МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 612.821+612.014+612.43

S.I. Soroko, V.P. Rozhkov, Z.V. Nagornova, N.V. Shemyakina

EARLY DIAGNOSTICS OF DEVIATIONS IN PSYCHONEUROLOGICAL DEVELOPMENT OF CHILDREN LIVING IN ARCTIC CONDITIONS

*The research is performed in accordance with the government assignment of the Sechenov
Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry of Russian Academy of Sciences
(Reg. № AAAA-F18-118012290142-9)*

Svyatoslav Soroko – Head of the Laboratory of Comparative Ecological and Physiological Studies, Sechenov Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry, Russian Academy of Sciences, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, full member of the Russian Academy of Natural Sciences, recipient of the State Prize of the USSR, Doctor of Medicine, professor, St. Petersburg; **e-mail:** soroko@iephb.ru.

Vladimir Rozhkov – leading researcher, the Laboratory of Comparative Ecological and Physiological Studies, Sechenov Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry, Russian Academy of Sciences, PhD in Biology, St. Petersburg; **e-mail:** vrozhkov@mail.ru.

Zhanna Nagornova – researcher, the Laboratory of Comparative Ecological and Physiological Studies, Sechenov Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry, Russian Academy of Sciences, PhD in Biology, St. Petersburg; **e-mail:** St. Petersburg; **e-mail:** nagornova_zh@mail.ru.

Natalia Shemyakina – senior researcher, the Laboratory of Comparative Ecological and Physiological Studies, Sechenov Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry, Russian Academy of Sciences, PhD in Biology, St. Petersburg; **e-mail:** shemyakina_n@mail.ru.

The article is devoted to finding approaches to the diagnostics of psycho-physiological level of development and early detection of functional and pathological changes in the central nervous system development in children and adolescents living in polar and subpolar zones of Russia. The new data concerning the impact of harsh Arctic conditions on the formation of brain electrogensis and its performance, the development of mental processes, features of adaptive alterations and disadaptive disorders in children and adolescents. An innovative method of assessing the algorithms of age-related maturation of electrogensis of cortical and subcortical structures and their interaction has been developed to control the level of integrative and cognitive-mental brain activity in healthy children and adolescents, and to detect possible deviations in their development. Priority data concerning cognitive and mnestic processes in children of different ages living in the north demonstrating normal development and psychoneurological pathology was obtained.

The practical significance of the results consists in the possibility of using them for improving screening checks of children and early diagnostics of latent deviations in developmental age.

Keywords: Arctic; children; diagnostics of developmental age; EEG; brain hemodynamics; cognitive functions.

С.И. Сороко, В.П. Рожков, Ж.В. Нагорнова, Н.В. Шемякина

РАННЯЯ ДИАГНОСТИКА ОТКЛОНЕНИЙ В ПСИХОНЕВРОЛОГИЧЕСКОМ РАЗВИТИИ ДЕТЕЙ, ПРОЖИВАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ

Работа выполнена в рамках госзадания ИЭФБ РАН

(рег. № АААА-Ф18-118012290142-9)

Святослав Иосифович Сороко – заведующий лабораторией Сравнительных эколого-физиологических исследований Института эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова Российской академии наук, член-корреспондент РАН, действительный член РАЕН, лауреат Государственной премии СССР, доктор медицинских наук, профессор, г. Санкт-Петербург; **e-mail: soroko@iephb.ru**.

Владимир Павлович Рожков – ведущий научный сотрудник лаборатории Сравнительных эколого-физиологических исследований Института эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова Российской академии наук, кандидат биологических наук, г. Санкт-Петербург; **e-mail: vlrozhkov@mail.ru**.

Жанна Владимировна Нагорнова – научный сотрудник лаборатории Сравнительных эколого-физиологических исследований Института эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова Российской академии наук, кандидат биологических наук, г. Санкт-Петербург; **e-mail: nagornova_zh@mail.ru**.

Наталья Вячеславовна Шемякина – старший научный сотрудник лаборатории Сравнительных эколого-физиологических исследований Института эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова Российской академии наук, кандидат биологических наук, г. Санкт-Петербург; **e-mail: shemyakina_n@mail.ru**.

