг Новая Земля объединяет группу островов, лежащих в Северном Ледовитом океане между 77° и 70° 30' с. ш. и 31° 30' и 69° в. д. Ландшафт о. Новая Земля включает в себя полярную, тундровую и таежную зоны. На одну четверть Новая Земля покрыта ледником. Климат о. Новая Земля довольно суров: постоянная пасмурная погода, частые и значительные атмосферные осадки, туманы и постоянные сильные ветры, сопровождающиеся метелями. Количество дней, когда скорость ветра больше 10 м/с, достигает 162; среднегодовая сила ветра – 9 м/с. Среднегодовая температура воздуха отрицательна, зима длительная и суровая, лето короткое холодное, светопериодика специфична (полярный день и полярная ночь), колебания атмосферного давления резкие. Этот регион наименее защищен от проникновения космических лучей, характеризуется повышенным электромагнитным излучением с частыми магнитными бурями. Одной из особенностей синоптических процессов в районе пос. Белушья Губа является значительная циклоническая активность, достигающая максимума в зимние месяцы, когда через южный остров Новой Земли проходит от 8 до 10 циклонов ежемесячно, в остальное время года количество циклонов несколько меньше – 5–7 в месяц. Экстремальность среды усугубляется своеобразным световым режимом. В течение двух из четырех периодов года солнце постоянно находится либо над горизонтом (полярный день), либо под горизонтом (полярная ночь). Солнце полностью не появляется с 17 ноября по 26 января, но уже за 1,5 мес до полярной ночи и столько же после нее солнце низко стоит над горизонтом. Если к этому добавить частые снегопады зимой и пасмурную погоду летом, то станет очевидным, что в условиях Заполярья большую часть года человек остро испытывает недостаточность естественной освещенности.

Наиболее чувствительными к факторам влияния внешней среды в условиях Севера являются дети, организм которых претерпевает существенные возрастные морфофункциональные изменения (Раппопорт, 1979; Сороко и др., 2006). К сожалению, в научной литературе отсутствуют сведения о характере перестроек биоэлектрической активности головного мозга у детей, проживающих за Полярным кругом. По понятным причинам на островах Северного Ледовитого океана проживает небольшое количество людей, тем более детей. Поэтому основной целью нашей работы явилось изучение особенностей ЭЭГ у детей и подростков, проживающих в пос. Белушья Губа на о. Новая Земля.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

ЭЭГ регистрировали на компьютерном электроэнцефалографе «Телепат 104Б» в 19 отведениях согласно международной схеме 10–20. Регистрация проводилась монополярно в полосе пропускания 0–30 Гц, при подавлении частот ниже 0,53 Гц (постоянная времени 0,3). В качестве референтного отведения выбирался объединенный ушной электрод.

Регистрация ЭЭГ осуществлялась в состоянии спокойного бодрствования при закрытых (ГЗ) (3 мин) и открытых глазах (ГО) (3 мин). Были получены записи ЭЭГ у детей школьного возраста (7–17 лет) в период полярной ночи зимой (от середины ноября до конца декабря) – 22 чел. и полярного дня весной (от конца марта до конца апреля) – 21 чел. К младшей возрастной группе относили школьников в возрасте от 7 до 12 лет, к старшей – от 13 до 17 лет.

В каждой записи ЭЭГ тщательно отбирались безартефактные отрезки длительностью 30 с и по ним, в каждом отведении, оценивались абсолютные спектральные мощности в следующих диапазонах частот: **д** (1,5–4 Гц), **и** (4–7 Гц), **б** (7–13 Гц), **в** (13–30 Гц). Оценку спектров мощности проводили с помощью пакета WinEEG (версия 2.75) – программного обеспечения электроэнцефалографа. Для каждого отведения ЭЭГ получали усредненные по каждому состоянию (ГО, ГЗ), в каждом сезоне (ночь, день), возрастной группе (младшая, старшая), по каждому частотному диапазону (**в**, **б**, **и**, **д**) спектры мощности. Полученные таким образом данные, для каждого отведения ЭЭГ (общим числом 19), подвергали анализу при помощи дисперсионного анализа ANOVA с повторениями (Repeated measures ANOVA) с четырьмя факторами: 1 – с фактором состояния, имеющим два уровня (ГЗ, ГО); 2 – с фактором сезона, имеющим два уровня (ночь, день); 3 – с фактором частотного диапазона ЭЭГ, имеющим четыре уровня (**в**, **б**, **и**, **д**); 4 – с фактором возрастной группы, имеющим два уровня (младшая – 7–12 лет, старшая – 13–17 лет). В младшей возрастной группе количество школьников в полярную ночь составило 16, в полярный день – 11; в старшей возрастной группе – соответственно 6 и 10 школьников. Цель этого анализа – выявление достоверных влияний указанных факторов и их сочетаний (взаимодействий, в терминологии дисперсионного анализа) на значение абсолютной спектральной мощности. Для обнаруживаемых достоверно влияющих факторов и (или) взаимодействий можно корректно применить пост-анализ (post hoc analysis ANOVA) или воспользоваться стандартными критериями сравнения для определения достоверности различия средних (t-критерий Стьюдента). Для описания структуры распределения различных

ритмов ЭЭГ по отведениям применяли факторный анализ (метод главных компонент), в котором в качестве переменных выбирались 19 отведений ЭЭГ, а в качестве измеряемой величины – спектральная мощность в том или ином диапазоне частот. Применялись как параметрические, так и непараметрические методы сравнений. Статистическая обработка осуществлялась с помощью пакета Statistica 6.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Общая оценка влияния указанных факторов и их сочетанного воздействия на спектральную мощность ЭЭГ представлена в таблице. Последний столбец таблицы (p) является вероятностью отклонения гипотезы о влиянии фактора, указанного в первом столбце таблицы (эффекты факторов), где звездочкой помечены факторы высокодостоверного влияния. Из первой строки таблицы видно, что общая совокупность выбранных нами факторов оказывает достоверное влияние на спектральную мощность ритмов ЭЭГ и, следовательно, эта совокупность хорошо описывает экспериментальные данные. Из таблицы также ясно, что каждый фактор, взятый по отдельности, оказывает значимое влияние на спектр ЭЭГ. Более того, отмечается достоверное влияние взаимодействия фактора «ритм» с остальными факторами. Это означает, что некоторые ритмы различно выражены по возрастным группам, при открытых и закрытых глазах и в период полярной ночи и полярного дня. Поэтому имеет смысл подробно рассмотреть те факторы и взаимодействия, которые по результатам дисперсионного анализа оказывают значимое влияние на изменение спектральной мощности ритмов ЭЭГ. Для определения достоверности различия в соответствии с методикой применим к ним *post hoc analysis*.

