

ОСОБЕННОСТИ ВОЗРАСТНОГО РАЗВИТИЯ ДЕТЕЙ В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ

Сороко С.И., Бекшаев С.С., Нагорнова Ж.В., Рожков В.П., Шемякина Н.В.
*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт
эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова Российской академии наук,
Санкт-Петербург, Россия*
soroko@iephb.ru

Сложный комплекс климатогеографических, гелиогеофизических и биогеохимических факторов Арктики оказывает выраженное негативное воздействие на уровень здоровья, работоспособность и демографические показатели коренного и пришлого населения. Наиболее чувствительными к негативному влиянию факторов внешней среды являются дети. Морфофункциональное развитие детского организма в суровых климатогеографических условиях Арктики осуществляется на фоне постоянных адаптивных перестроек, направленных на поддержание жизнедеятельности. Высокий уровень адаптационного напряжения основных систем организма, незрелость регуляторных механизмов, повышенная чувствительность в критические периоды возрастного развития могут отрицательно влиять на возрастное развитие детей и подростков, вызывая те или иные отклонения от нормы.

Принятая Правительством РФ новая стратегия развития Арктической зоны РФ и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года определяет основные механизмы, способы и средства достижения стратегических целей, приоритетов устойчивого развития и обеспечения национальной безопасности. Приоритетные направления развития и основные мероприятия включают: комплексное социально-экономическое развитие Арктической зоны РФ; развитие науки и технологий; создание современной информационно-телекоммуникационной инфраструктуры; обеспечение экологической безопасности. В соответствии с новой концепцией развитие Арктической зоны РФ предусматривает совершенствование системы государственного управления социально-экономическим развитием, улучшение качества жизни коренного населения и социальных условий хозяйственной деятельности в Арктике, развитие ресурсной базы за счёт использования перспективных технологий, модернизации и развития инфраструктуры транспортной системы, современной информационно-телекоммуникационной инфраструктуры и рыбохозяйственного комплекса [1].

Вместе с тем, необходимо чётко понимать, что социально-экономическое развитие суровых условий Арктики будет во многом определяться качеством жизни проживающего и привлекаемого сюда населения, состоянием его здоровья, уровнем работоспособности и способностью к воспроизводству нового поколения. Первостепенное значение при этом приобретают проблемы воспроизводства и воспитания нового поколения северян, адаптированных к жизни в сложных климатогеографических условиях. В связи с этим, на первый план выступают проблемы создания эффективной системы медико-физиологического обеспечения жизнедеятельности людей в условиях Арктики, способной не только бороться с заболеваниями, но и вести донозологическую диагностику, постоянный контроль за состоянием здоровья, правильным физическим и умственным развитием детей и подростков, осуществлять своевременную коррекцию и профилактику возможных нарушений.

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 [2, 3].

Таким образом, оценка специфики возрастного развития детей в условиях Арктики и разработка методов раннего выявления возможных нарушений основных функций и их коррекции является актуальной медико-физиологической проблемой, имеющей не только фундаментальное, но и прикладное значение.

Основная цель, объем и характер исследований. С целью оценки влияния суровых условий Арктики на уровень развития детей и подростков и разработки методов выявления скрытых функциональных и патологических отклонений проведены комплексные медико-физиологические экспедиции: в заполярную (Кольский полуостров, Мурманская обл.) и в приполярную климатогеографическую зоны РФ (Коношский р-н Архангельской обл.). С помощью современных медико-физиологических технологий (компьютерная электроэнцефалография, краниодопплерография, кардиоритмография, регистрация вызванных слуховых и когнитивных потенциалов, психофизиологических и психологических методик и тестов) 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 специализированного Дома ребенка для детей с проблемами неврологического и психического развития.

Изучение особенностей возрастного формирования электрогенеза головного мозга и алгоритмов внутрицентральных взаимодействий у детей и подростков, проживающих в арктической зоне РФ. Главным органом, обеспечивающим регулирующую и координирующую функцию, поддержание жизнедеятельности и перестройки физиологических функций организма при адаптации к новым условиям, состояние работоспособности, психическую деятельность является головной мозг. Начав формироваться ещё в перинатальный период, развитие мозга 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 серьёзных патологических нарушений. Основными показателями возрастного развития ЦНС у детей и подростков является формирование электрогенеза мозга и организация внутрикоровых и корково-подкорковых отношений, обеспечивающих не только регуляцию витальных функций организма, его адаптацию к окружающей среде, но и психическую деятельность. Ранее нами было показано, что суровые условия Севера вызывают задержку морфофункционального развития детей на 1,5-2 года [4]. Одной из нерешённых 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.