Статья посвящена разработке подходов к диагностике уровня психофизиологического развития и раннему выявлению функциональных и патологических отклонений у детей и подростков, проживающих в заполярной и приполярной зоне РФ. Получены новые данные о влиянии суровых условий Арктики на формирование электрогенеза мозга и его системную деятельность, развитие психических процессов, особенности адаптационных перестроек и дезадаптационных нарушений у детей и подростков. Разработан инновационный метод оценки алгоритмов возрастного формирования электрогенеза корковых и подкорковых структур и их взаимодействий, позволяющий контролировать уровень развития интегративной и когнитивно-мнестической деятельности мозга у здоровых детей и подростков, и своевременно выявлять возможные отклонения в развитии. Получены приоритетные данные о состоянии когнитивных и мнестических процессов у детей-северян разного возраста в норме и при психоневрологической патологии.

Практическая значимость результатов состоит в возможности их использования для совершенствования скрининговых обследований детского населения и ранней диагностики скрытых отклонений в возрастном развитии.

Ключевые слова: Арктика; дети; мозг; диагностика возрастного развития; ЭЭГ; гемодинамика мозга; когнитивные функции.

Сложный комплекс климатогеографических, гелиогеофизических и биогеохимических факторов Арктики оказывает выраженное негативное воздействие на организм человека [5; 9; 14]. Социально-экономическое развитие региона как одно из важнейших направлений Правительственной программы развития Арктической зоны РФ [1] в этих условиях будет во многом определяться качеством жизни проживающего и привлекаемого сюда населения, состоянием его здоровья, уровнем работоспособности [14; 18].

Показано, что экстремальность природно-климатических факторов Арктики оказывает наибольшее влияние на возрастное развитие детей, обусловленное необходимостью приспособления программы онтогенетического развития к постоянно меняющимся условиям суровой внешней среды [5; 10; 16]. Центральная нервная система обеспечивает регулирующую и координирующую функцию, поддержание жизнедеятельности и перестройки физиологических функций организма при адаптации к новым условиям, состояние рабо-

тоспособности, психическую деятельность. Развитие мозга, начавшееся в пренатальный период, продолжается в детском и подростковом возрасте. Неблагоприятные факторы внешней среды (природные, техногенные, социальные) отрицательно сказываются на формировании необходимых алгоритмов работы мозга и могут привести к нежелательным отклонениям, вплоть до серьезных патологических нарушений. Важным показателем возрастного развития ЦНС у детей и подростков является формирование биоэлектрической активности мозга и организация внутрикоровых и корково-подкорковых отношений, обеспечивающих не только регуляцию витальных функций организма, его адаптацию к окружающей среде, но и психическую деятельность [12; 24]. Ранее нами было показано, что суровые условия Севера вызывают задержку темпов морфофункционального развития детей [14; 16]. Одной из нерешенных проблем в педиатрии является ранняя диагностика отклонений в развитии, позволяющая своевременно скорректировать нарушения и предотвратить их дальнейшее развитие и переход в стойкую неврологическую патологию и нарушения психики.

Цель данной работы состояла в разработке подходов к диагностике уровня психофизиологического развития, позволяющих на основе комплексной оценки алгоритмов возрастного формирования электрогенеза корковых и подкорковых структур и их взаимодействий контролировать динамику развития интегративной и когнитивно-мнестической деятельности мозга у здоровых детей и подростков, проживающих в условиях Арктики, а также обеспечивающих раннее выявление скрытых функциональных и патологических отклонений в развитии ЦНС, перестроек биоэлектрической активности, скрытых нарушений мозговой гемодинамики и расстройств когнитивно-мнестических функций у детей-северян с минимальными мозговыми дисфункциями.

Материалы и методы. С целью оценки влияния суровых условий Арктики на уровень развития детей и подрост-

ков и выявления, скрытых функциональных и патологических отклонений проведены медико-физиологические экспедиции в заполярную (Кольский полуостров, Мурманская обл.) и в приполярную зону (Архангельская обл.). С помощью современных медико-физиологических технологий (компьютерная ЭЭГ, регистрация вызванных слуховых и когнитивных потенциалов, краниодопплерография, кардиоритмография), психофизиологических и психологических методик проведено комплексное обследование 46 здоровых школьников, 64 учащихся коррекционной школы-интерната в возрасте от 7 до 17 лет и 52 детей в возрасте от 1 до 5 лет из областного Дома ребенка для детей с проблемами неврологического и психического развития. Все исследования проводили с соблюдением требований Хельсинкской декларации. Протокол исследований утвержден Комиссией по этике Ученого совета ИЭФБ РАН.