В период полярной ночи происходит резкое уменьшение нагрузки на зрительную систему, так же как в полярный день – резкое ее увеличение. В свою очередь, переход от состояния с закрытыми глазами к состоянию с открытыми глазами также приводит к увеличению интенсивности зрительной афферентации. Характер ЭЭГ должен следовать этим изменениям и отражать готовность головного мозга к переработке информации вследствие изменившейся ситуации. При этом очевид-

Тест значимости влияния факторов на спектр мощности ЭЭГ по результатам дисперсионного анализа (ANOVA)

Tested factor significance for the EEG spectrum power, according to the dispersion analysis data (ANOVA)

Эффекты факторов	Значение критерия Фишера	Кол-во степеней свободы	Кол-во степеней свободы для ошибки средней	Значимость
Общий*	64,65	19	294,0	0,000
Ритм (β , α , θ , δ)*	11,15	57	877,4	0,000
Состояние (ГО ГЗ)*	3,75	19	294,0	0,000
Сезон (день ночь)*	2,54	19	294,0	0,001
Возр. гр. (младш. старш.)*	6,82	19	294,0	0,000
Ритм_состояние*	1,94	57	877,4	0,000
Ритм_сезон*	1,59	57	877,4	0,004
Ритм_возр. гр.*	1,80	57	877,4	0,000
Сезон_возр. гр.*	2,16	19	294,0	0,004
Состояние_возр. гр.	1,19	19	294,0	0,262
Состояние_сезон	0,77	19	294,0	0,737
Ритм_состояние_сезон	0,60	57	877,4	0,991
Ритм_состояние_возр. гр.	0,55	57	877,4	0,997
Ритм_сезон_возр. гр.	0,92	57	877,4	0,639
Состояние_сезон_возр. гр.	0,58	19	294,0	0,920
Ритм_состояние_сезон_возр. гр.	0,38	57	877,4	1,000

но, что изменения ЭЭГ при открывании глаз должны зависеть от текущего уровня активации функциональных систем мозга. Если на открывание глаз нет значимых изменений ЭЭГ, то можно констатировать, что функциональное состояние центральной нервной системы (ЦНС) понижено. Проба на открывание и закрывание глаз использовалась в свое время для оценки степени реактивности, уровня возбудимости и степени активации мозга (Сергеев и др., 1968). Одним из признаков активации мозга считается уменьшение альфа-активности с одновременным увеличением высокочастотных компонент ЭЭГ (Данилова, 2003). Поэтому особую важность для нашего контингента приобретает сравнение ЭЭГ в состояниях ГЗ и ГО, рассматриваемых нами как дополнительная нагрузка в условиях Заполярья. Мы провели сравнение спектров мощности ЭЭГ при закрытых и открытых глазах в состоянии покоя, в первую очередь ритмов центральных частотных диапазонов.

Оказалось, что у детей *младшей возрастной группы* в период *полярной ночи* мощность *альфа-ритма* в состоянии ГЗ выше (кривая, помеченная темными квадратами), чем в состоянии ГО во всех отведениях ЭЭГ (рис. 1, а). При этом достоверный уровень различий не распространяется на лобные отведения и правое передневисочное отведение Т4 (пиктограмма на рис. 1, а).

У этой же возрастной группы в период *полярного дня*, как и полярной ночи, мощность альфа-ритма в состоянии ГЗ также выше, чем в состоя-