Одним из объективных показателей морфофункционального созревания корковых и подкорковых нейрональных структур является их биоэлектрическая активность. Проведенные исследования показали, что сложные природные условия, особенности жизни в Арктике существенно модулируют развертывание программы генетического развития ЦНС у детей-северян, вызывая специфические отклонения от нормативных 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 ритмов медленноволновой

активности (дельта и тета ритмов) [5, 6]. Исходя из установленных нормативов для оценки возрастного формирования параметров ЭЭГ [7, 8], 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. Выявлена структура этих отклонений, которая свидетельствует не только о задержке темпов возрастного развития коры головного мозга, но и некоторой дисфункции гипоталамо-диэнцефального комплекса [9]. Однако сделать окончательное заключение о том, являются ли обнаруженные изменения в формировании электрогенеза мозга у детей-северян нарушением морфофункционального развития или это региональные особенности, связанные с необходимостью адаптации к суровым условиям Арктики, пока невозможно. Требуется проведение более широких и углублённых исследований в Арктике с изучением аналитико-синтетической деятельности мозга, психофизиологического статуса и интеллектуального развития детей и подростков и сравнение полученных результатов с данными их сверстников из средних широт РФ.

Для оценки функционального состояния и возрастного становления системной деятельности мозга большое значение имеет не только оценка электрогенеза отдельных корковых и подкорковых структур, но и их постепенного объединения 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 выполнении той или иной деятельности, способности к адаптивным перестройкам при воздействии внешних факторов. Для качественной и количественной оценки характера этих взаимодействий, их возрастных и индивидуальных особенностей требуется разработка нетривиальных нейрофизиологических и математических подходов.

На основе математического анализа структуры взаимодействия волновых компонентов ритмики ЭЭГ с использованием методов дискретной математики (теории графов, теории потоков) нами разработан новый 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 закономерностей структуры временной последовательности волн ЭЭГ. Сначала ЭЭГ преобразовывали в последовательность периодов (компонентов ЭЭГ), каждый из которых в зависимости от длительности относится к одному из шести частотных диапазонов ЭЭГ (β_2 , 17.5-30 Гц; β_1 , 12.5-17.5 Гц; α_2 , 9.5-12.5 Гц; α_1 , 7-9.5 Гц; θ , 4-7 Гц и δ , 1.5-4 Гц). Затем оценивали условную вероятность появления какого-либо периода при условии непосредственного предшествования ему какого-либо другого периода, эта вероятность равна вероятности перехода от предшествующего к последующему компоненту ЭЭГ. По численным значениям вероятности переходов между всеми указанными диапазонами частот составляли матрицу вероятностей переходов размером 6х6. Для каждой матрицы строили соответствующий ориентированный вероятностный граф, вершинами которого являются указанные выше компоненты ЭЭГ, а ребра графа соединяют те и только те компоненты ЭЭГ, вероятности переходов между которыми превышают статистически значимый порог. При этом толщина ребра пропорциональна вероятности соответствующего перехода. Для изучения процессов динамического взаимодействия волновых компонентов ЭЭГ, отражающего механизмы регуляции корковой активности,

использовались показатели вероятностных потоков на ориентированных графах [10]. В данном контексте некоторая вершина в графе (ей соответствует некоторая ритмическая компонента ЭЭГ) является источником, стоком или сохраняющей поток, если разность между суммой, выходящих из нее и входящих в нее вероятностей будет положительной, отрицательной или нулевой, соответственно. Численно величину потоков рассчитывали по матрице вероятностей переходов. Переход значения потока из области положительных значений к отрицательным означает увеличение суммарной вероятности переходов к этой компоненте. Это приводит к формированию функционального «ядра» взаимодействия в данной компоненте и обеспечивает устойчивость временных последовательных паттернов ЭЭГ. Переход величины показателя поток для какого-либо компонента ЭЭГ из области отрицательных в область положительных значений означает уменьшение суммарной вероятности переходов к этой компоненте и снижении его роли в формировании устойчивого паттерна ЭЭГ. Такой компонент может являться причиной нестабильности при формировании динамического рисунка ЭЭГ. Численные значения показателя поток, 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, связанные с функциональными отклонениями в развитии или патологии ЦНС.