ЭЭГ регистрировали на электроэнцефалографе «Энцефалан-131-03» (НПКФ «Медиком» МТД, Россия) в 21 отведении по международной схеме «10-20». Использовали монополярное отведение с референтными электродами на мочках ушей. Запись ЭЭГ производилась в положении сидя в состоянии покоя при закрытых глазах. При компьютерном анализе ЭЭГ использован спектральный анализ, а также оригинальные методы изучения динамической структуры взаимодействия волновых компонентов ЭЭГ. Применяли цифровую фильтрацию, ограничивая ЭЭГ от 1,7 до 30 Гц, а также исключали фрагменты ЭЭГ, содержащие артефакты. Спектры мощности вычисляли на эпохах анализа 2 с. Анализировали параметры ЭЭГ в 5 частотных диапазонах: дельта (1,7 – 3,5 Гц), тета (3,5 – 7,0 Гц), альфа-1 (7,0 – 9,5 Гц), альфа-2 (9,5 – 12,5 Гц), бета (12,5 – 30,0 Гц).

Временную организацию волновой структуры ЭЭГ оценивали на основе анализа переходных вероятностей между волнами ЭЭГ различных диапазонов частот [15]. По матрице вероятностей переходов строили вероятностный ориентированный граф, вершинам которого соответ-

ствуют ритмы ЭЭГ, ребрам графа – вероятности переходов.

С помощью современной нейрофизиологической технологии проведены исследования связанных с событиями слуховых потенциалов (ССП). Регистрация SSP проводилась на электроэнцефалографе фирмы «Мицар» (Санкт-Петербург, Россия). Исследование восприятия и анализа звуковых стимулов проводилось в пассивной oddball парадигме и включало предъявление чередующихся в случайном порядке частого (1000 Гц) и редкого (2000 Гц), стимула при соотношении 90% частых и 10% редких стимулов, всего 500 стимулов. Звуки длительностью 50 мс и интенсивностью 65 дБ предъявляли бинаурально. Оценивали латентности и амплитуды SSP на частые и редкие стимулы [21].

Состояние мозгового кровообращения и его регуляторных механизмов изучали по данным доплерографии сосудов головного мозга с применением методов функциональной доплерографии для оценки регионарной цереброваскулярной реактивности [19], а также ротационных проб для обнаружения патологических изменений или функциональной нестабильности в шейном отделе позвоночника [11]. Доплерографическое исследование проведено на аппарате «Сономед 300/П» («Спектромед», Россия). Интракраниально датчиком 2 мГц исследовали среднечерепные, переднечерепные, заднечерепные артерии и основную артерию. Позвоночные артерии исследовали в сегменте V3 датчиком 4 мГц. По спектрам доплеровского сдвига частот определяли линейные скорости кровотока (ЛСК) и индекс резистивности.

Проведены психологические и психофизиологические исследования основных психических процессов (памяти, внимания, скорости мышления и др.). Изучение структуры интеллекта проводилось с помощью теста Wechsler intelligence scale for children (WISC), адаптированного для исследования русскоязычных детей. Использовали пять вербальных и пять невербальных субтестов. Для диагностики уровня развития невер-

бального наглядно-образного мышления детей применяли тест «Прогрессивные матрицы Дж. Равена», включающий 5 серий по 12 заданий нарастающей сложности. Для исследования активного внимания использовали корректурную пробу Бурдона, скорости мышления – тест быстроты мышления Рыбакова [7].

Статистическая обработка. С целью изучения возрастной динамики показателей каждый школьник был определен в одну из трех возрастных групп: младшую – от 7 до 11 лет, среднюю – от 11 до 14 лет, старшую – от 14 до 18 лет. Использовали двухфакторный дисперсионный анализ (ANOVA) с целью изучения влияния факторов «Пол» и «Возраст» на показатели мозгового кровотока и ЭЭГ. Для сравнения средних применяли t-критерий Стьюдента. Статистическую обработку данных производили при помощи пакета программ Statistica-10.

Результаты исследования и их обсуждение.

Изучение особенностей возрастного формирования электрогенеза головного мозга и алгоритмов внутрицентральных взаимодействий у детей и подростков, проживающих в арктической зоне РФ. Одним из объективных показателей морфофункционального созревания корковых и подкорковых нейронных структур является их биоэлектрическая активность [2; 22]. Проведенные исследования показали, что сложные природные условия существенно модулируют развертывание программы генетического развития ЦНС у детей-северян, вызывая специфические отклонения от общепринятой нормы для средних широт амплитудно-частотных и зональных параметров биоэлектрических процессов, основными из которых являются более выраженное неравномерное созревание отдельных зон коры больших полушарий головного мозга и наличие в частотном спектре большой доли медленных дельта- и тета-ритмов [2; 8; 24]. Исходя из установленных нормативов для оценки возрастного формирования параметров ЭЭГ [2; 22] обнаружено, что только у 30% детей-северян амплитудно-частотные параметры

ЭЭГ соответствуют норме, у 60% параметры соответствуют лёгкой задержке развития и у 10% – выраженной задержке развития [16]. Выявлена структура этих отклонений, которая свидетельствует не только о задержке темпов возрастного развития коры головного мозга, но и функциональной незрелости регуляторных влияний либо элементах дисфункции структур ствола или лимбической системы мозга [2; 12].