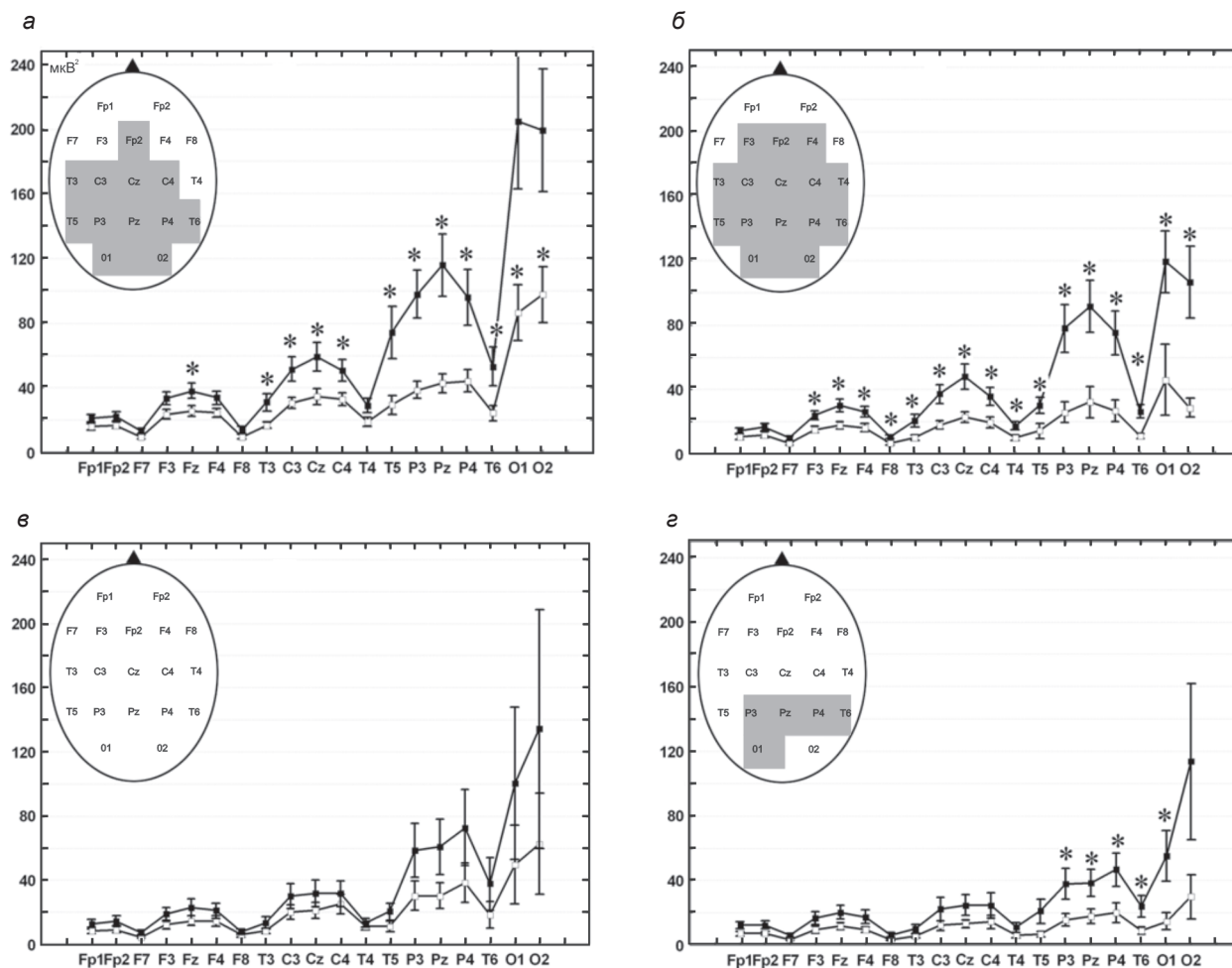


Рис. 1. Спектральная мощность альфа-ритма при открытых и закрытых глазах в период полярной ночи и полярного дня, усредненная по различным возрастным группам школьников: а, б – соответственно полярная ночь и полярный день, младшая возрастная группа; в, г – соответственно полярная ночь и полярный день, старшая возрастная группа.

На графиках: по оси абсцисс – отведения ЭЭГ, по оси ординат – усредненная по соответствующей возрастной группе абсолютная спектральная мощность в мкВ^2 .

Линиям с темными квадратами соответствуют состояния ГЗ, со светлыми – ГО. Значимые различия ($p < 0,05$) отмечены звездочками. На пиктограммах затемненными областями соответствуют отведения ЭЭГ, в которых отмечается значимое ($p < 0,05$) различие абсолютных спектральных мощностей между ЭЭГ, зарегистрированными в состоянии ГО и ГЗ

Fig. 1. The alpha-rhythm spectrum power averaged for different age groups of schoolchildren, the OE and CE conditions, for the polar night and polar day seasons: а, б – polar night and polar day, correspondingly, the junior group; в, г – polar night and polar day, correspondingly, the senior group.

The X-axis is the EEG leads, the Y-axis is the age-averaged absolute spectrum power, mкВ^2 . The CE and OE state is shown respectively by dark and light square lines. Significant difference ($p < 0.05$) is shown by asterisk. Darkened areas in pictograms are for the EEG leads with significant difference ($p < 0.05$) in absolute spectral power values of EEG in OE and CE conditions

нии ГО по всем отведениям, но достоверные различия распространяются на более обширные области конвекситальной поверхности мозга и затрагивают уже и лобные отведения, как это видно по пиктограмме на рис. 1, б.

У детей *старшей возрастной группы* (рис. 1, в, г) в период *полярной ночи* (рис. 1, в) мощность альфа-ритма в состоянии ГЗ выше, чем в состоянии ГО, по всем отведениям, но значимого уровня различия не отмечается ни в одном отведении

(пиктограмма на рис. 1, в). В этой возрастной группе в период *полярного дня* (рис. 1, г) мощность альфа-ритма в состоянии ГЗ выше, чем в состоянии ГО, по всем отведениям, как и в период полярной ночи, но уже отмечается достоверный уровень различий в парietальных отведениях, левом затылочном (O1) и правом задневисочном отведении (T6).

Таким образом, хотя в младшей возрастной группе в период полярного дня как уровень, так и

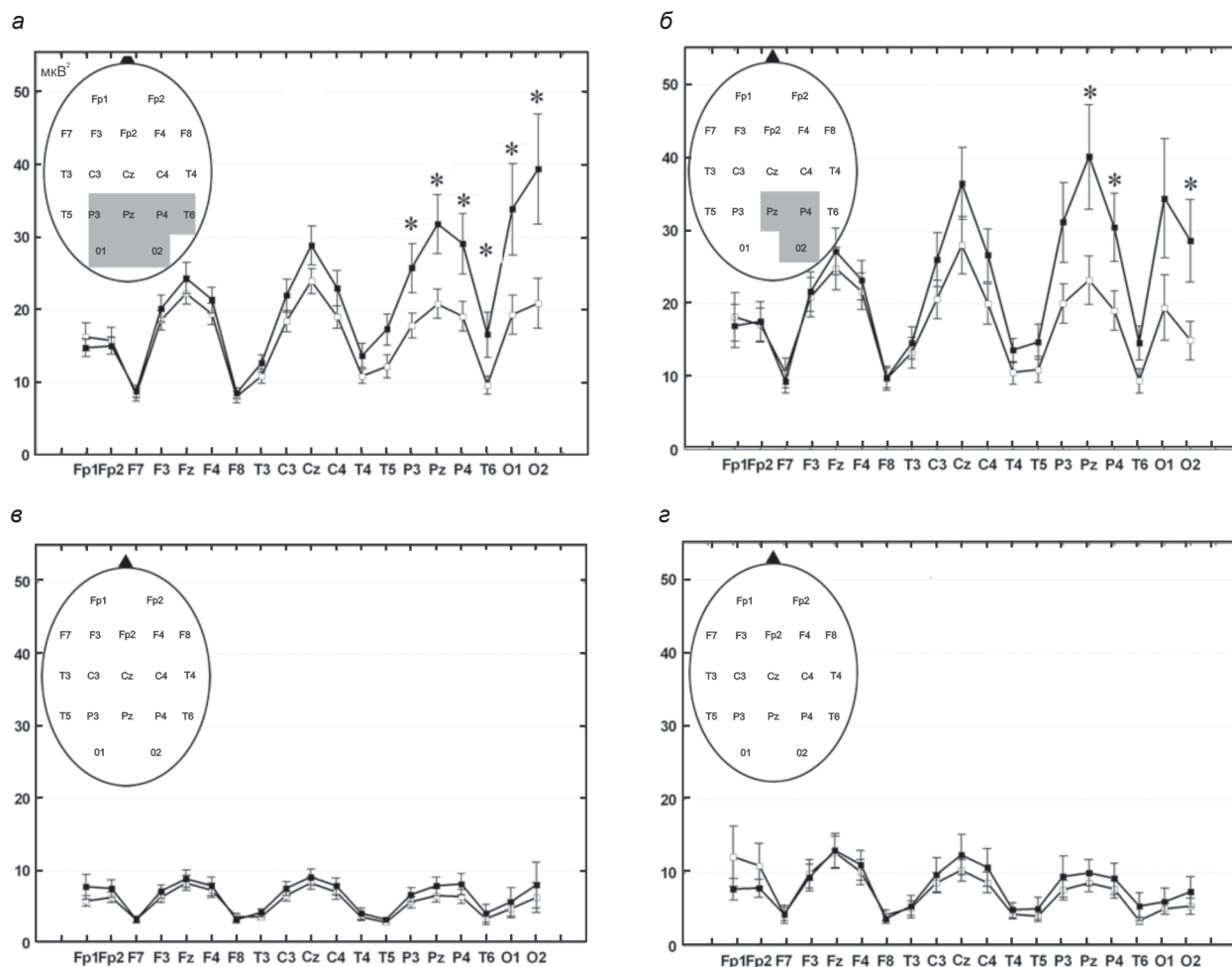


Рис. 2. Спектральная мощность тета-ритма при открытых и закрытых глазах в период полярной ночи и полярного дня, усредненная по различным возрастным группам школьников (обозн., как на рис. 1)