В рамках выполнения проекта получены приоритетные данные о возрастных, половых и генотипических (этнических) особенностях формирования биоэлектрических процессов мозга у детей и подростков, проживающих в условиях Приполярья и Заполярья. Описаны локальные и пространственные ЭЭГ-маркеры, позволяющие выявлять детей с отклонениями в возрастном развитии ЦНС, осуществлять компьютерную диагностику психоневрологических нарушений с вероятностью до 90 %. Предварительные результаты анализа, полученные с использованием описанной методики, показывают её высокую эффективность. Количество детей с задержкой или расстройством нервно-психического развития составляло 44 школьника различных возрастов, объем контрольной группы составил 50 детей. Результаты дискриминантного анализа, в котором предикторами являлись значения показателя поток в диапазоне выбранных основных частот и по всем отведениям ЭЭГ (использовалось 21 отведение), показали, что доля правильных классификаций с учетом возраста для контрольной группы составляла 90%, а для школьников с нарушениями развития - 88.6%.

Анализ значимых предикторов, которые вносят наибольший вклад в дискриминацию, показал, что подавляющее большинство из них связано с формированием устойчивого «функционального ядра» либо в высокочастотном компоненте альфа ритма (α_2), либо в его низкочастотной полосе (α_1). Определена значимость предикторов (упорядоченная по убыванию их значимости): C3_ α_2 , F4_ α_2 , F7_ α_1 , O1_ α_1 , T6_ α_1 , P3_ β_2 , T5_ α_2 , T3_ α_1 , O2_ α_1 , Pz_ θ . В этой последовательности указаны отведения ЭЭГ (обозначенные по системе 10-20: C - центральные, F - фронтальные, T – темпоральные, P – парietальные, O – окципитальные), позволяющие сделать вывод о том, что в левом полушарии (символы отведений с нечетными индексами) обнаруживается большее количество значимых предикторов. Это подчеркивает ведущую роль доминантного полушария мозга в организации алгоритмов формирования межполушарных взаимодействий по пространственно-временным характеристикам и их различие у здоровых детей и детей с нарушениями развития.

Для подробного анализа структуры «функционального ядра» (ритма ЭЭГ, имеющего наиболее выраженные взаимосвязи со всеми остальными ритмами) проведён дискриминантный анализ, в котором в качестве предикторов выбирались значения

вероятностей переходов по всем отведениям ЭЭГ. Результаты показали совпадение значимых предикторов по отведениям ЭЭГ и переходам (указаны стрелками): $O1(\beta1 \rightarrow \alpha1)$, $O2(\alpha2 \rightarrow \beta2)$, $P3(\theta \rightarrow \beta2, \alpha1 \rightarrow \theta)$, $T5(\alpha2 \rightarrow \beta2)$, $T6(\beta2 \rightarrow \beta1, \alpha2 \rightarrow \alpha2, \alpha1 \rightarrow \alpha2)$, $F7(\beta1 \rightarrow \alpha1, \beta1 \rightarrow \alpha2, \alpha1 \rightarrow \beta1)$. Результаты дискриминантного анализа выявили наличие значимых дискриминаторов как по показателям потока, так и по показателям переходных вероятностей. Установлено, что наибольший вклад в формирование значимых предикторов для распознавания детей с минимальными мозговыми дисфункциями (задержки развития, функциональные и поведенческие нарушения, нарушения психики) дают вероятности переходов между компонентами в частотных диапазонах альфа и бета ритмов. Именно эти переходы формируют «функциональные ядра», которые позволяют успешно провести дискриминантный анализ с целью определения детей с признаками возрастных нарушений развития. 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. Необходима проверка специфики возрастных перестроек биоэлектрических процессов мозга у детей и подростков в разных климатогеографических зонах.

Оценка психического состояния и когнитивно-мнестических функций детей, проживающих в условиях Арктики. Анализ психического состояния и когнитивно-мнестических функций у детей-северян разного возраста при нормальном и патологическом развитии необходим для выявления общих и индивидуальных особенностей когнитивной сферы детей и их дальнейшего использования в диагностических целях. Были обследованы дети (7-17 лет) с нарушениями развития различного генеза, проживающие в Арктике на Кольском полуострове (г. Апатиты). Изучались психологические и психофизиологические показатели основных психических процессов (интеллекта, внимания, скорости мышления и др.). Проведено сравнение полученных результатов с данными исследования контрольной группы здоровых детей того же возраста, проживающих в условиях приполярной зоны РФ (Архангельская обл.).