Для оценки возрастного становления системной деятельности мозга большое значение имеет не только оценка электрогенеза отдельных корковых и подкорковых структур, но и их объединение в единую информационно-управляющую нейрональную систему мозга с высокой функциональной пластичностью и способностью к оперативным динамическим перестройкам корково-подкорковых отношений. Именно характер межцентральных взаимодействий лежит в основе поддержания функционального состояния организма в покое, при деятельности, а также способности к адаптивным перестройкам при воздействии внешних факторов. Для оценки характера этих взаимодействий, их возрастных и индивидуальных особенностей требовалась разработка нетривиальных нейрофизиологических и математических подходов.

На основе анализа пространственных и временных взаимосвязей биоэлектрических процессов мозга с использованием методов дискретной математики (теории графов, теории потоков) был разработан метод оценки возрастного формирования основных алгоритмов межцентральных динамических взаимоотношений, позволяющий оценивать уровень развития системной деятельности мозга ребёнка, характер их перестроек при тех или иных функциональных и патологических нарушениях. Анализ ЭЭГ заключался в изучении структуры временной последовательности волн ЭЭГ с оценкой вероятностей переходов между волновыми компонентами различных диапазонов частот ЭЭГ [15; 23]. Для изучения процессов динамического взаимодействия волновых компонентов ЭЭГ, отражающего меха-

низмы регуляции корковой активности, использовались показатели вероятностных потоков на ориентированных графах [3].

Переход значения потока из области положительных значений к отрицательным означает увеличение суммарной вероятности переходов к этому компоненту. Это приводит к формированию функционального «ядра» взаимодействия в этом диапазоне частот и обеспечивает устойчивость временных паттернов ЭЭГ. Переход величины показателя потока для какого-либо компонента ЭЭГ от отрицательных в область положительных значений означает уменьшение суммарной вероятности переходов к этому компоненту и потери его роли в формировании устойчивого паттерна ЭЭГ. Такой компонент может являться причиной нестабильности при формировании динамического рисунка ЭЭГ.

Численные значения показателя потока, вероятностей переходов между различными волновыми компонентами ЭЭГ и характер распределения их по областям коры головного мозга отражают как возрастное развитие мозга, так и нарушения биоэлектрической активности, сопровождающие заболевания ЦНС различной нозологии [17].

Получены приоритетные данные о возрастных, половых и генотипических (этнических) особенностях формирования биоэлектрических процессов мозга у детей и подростков, проживающих в условиях Приполярья и Заполярья [16; 23]. Установлены локальные и пространственные ЭЭГ-маркеры, позволяющие выявлять детей с отклонениями в возрастном развитии ЦНС, а также осуществлять компьютерную диагностику психоневрологических нарушений. Предварительные результаты анализа, полученные с использованием описанной методики, показывают её высокую эффективность (рис. 1).

Результаты дискриминантного анализа, в котором предикторами являлись значения показателя потока в диапазоне выбранных основных частот и по всем ответам ЭЭГ, показали, что доля правиль-

ных классификаций с учетом возраста детей для контрольной группы составляла 91–96%, а для школьников с расстройством развития – 82–93% (см. таблицу).

Анализ предикторов, которые вносят наибольший вклад в дискриминацию, показал, что дети без отклонений и с отклонениями развития отличаются в младшем школьном возрасте формированием «функционального ядра» взаимодействия волновых компонентов ЭЭГ в низкочастотном компоненте альфа-ритма (a1), в среднем школьном возрасте – в высокочастотной полосе альфа-ритма (a2), тогда как у старших школьников предикторами

различия являются, главным образом, тета- и альфа1 компоненты ЭЭГ. При этом зональное распределение предикторов различается для всех трех возрастных групп, что свидетельствует о гетерогенности созревания нейрональной активности в различных корковых областях. Примечательно, что большее количество значимых предикторов обнаруживается в отведениях левого полушария. Это подчеркивает ведущую роль доминантного полушария мозга в организации алгоритмов формирования межцентральных взаимодействий по пространственно-временным характеристикам ЭЭГ и их различие у

Рис. 1. Компьютерное разделение детей контрольной группы (I) и детей с нарушениями психического развития (II) по структуре взаимодействия волновых компонентов ЭЭГ (результаты дискриминантного анализа по показателям потоков)

Примечание: a – младшая, b – средняя, c – старшая возрастные группы школьников.