Fig. 2. The theta-rhythm spectrum power averaged for different age groups of schoolchildren, the OE and CE conditions, for the polar night and polar day seasons. Legend the same as for Fig. 1

реакция альфа-ритма на открывание глаз меньше по величине спектра, значимые изменения распространяются на более обширные территории коры мозга. В то же время для старшей возрастной группы такой эффект имеет локальный характер и затрагивает только затылочные и париетальные области. Можно утверждать, что в период полярного дня альфа-ритм у младшей возрастной группы более реактивен, чем у старшей.

Возрастные особенности формирования регуляторных систем головного мозга в сочетании с давлением факторов внешней среды, а именно либо постоянно присутствующий нециклический пониженный уровень зрительной афферентации (в период полярной ночи), либо постоянно присутствующий нециклический повышенный уровень нагрузки на зрительный анализатор (в период полярного дня), приводят к дисбалансу между активностью неспецифической активирующей ретикулярной формации ствола мозга и активнос-

тью фронто-таламической системы. В связи с этим представляет интерес сравнение данных об изменении мощности тета-ритма при увеличении зрительной нагрузки (ГО) и ее уменьшении (ГЗ).

В младшей возрастной группе спектральная мощность тета-ритма (рис. 2, а, б) в период полярной ночи (рис. 2, а) в состоянии ГЗ больше, чем в состоянии ГО, и достоверный уровень различий достигается в задневисочных, париетальных и затылочных отведениях (пиктограмма на рис. 2, а). В период полярного дня (рис. 2, б) достоверно отличаются спектры тета-ритма только для правых париетальных и затылочных отведений (пиктограмма на рис. 2, б). В полярный день реакция тета-ритма менее генерализирована, чем в полярную ночь.

В старшей возрастной группе тета-ритм на изменение зрительной афферентации более инертен (рис. 2, в, г). Ни в период полярной ночи, ни в период полярного дня не наблюдается достоверных отличий между мощностью тета-ритма в со-

стоянии ГЗ и ГО ни в одном из отведений ЭЭГ. Можно отметить только тенденцию к превышению мощности тета-ритма в состоянии ГЗ по сравнению с состоянием ГО.

Резкая смена количества зрительной афферентации, поступающей в мозг при переходе от полярной ночи к полярному дню, должна порождать изменение активности в первую очередь в лобных отделах, поскольку к ним приходят возбуждения внешнего и внутреннего происхождения. Лобная кора осуществляет афферентные посылки (преимущественно тормозного характера) на специфические структуры среднего мозга, таламуса и лимбической системы, принимая, в свою очередь, сигналы от неспецифической активирующей системы (Мэгул, 1965). Ослабление регулирующих влияний на лобные отделы со стороны неспецифических активирующих систем и (или) чрезмерное тормозное влияние лобных отделов, в силу их возрастной незрелости у младшей группы, может приводить к нарушению баланса между процессами торможения и возбуждения, что подтверждают данные, описанные для этой группы школьников.

Характерным свойством младшей возрастной группы являются более высокие значения абсолютной спектральной мощности ЭЭГ (рис. 3, а), чем в старшей (рис. 3, б), по всем отведениям и всем ритмам в период как полярной ночи, так и полярного дня.

Как видно на рис. 3, а, 1 и 3, б, 1, мощность бета-ритма в полярную ночь выше, чем в полярный день. Такое же отношение отмечается и для альфа-ритма (рис. 3, а, 2 и рис. 3, б, 2), наиболее проявляющегося в затылочных отведениях.

Для тета-ритма (рис. 3, а, 3 и рис. 3, б, 3) отмечаются обратные отношения: в период полярного дня его мощность несколько выше, чем в период полярной ночи, по всем отведениям ЭЭГ, кроме затылочных.

В области низких частот в париетальных и затылочных отведениях у младшей возрастной группы (рис. 3, а, 4) в полярную ночь мощность спектра выше, чем в полярный день. У старшей возрастной группы (рис. 3, б, 4) она выше в лобных и за-

тылочных отведениях в период полярной ночи. Это согласуется с результатами, полученными у полярников в Антарктиде (Бундзен, 1969; Сороко, 1984) и показывающими, что во время полярной ночи происходит сдвиг частотного спектра в медленноволновую область.

В целях выявления динамики в изменении структуры распределения ритмов ЭЭГ по отведениям в зависимости от сезона и различных возрастных групп был проведен факторный анализ данных. Для этого будем рассматривать значения спектральных мощностей в 19 отведениях ЭЭГ для состояний ГЗ и 19 для ГО. Таким образом, получим 38 переменных: Fp1ГЗ, Fp2ГЗ, ..., O1ГЗ, O2ГЗ, Fp1ГО, Fp2ГО, ..., O1ГО, O2ГО.

В период *полярной ночи* у младшей группы по альфа-ритму (рис. 4, а) отведения, соответствующие состояниям ГЗ и ГО, на факторной плоскости разделены на два множества, но в каждом множестве присутствуют переменные как ГО, так и ГЗ. Такая же картина отмечается в период полярной ночи и для старшей возрастной группы (рис. 4, в).

В период *полярного дня* эти состояния (ГО, ГЗ) на аналогичной факторной плоскости также перемешаны и визуально не разделяются (рис. 4, б) – младшая, (рис. 4, г) – старшая. Это дает основание утверждать, что функциональные состояния, соответствующие ГО и ГЗ, по альфа-ритму невозможно надежно различить ни в период полярной ночи, ни в период полярного дня.

Совершенно другая картина наблюдается в отношении тета-ритма. На рис. 5 видно, что в период *полярной ночи* как для младшей (рис. 5, а), так и для старшей возрастной группы (рис. 5, в) состояния, соответствующие ГО и ГЗ, перемешаны и ни по фактору 1, ни по фактору 2 визуально не разделяются.