Результаты компьютерной классификации детей с нормальным развитием и детей с нарушениями психического развития в трех возрастных группах по структуре взаимодействия волновых компонентов ЭЭГ (по показателям потоков)

Группа детей	Младшая		Средняя		Старшая	
	Процент правильной классификации	Дискриминатор	Процент правильной классификации	Дискриминаторы	Процент правильной классификации	Дискриминаторы
Нормальное развитие	92.3%	F7(a1), F3(a1), F3(a1), F4(b)	90.9%	C3(a2), T5(a2), T4(b)	96.0%	O2(a1), Pz(t), Fpz(t), Fz(b), T6(a1), T3(a1), T5(a1), F4(a1)
Отклонения в развитии	81.8%		93.3%		89.5%	

Примечание: Fpz, ..., O2 – отведения ЭЭГ; t – тета, a1 и a2 – альфа, b – бета – диапазоны частот ЭЭГ.

здоровых детей и детей с нарушениями развития.

В целом, чувствительность данного диагностического метода – способность давать правильный результат, определяемая как доля больных, у которых данное исследование выявит нарушение, составила 89%. При этом специфичность этого метода – способность не давать при отсутствии поведенческих нарушений ложных положительных результатов среди детей контрольной группы, составила 94%. То есть, метод является высокоэффективным, поскольку он как высокоспецифичен, так и высокочувствителен. Однако для совершенствования метода и определения пределов его практического использования требуется проведение дальнейших исследований с формированием обучающих выборок по отдельным формам отклонений в развитии и контрольной группы детей разного возраста.

Оценка психического состояния и когнитивных функций детей, проживающих в условиях Арктики. Важным этапом работы являлся анализ психического статуса и когнитивных функций у детей-северян разного возраста при нормальном и патологическом развитии. В группе нормально развивающихся школьников медиана показателя интеллекта составила 90 баллов, тогда как у учащихся коррекционной школы с диагностированной легкой степенью умственной отсталости (F-70 по МКБ-10) показатель интеллекта был снижен относительно возрастной нормы ($p < 0,05$), его медиана соответствовала 76.

У детей и подростков, проживающих в условиях Европейского Севера России, исследована структура когнитивных способностей, обеспечивающая успешность усвоения школьных навыков. Помимо интеллектуальных способностей в нее входят показатели, отражающие характеристики мышления и внимания. В частности, скорость и лабильность мышления, скорость и точность выполнения корректурной пробы, отражающие степень концентрации и устойчивости произвольного внимания. Скорость мышления по результатам выполнения вербального теста бы-

строты мышления Рыбакова у здоровых детей коррелировала с показателем интеллекта ($R_s = 0,6$, $p < 0,05$). Исследованная группа детей с нарушениями развития продемонстрировала низкий уровень скорости мышления ($p < 0,05$) в данном тесте. С учетом того, что у учащихся коррекционной школы в большинстве случаев в анамнезе отмечено поражение ЦНС в форме перинатальной энцефалопатии различного генеза, нервные процессы у них характеризуются слабостью и высокой истощаемостью, что проявляется также в снижении скорости мышления. В данной группе детей в отличие от группы здоровых детей не наблюдалось взаимосвязи скорости мышления и показателя интеллекта. Это может означать, что у детей с нарушениями и задержкой психического развития формируется собственная, специфическая структура когнитивных способностей, носящая компенсаторный характер, по-видимому, имеющая большую вариативность взаимосвязи компонентов, чем в норме.

С помощью современной нейрофизиологической технологии проведены исследования связанных с событиями слуховых потенциалов (ССП) мозга при пассивном внимании к звуковым стимулам у детей одного возраста (11–15 лет) с задержками психического развития и детей с нормальным развитием. Латентность максимума разностной волны для девиантного (редкого) и стандартного (частого) стимулов во фронто-центральной отведении (Fz) в группе здоровых подростков составила около 130 мс при средних значениях амплитуды $-2,6 \pm 1,3$ мкВ. В группе детей с нарушениями психического развития негативный пик на разностной волне присутствовал только у 9 из 13 подростков, его латентность была больше по сравнению с группой здоровых детей и составила около 160 мс при средних значениях амплитуды $-2,1 \pm 1,4$ мкВ.

Различия в биоэлектрических реакциях мозга на редкие и частые стимулы характеризуют уровень активности системы произвольного внимания для восприятия новой информации и готовности к ее обработке. У детей двух групп выявлены

особенности топической организации этих реактивных изменений ССП. В группе здоровых детей значимые различия между ССП на стандартные и девиантные стимулы были представлены в большинстве отведений с максимумом в зонах по центральной линии, тогда как в группе детей с нарушениями развития значимые различия в большинстве областей, включая лобную и центральную, отсутствовали.

Меньшие значения амплитуд и более поздние латентности компонента «негативности рассогласования» у детей с задержками психического развития могут свидетельствовать о сниженном уровне активации систем мозга, обеспечивающих процессы внимания в условиях произвольной «пассивной» детекции различий между стимулами.

При оценке деятельности интегративных систем мозга наибольший интерес для практического применения представляет индивидуальный анализ отклонений параметров оцениваемых показателей при нарушениях развития. Сопоставление слуховых ССП при восприятии частых и редких стимулов у детей одной возрастной группы показывает (рис. 2), что у ребёнка с ранним детским аутизмом (F84.00) амплитуда негативной волны ССП в переднецентральных и центральных зонах коры меньше, чем у ребёнка того же возраста с лёгкой степенью умственной отсталости (F70.01). Это может отражать более низкий уровень произ-

вольного внимания и неэффективную обработку информации в слуховой коре, меньшую точность различения предъявляемых сигналов при более выраженной мозговой дисфункции. Сниженная разностная амплитуда ССП на частые и редкие стимулы, отражающая скрытый дефицит в механизмах произвольного внимания, может иметь отношение к синдрому социальной депривации/самоизоляции, который часто присутствует у детей, страдающих расстройствами аутистического спектра. В частности, в исследовании Y. Var-Naim с соавторами [21] было показано, что у социально депривированных детей с выраженной интроверсией регистрируется более низкая амплитуда MMN и более длинные латентности по сравнению с социально адаптированными сверстниками. Меньшие амплитуды негативности слуховых ССП при пассивном внимании описаны у детей с аутизмом [20].

Таким образом, индивидуальный анализ ССП при различных нарушениях развития может быть использован для оценки характера и степени нарушения деятельности интегративных систем мозга и оценки эффективности реабилитационных мероприятий.

Выявление скрытых факторов нарушения гемодинамики мозга у детей-северян с замедленными темпами формирования ЦНС и когнитивными расстройствами. Одними из основных причин неврологических расстройств, влияющих на психическое развитие, яв-

Рис. 2. Связанные с событием потенциалы (ССП) при восприятии редкого стимула у детей 12 лет

Примечание: А. Чёрная линия – ССП ребёнка с диагнозом «Лёгкая степень умственной отсталости», серая линия – ССП ребёнка с диагнозом «ранний детский аутизм», штриховая линия – различия между

ССП двух детей. Б. Топография различий реакции на редкий стимул для пиков 1 и 2 разностной волны.

ляются нарушения мозгового кровообращения, перенесенные внутриутробно, в процессе родов или возникшие после рождения в результате травм, нарушений осанки и т.д. [11].

Следует отметить, что суровые климатические условия, резкие колебания геологофизических факторов, контрастные изменения светового режима (полярный день – полярная ночь) оказывают мощное модулирующее влияние на состояние сосудистой регуляции [4; 5], способное привести к тем или иным нарушениям системного [6] и мозгового [15] кровообращения. Нераспознанные вовремя, они могут в дальнейшем привести к необратимым неврологическим нарушениям.

Впервые установлено, что у детей-северян с нарушениями психического развития отмечается высокая частота выявления признаков отклонений от нормы в формировании артериальной системы основания мозга. Гипоплазия одной из задних соединительных артерий у детей и подростков-северян из контрольной популяции выявлена в 9% случаев, тогда как среди клинической группы (с психоневрологическими расстройствами) – в 42% случаев (различия по частоте выявления гипоплазии значимы, $p < 0,001$). У детей-северян с наличием патологии ЦНС с когнитивными расстройствами значимо чаще, чем в здоровой популяции, выявляется регионарный дефицит ауторегуляционных реакций и коллатерального кровотока. Эффективность системы коллатерального кровоснабжения оценивали по величине снижения скорости кровотока в среднемозговой артерии при компрессии ипсилатеральной общей сонной артерии. В клинической группе резерв коллатерального кровоснабжения в каротидном бассейне с правой стороны был снижен у 27% учащихся, с левой стороны – у 45% учащихся. Обращает на себя внимание более высокая частота выявления скрытого (выявляемого при нагрузке) дефицита кровоснабжения для левого полушария, чем для правого ($p = 0,02$), что может особенно негативно сказываться на когнитивном развитии детей из клинической

группы с речедоминантным левым полушарием.