В период же полярного дня как для младшей (рис. 5, б), так и для старшей возрастной группы (рис. 5, г) состояния, соответствующие ГО и ГЗ, образуют два отделенных друг от друга, изолированных непересекающихся множества, каждое из которых содержит только ГО и ГЗ. Эти экспериментальные результаты означают, что тета-ритм

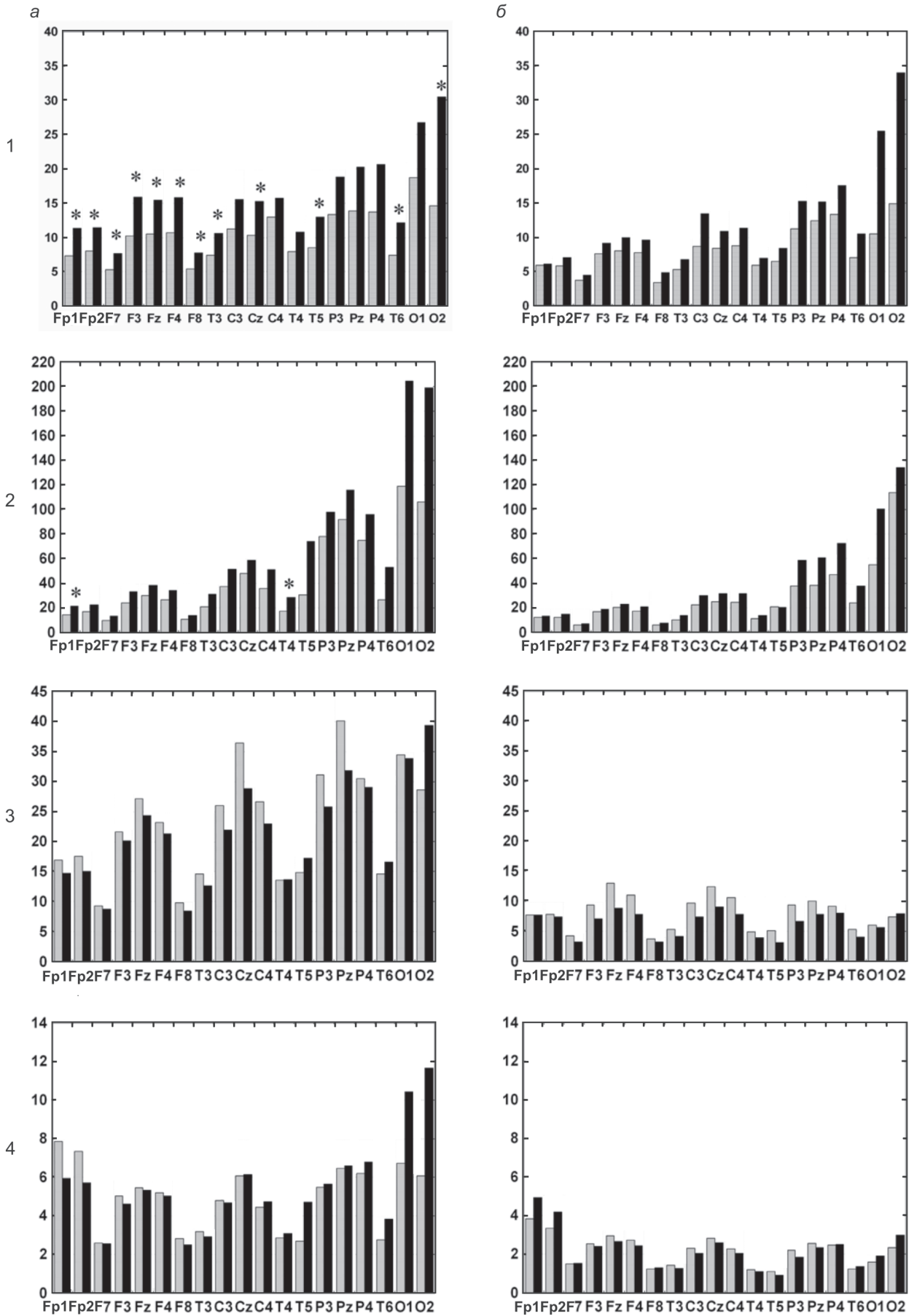
→
Рис. 3. Усредненные по возрастным группам абсолютные спектральные мощности ритмов ЭЭГ при закрытых глазах в период полярной ночи и полярного дня: а – младшая группа школьников; б – старшая. 1 – бета-ритм, 2 – альфа-ритм, 3 – тета-ритм, 4 – дельта-ритм.

На графиках: по оси абсцисс – отведения ЭЭГ, по оси ординат – абсолютные спектральные мощности ЭЭГ в мкВ². Черные столбики соответствуют полярной ночи, светлые – полярному дню.

Звездочками отмечены значимые различия ($p < 0,05$) между спектральными мощностями в период полярной ночи и полярного дня в соответствующих отведениях ЭЭГ

Fig. 3. The age-averaged absolute spectrum power of the EEG rhythms, the CE condition, for the polar night and polar day seasons: а – the junior group, б – the senior group; 1 – beta, 2 – alpha, 3 – theta, 4 – delta.

The X-axis is the EEG leads, the Y-axis is the EEG absolute spectrum power, мкВ². Black and light columns are the polar night and polar day periods, correspondingly. Significant difference ($p < 0.05$) in corresponding EEG spectrum power in polar night and polar day time is shown by asterisk