Реакция возрастания ЛСК по ЗМА при открывании глаз, сопутствующая реакции активации на ЭЭГ, была снижена у 23% учащихся контрольной группы и 26% учащихся клинической группы. Высокая частота обнаружения такой реакции, отражающей сниженную цереброваскулярную реактивность, в обеих группах учащихся, проживающих в приполярном и заполярном регионах, свидетельствует о скрытом дефиците в системе кровообращения в вертебробазилярном бассейне, что может быть одним из ранних проявлений состояния дезадаптации к неблагоприятным экологическим условиям Севера.

Частыми причинами скрытых нарушений гемодинамики мозга у детей является смещение и нестабильность в шейном отделе позвоночника [11]. Экстравазальное воздействие на позвоночные артерии оценивали по величине падения кровотока при повороте головы в сегменте V3 позвоночной артерии на противоположной повороту стороне [13]. При компрессии артерии в области верхних шейных позвонков наблюдали зону стеноза. Признаки вертеброгенного воздействия различной степени выраженности можно наблюдать у 41–68% детей-северян, при этом в большинстве случаев повышение кровотока по контралатеральной позвоночной артерии компенсирует падение кровотока по компрессированной артерии. Значительная степень компрессии (падение кровотока более 60%) хотя бы одной из позвоночных артерий выявлена у 13% учащихся контрольной группы и 30% учащихся клинической группы (из коррекционной школы). Таким образом, у детей с психоневрологическими нарушениями значимо чаще, чем в контрольной группе ($p = 0,03$) обнаруживалась патологическая нестабильность в шейном отделе позвоночника, вызывающая выраженную компрессию позвоночной артерии при повороте головы. У детей и подростков с психоневрологическими расстройствами, у которых снижена цереброваскулярная

реактивность в вертебробазилярном бассейне, падение кровотока оказывается недостаточно компенсированным за счёт коллатерального кровотока, что приводит к ишемизации определенных участков мозга и углубляет неврологический дефицит.

В условиях напряженной адаптации детского организма к воздействию суровых природных факторов Севера скрытый дефицит мозгового кровотока в каротидном и вертебробазилярном бассейнах (снижение резерва вазодилатации, эффективности коллатерального кровотока) может оказывать негативное влияние на темпы морфофункционального созревания ЦНС, а также усугублять развитие последствий перинатальной патологии ЦНС.

Заключение. Полученные в комплексных медико-физиологических экспедициях научные результаты свидетельствуют о существенном влиянии суровых условий Арктики на возрастное развитие детей и подростков, требующих не только совершенствования всей системы жизнеобеспечения проживающего здесь населения, но и разработки научных основ своевременной диагностики возможных отклонений в развитии детей, выявления их причин и эффективной профилактики. Получены новые данные о влиянии суровых условий Арктики на формирование электрогенеза мозга и его системную деятельность, развитие психических процессов, особенности адаптационных перестроек и дизадаптационных нарушений у детей и подростков. Разработан инновационный метод оценки алгоритмов возрастного формирования электрогенеза корковых и подкорковых структур и их взаимодействий, позволяющий контролировать уровень развития интегративной и когнитивно-мнестической деятельности мозга у здоровых детей и подростков, проживающих в условиях Арктики, и своевременно выявлять возможные отклонения в развитии. Получены приоритетные данные о состоянии когнитивных и мнестических процессов у детей-северян разного возраста в норме и при психоневрологической патологии. Результаты

исследования имеют важное фундаментальное значение для понимания механизмов морфофункционального развития организма детей на фоне постоянного адаптационного напряжения в экстремальных условиях Арктики. Практическая значимость результатов состоит в возможности их использования для совершенствования скрининговых обследований детского населения и ранней диагностики скрытых отклонений в возрастном развитии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Постановление Правительства РФ от 21.04.2014 г. № 366 «Об утверждении Государственной программы Российской Федерации «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации на период до 2020 года». Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

2. *Алферова В.В., Фарбер Д.А.* Отражение возрастных особенностей функциональной организации мозга в электроэнцефалограмме покоя // Структурно-функциональная организация развивающегося мозга. Л.: Наука, 1990. С. 45–65.

3. *Басакер Р., Саати Т.* Конечные графы и сети. М.: Мир, 1974. 175 с.

4. *Гудков А.Б., Лукманова И.Б., Раменская Е.Б.* Человек в Приполярном регионе Европейского Севера. Эколого-физиологические аспекты. Архангельск: ИПЦ САФУ, 2013. 181 с.

5. *Грибанов А.В., Джос Ю.С.* О стратегических направлениях медико-биологических исследований // Вестник Северного (Арктического) Федерального университета. 2013. № 1. С. 10–14.

6. *Евдокимов В.Г., Рогачевская О.В., Варламова Н.Г.* Модулирующее влияние факторов Севера на кардиореспираторную систему человека в онтогенезе. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 257 с.

7. Клиническая психология / под ред. Б.Д. Карвасарского. СПб.: Питер, 2002. 960 с.

8. *Мачинская Р.И., Семенова О.А.* Особенности формирования высших психических функций у младших школьников с различной степенью зрелости регу-

ляторных систем мозга // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. 2004. Т. 40. № 5. С. 427–435.

9. Новиков В.С. Фундаментальные основы адаптации и дезадаптации человека при действии экстремальных факторов // Вестник образования и развития науки Российской академии естественных наук. 2018. № 2. С. 5–13.

10. Раппопорт Ж.Ж. Адаптация ребёнка на Севере. Л.: Медицина, 1979. 191 с.

11. Ратнер А.Ю. Поздние осложнения родовых повреждений нервной системы. Казань: Изд-во Казанского университета, 1990. 302 с.

12. Рожков В.П., Бекшаев С.С., Сороко С.И. Сезонные перестройки гемодинамики и биоэлектрической активности мозга у детей и подростков европейского Севера // Ульяновский медико-биологический журнал. 2012. № 3. С. 104–115.

13. Росин Ю.А. Допплерография сосудов головного мозга у детей. СПб.: Санкт-Петербургское медицинское издательство, 2004. 111 с.

14. Сороко С.И. Медико-физиологический мониторинг возрастного развития детей в арктической зоне Российской Федерации как актуальная социальная проблема // Вестник образования и развития науки Российской академии естественных наук. 2015. № 3. С. 130–135.

15. Сороко С.И., Бекшаев С.С., Сидоров Ю.А. Основные типы механизмов саморегуляции мозга. Л., Наука. 1990. 204 с.

16. Сороко С.И., Бурых Э.А., Сидоренко Г.В. Особенности возрастного развития мозга у детей в условиях Севера // Росс. физиол. журн. им. И.М. Сеченова. 2005. Т. 91. № 7. С. 729–739.

17. Сороко С.И., Сидоренко Г.В. ЭЭГ-маркёры нервно-психических нарушений

и компьютерная диагностика. Бишкек: Илим, 1993. 170 с.

18. Сороко С.И., Новиков В.С. Концепция развития медико-физиологических исследований в рамках государственной программы комплексных исследований Арктической зоны Российской Федерации // Вестник образования и развития науки Российской академии естественных наук. 2015. № 2. С. 7–11.

19. Шахнович А.Р., Шахнович В.А. Диагностика нарушений мозгового кровообращения. Транскраниальная доплерография. М.: Ассоц. книгоиздателей, 1996. 446 с.

20. Abdeltawwab M.M., Baz H. Automatic Pre-Attentive Auditory Responses: MMN to Tone Burst Frequency Changes in Autistic School-Age Children // J. Int. Adv. Otol. 2015. Vol. 11. P. 36–41.

21. Bar-Haim Y, Marshall PJ, Fox NA, Schorr EA, Gordon-Salant S. Mismatch negativity in socially withdrawn children // Biol. Psychiatry. 2003. Vol. 54. № 1. P. 17–24.

22. Niedermeyer E., Lopes da Silva F.H. Eds. Maturation of the EEG: development of waking and sleep patterns // Electroencephalography. Basic principles, clinical applications and related fields. Baltimore-Munich, 1993. P.133–156.

23. Soroko S.I., Rozhkov V.P., Bekshaev S.S. EEG Correlates of Genophenotypic Characteristics of Brain Development in Children of the Aboriginal and Settler Populations in Northeast Russia // Neuroscience and Behavioral Physiology. 2013. Vol. 43. № 7. P. 783–798.

24. Soroko S.I., Shemyakina N.V., Nagornova Z.V., Bekshaev S.S. Longitudinal study of EEG frequency maturation and power changes in children on the Russian North // Int. J. Dev. Neurosci. 2014. Vol. 38. P. 127–137.