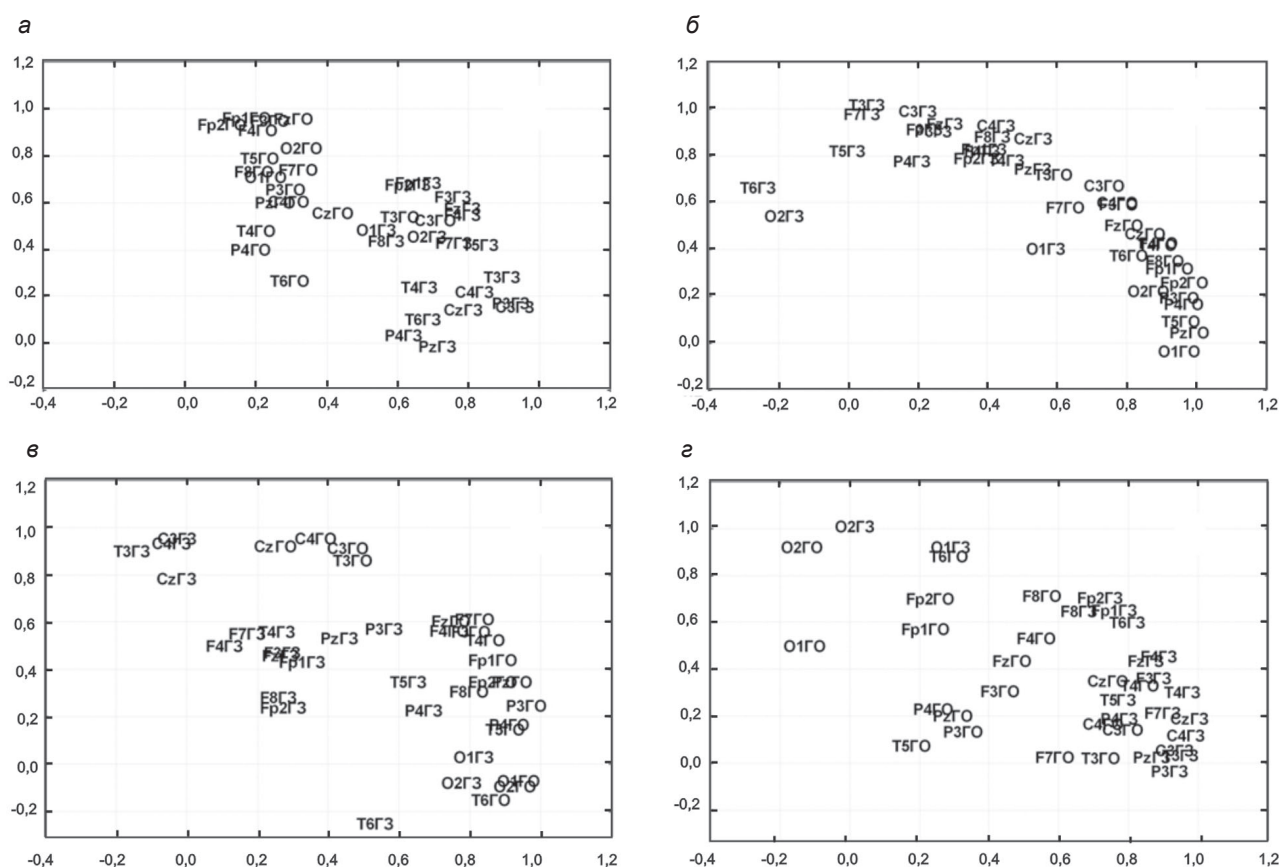


Рис. 4. Факторная структура состояний ГО и ГЗ по отведениям ЭЭГ в диапазоне частот альфа-ритма в период полярной ночи и полярного дня у школьников различных возрастных групп.

На графиках: по оси абсцисс – значение нагрузки фактора 1; по оси ординат – фактора 2.

Остальные обозначения те же, что и на рис. 1. Более подробные пояснения в тексте

Fig. 4. The OE and CE factor structure in alpha-rhythm frequency in different age groups in polar night and polar day seasons.

The X-axis is factor 1 load, the Y-axis is factor 2 load. The rest of the legend as for Fig. 1. For further details see the text

является индикатором функциональных состояний с различной степенью зрительной афферентации у детей и подростков, проживающих в Заполярье.

Некоторые исследователи (Бундзен, 1969; Данько, 2006; Ristanovic et al., 1999), основываясь на различиях спектральных характеристик ЭЭГ, предполагают, что состояние покоя при ГО соответствует функциональному состоянию, обеспечивающему готовность к обработке внешней информации (внешне ориентированному), а при ГЗ – к состоянию, обеспечивающему готовность к обработке внутренней информации (внутренне ориентированному). Если это действительно так, то можно предположить, что у детей, проживающих за Полярным кругом, в свете полученных нами данных, могут существовать периоды, в которые способность мозга к обработке как внешней, так и внутренней информации резко понижена.

Это подтверждается и результатами исследования скорости сенсомоторных реакций у данной популяции школьников. Было обнаружено, что в

полярную ночь скорость простой и сложной сенсомоторной реакции на свет замедляется, особенно при необходимости выбора и переключения внимания. Устойчивость и качество выполнения тестов снижаются. В полярную ночь вегетативный баланс сдвигается в сторону парасимпатических влияний.

Данные физиологических и клинических исследований показали, что наличие в ЭЭГ медленных волн не всегда является показателем торможения в коре головного мозга, а может быть отражением возбуждения, развивающегося на каком-то ином исходном уровне функционирования мозга (Бехтерева, 1974). В свете теоретических представлений о механизмах адаптивной саморегуляции функций, в том числе и внутрицентрального гомеостаза, на фоне которого осуществляется специфическая информационная деятельность мозга, считается, что адаптационный процесс завершается формированием новой пространственно-временной структуры колебательных процессов, меняя тем самым уровень деятельности, возбуди-

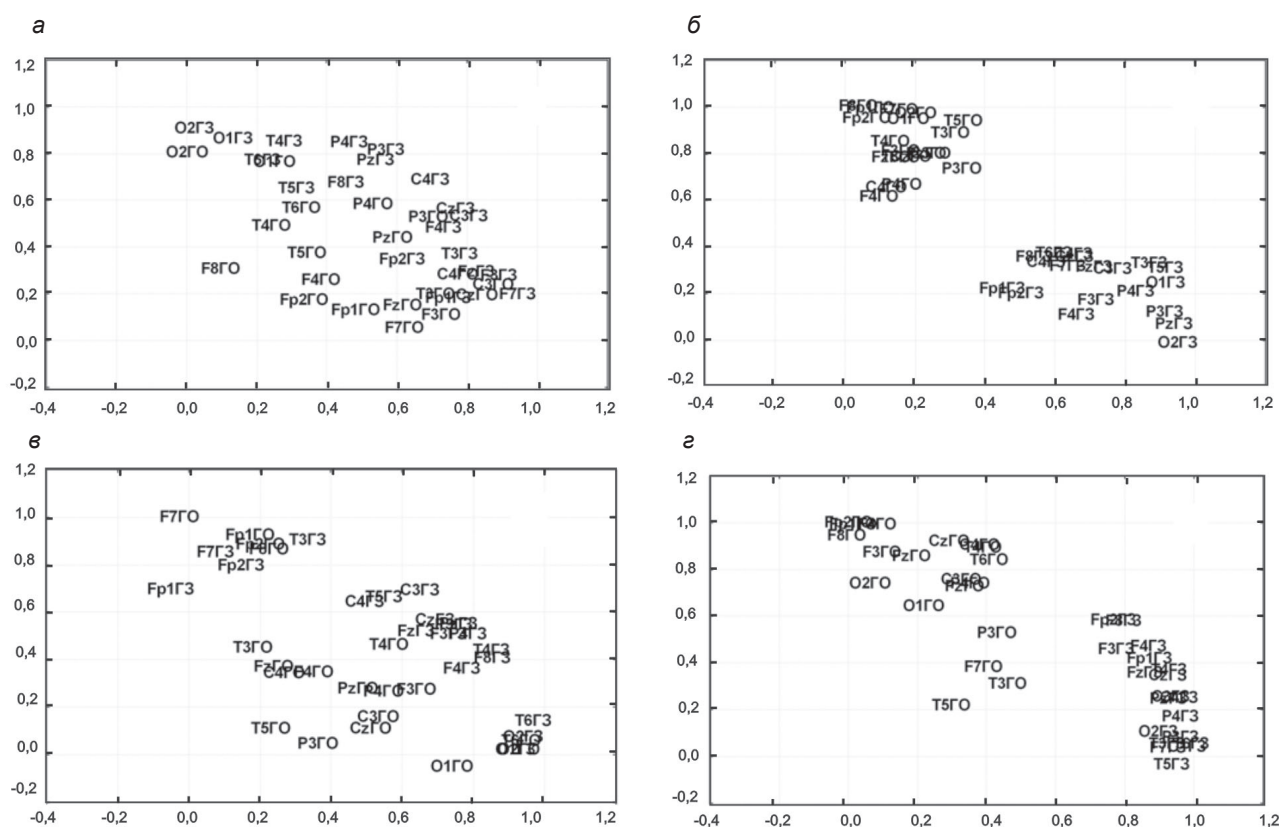


Рис. 5. Факторная структура состояний ГО и ГЗ по отведениям ЭЭГ в диапазоне частот тета-ритма в период полярной ночи и полярного дня у школьников различных возрастных групп (обозн., как на рис. 4)

Fig. 5. The OE and CE factor structure in theta-rhythm frequency in different age groups in polar night and polar day seasons. Legend the same as for Fig. 4

мость и другие характеристики ЦНС (Василевский, 1973).

В связи с этим большой интерес представляло не только изучение характера изменений частотного спектра ЭЭГ в полярный день и полярную ночь, но и анализ структуры временной организации паттерна ЭЭГ. С помощью оригинальной компьютерной программы мы провели статистическое исследование закономерностей переходов от одной волны ЭЭГ к другой (алгоритм временной последовательности отдельных волн ЭЭГ всех диапазонов частот).

Анализ показал (рис. 6), что в период полярного дня и полярной ночи формируется некий новый паттерн, отражающий перестройки межцентральных отношений. Хотя в период как полярного дня, так и полярной ночи функциональным ядром в организации паттерна ЭЭГ является альфа-ритм, однако величина вероятности взаимосвязи отдельных частот ритмики ЭЭГ меняется. Характерной особенностью структуры паттерна ЭЭГ в полярный день является наличие двух функциональных ядер в области альфа-ритма (в диапазоне 7,5–9,0 и 9,0–12,0 Гц), более выражены связи с бета-ритмом (см. рис. 6). В полярную ночь функциональное ядро альфа-ритма формируется толь-

ко в диапазоне преимущественно 9,0–12,0 Гц и доминирует во всех отведениях (см. рис. 6).

Согласно представлениям некоторых авторов, альфа-ритм является регулятором уровня кортикальной возбудимости (Gastaut, 1954), а его выраженность в ЭЭГ отражает силу тормозных процессов (Теплов, Небылицын, 1963). Существенный рост тета-индекса может свидетельствовать о снижении тормозного контроля со стороны коры на подкорковые образования, в связи с чем в механизмах саморегуляции мозга начинают преобладать гипоталамо-диенцефальные влияния. Следовательно, изменение характера взаимодействия основных ритмов ЭЭГ в полярную ночь свидетельствует о том, что поддержание оптимального уровня мозгового гомеостаза осуществляется в этот период при высокой напряженности тормозных процессов с последующей общей астенизацией организма.

Таким образом, сдвиг частотного спектра ЭЭГ в сторону медленноволнового диапазона у детей в полярную ночь отражает, с одной стороны, снижение общего уровня активации мозга вследствие сокращения афферентации со стороны зрительной системы (относительная сенсорная депривация) и вынужденной гиподинамии в этот период

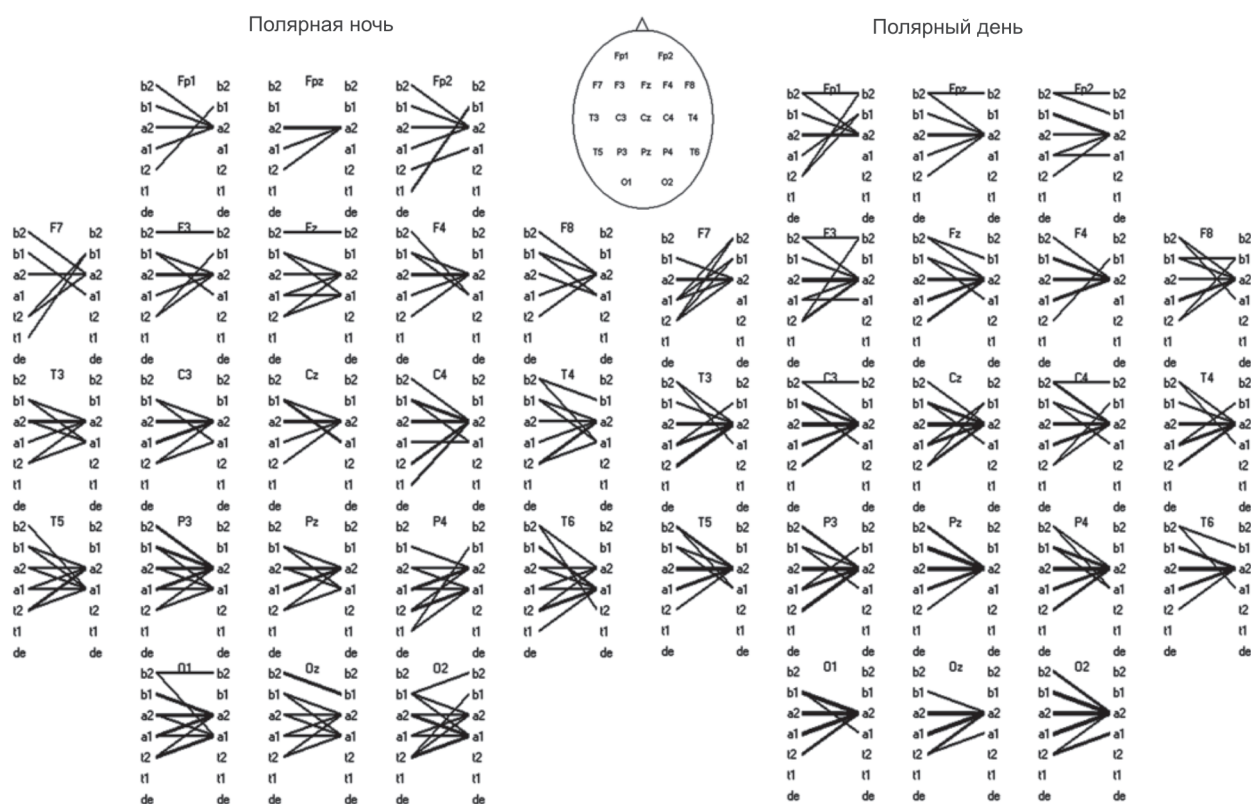


Рис. 6. Характер структуры взаимодействия ритмов ЭЭГ, зарегистрированной в периоды полярной ночи и полярного дня.

На пиктограмме в верхней части рисунка указана схема отведений ЭЭГ. Каждый граф в соответствующем отведении отображает вероятность перехода от одного ритма ЭЭГ к другому. Толщина линии пропорциональна вероятности перехода. Частотные диапазоны имеют следующие обозначения: b1 (30–17 Hz), b2 (17–12 Hz), a1 (12–9 Hz), a2 (9–7 Hz), t1 (7–5 Hz), t2 (5–3,5 Hz), de < 3,5 Hz

Fig. 6. The EEG rhythm relationship structure reported for the polar night and polar day seasons.

Schematized EEG leads are shown in the upper part of the pictogram. Each graph reflects the rhythm change probability proportional to the line thickness. Frequency ranges are as follows: b1 (30–17 Hz), b2 (17–12 Hz), a1 (12–9 Hz), a2 (9–7 Hz), t1 (7–5 Hz), t2 (5–3.5 Hz), de < 3.5 Hz

года вследствие суровых погодных условий, с другой – адаптационные перестройки механизмов саморегуляции мозга, направленные на формирование нового адаптивного состояния организма в целях поддержания его жизнедеятельности и работоспособности в суровых климатических и специфических социальных условиях.

Нельзя исключить и влияния нарастающего в полярную ночь общего утомления и понижения неспецифической резистентности организма, в которых существенную роль играют дефицит общей и ультрафиолетовой солнечной радиации, развитие авитаминозов и микроэлементозов.

ЛИТЕРАТУРА

Бехтерева Н. П. Нейрофизиологические аспекты психической деятельности человека. – Л.: Наука, 1974. – 215 с.

Бундзен П. В. Влияние светового режима Антарктического континента на состояние авторегуляционных функций головного мозга человека // Физиол. журн. СССР им. И. М. Сеченова. – 1969. – № 8. – С. 929–939.

Василевский Н. Н. Адаптивная саморегуляция функций и ее связь с динамическим управлением эндогенными биоритмами // Журн. эволюц. биохимии и физиологии. – 1973. – № 4. – С. 374–382.

Данько С. Г. Об отражении различных аспектов активности мозга в электроэнцефалограмме: что показывает количественная электроэнцефалография состояний покоя с открытыми и закрытыми глазами // Физиология человека. – 2006. – Т. 32, № 4. – С. 5–7.

Данилова Н. Н. Функциональные состояния. – СПб.: Питер, 2003. – 166 с.

Мэгун Г. (Magoun Н. W.) Бодрствующий мозг. – М.: Мир, 1965. – 210 с.

Раннопорт Ж. Ж. Адаптация ребенка на Севере. – Л.: Медицина, 1979. – 192 с.

Сергеев Г. А., Павлова Л. П., Романенко А. Ф. Статистические методы исследования электроэнцефалограммы человека. – Л.: Наука, 1968. – 208 с.

Сороко С. И. Нейрофизиологические механизмы индивидуальной адаптации человека в Антарктиде. – Л.: Наука, 1984. – 152 с.

Сороко С. И., Бурых Э. А., Бекшаев С. С. и др. Особенности формирования системной деятельности головного

мозга и вегетативных функций у детей в условиях Европейского Севера // Рос. физиол. журн. им. И. М. Сеченова. – 2006. – Т. 92, № 8. – С. 905–929.

Теплов Б. М., Небылицын В. Д. Экспериментальное изучение свойств нервной системы у человека // ЖВНД. – 1963. – № 5. – С. 789–812.

Шеповальников В. Н., Сороко С. И. Метеочувствительность человека. – Бишкек : Илим, 1992. – 248 с.

Gastaut Y. The Brain stem and cerebral electrogenesis in relation to consciousness // Brain mechanisms and consciousness. – Paris, 1954. – P. 249–261.

Ristanovic D., Martinovic Z. J., Jovanovic V. Topography of visual EEG reactivity in school-age children // Brain Dev. – 1999. – Vol. 21, No. 4. – P. 236–246.

Поступила в редакцию 08.12.2008 г.

THE EEG PARAMETERS CHANGES IN CHILDREN ON NOVAYA ZEMLYA ISLAND

S. I. Soroko, S. S. Andreeva, S. S. Bekshaev

Under the Arctic schoolchildren health care program (Novaya Zemlya Island), the EEG parameters were registered for 19 standard leads in children at a non-sleep rest state with open and closed eyes, OE and CE, respectively. This is a comparison of the absolute spectrum power of the EEG beta-, alpha-, theta- and delta-rhythms and the EEG pattern structure for different ages in the junior (7–12 years) and senior (13–17 years) groups for the polar night and polar day seasons. As it is established, both the junior and senior ages have a spectrum power of their beta-, alpha- and theta-rhythms greater in polar night than in polar day time, actually for all EEG leads. During polar night, the OE and CE difference in the EEG power is lessening. During polar day, the OE and CE EEG difference is best expressed in the junior group in terms of the theta-rhythm spectrum power. Specific changes in the EEG pattern structure are reported. Both site-specific and spatial changes in the EEG frequency and wave sequence are identified as changes in cortex-subcortex relationship due to environmental and social impacts, and are considered to be an adaptation mechanism aimed at maintaining the life and work activity in children in the arctic conditions.

Key words: children, adaptation, EEG changes, polar areas, polar night, polar day.