Диагностика интеллектуальных способностей (прогрессивные матрицы Дж. Равена), помимо различий интеллекта у нормально развивающихся школьников из Архангельской обл. (медиана показателя интеллекта составила 90 баллов, нижняя квартиль - 83, верхняя квартиль - 97), и детей с нарушениями психического развития, выявила также большой разброс показателей интеллекта в группе детей с нарушениями развития. В группе детей с нарушениями развития показатели интеллекта были снижены относительно возрастной нормы ($p < 0.05$, критерий Манна-Уитни).

В исследованиях детей, проживающих в Архангельской обл., нами была выявлена структура когнитивных способностей, обеспечивающая успешность усвоения школьных навыков. Помимо интеллектуальных способностей в нее входят показатели, отражающие скоростные и точностные 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 (Рыбаков, тест быстроты мышления) [11] здоровых детей коррелировала с показателем интеллекта ($R_s = 0.6$, $p < 0.05$). Группа детей с нарушениями развития продемонстрировала достоверно более низкий уровень скорости мышления ($p < 0.05$) в вербальном тесте, чем контрольная группа. Скорость мышления, помимо прочего, связана с подвижностью нервных процессов и обеспечивается достаточным энергетическим потенциалом нервной системы. С учетом того, что учащиеся

коррекционной школы в большинстве случаев в анамнезе имеют последствия перинатальной энцефалопатии, включая органическое поражение мозга, их нервные процессы характеризуются слабостью и высокой истощаемостью, что проявляется также и в низкой скорости/быстроте мышления. Взаимосвязи скорости мышления и показателя интеллекта в данной группе детей не наблюдалось, в отличие от группы здоровых детей. Это может означать, что у детей с нарушениями и задержкой психического развития формируется собственная, специфическая структура когнитивных способностей, носящая компенсаторный характер, имеющая большую вариативность взаимосвязи когнитивных компонентов, чем в норме. Однако для выявления специфической структуры когнитивных способностей и возможных компенсаторных механизмов у детей с нарушениями развития требуется проведение специальных исследований.

Для анализа состояния перцептивной и когнитивной функций мозга использовалась методика регистрации и расчёта параметров связанных с событиями потенциалов (ССП) при пассивном и активном внимании к звуковым стимулам. Обследованы дети одного возраста (10-16 лет) с нормальным развитием и дети с задержками психического развития (age-matched comparison). Исследование ССП проводилось с использованием электроэнцефалографа «Энцефалан-131-3» (фирмы Медиком МТД, Таганрог, Россия) от 21 отведения согласно международной системе 10-20. Регистрация ЭЭГ проводилась монополярно, объединенный референтный электрод располагался на мочках ушей. Частота оцифровки ЭЭГ составила 250 Гц. Используя средства программного обеспечения электроэнцефалографа «Энцефалан-131-3», оценивали латентности и амплитуды компонентного состава накопленных для отдельных испытуемых потенциалов на частые и редкие звуковые стимулы (90% и 10% от общего количества звуковых предъявлений соответственно) по предварительно расставленным меткам соответствующих компонентов ССП. В ходе исследования проведено межгрупповое сравнение латентностей и амплитуд сигналов в исследованных группах детей средствами программного пакета статистической обработки данных Statistica10.

Анализ характеристик компонентов связанных с событием потенциалов (латентностей, амплитуд, асимметрии, скорости угасания сигнала) на звуковые стимулы важен для оценки развития мозговой системы произвольного и непроизвольного внимания в норме и при патологии [12-15]. Особый интерес представляет исследование связей и зависимостей между психическими характеристиками и показателями функционирования интегративных систем мозга. Так, на большой выборке взрослых испытуемых была выявлена обратная корреляция между латентными периодами ССП и уровнем интеллекта [16]. Вместе с тем, исследования слуховых потенциалов представляют достаточно вариативные данные относительно подобного рода корреляции. В исследовании [17] показано, что у взрослых людей с нарушениями интеллектуального развития компонент N1 слуховых ССП имеет большую латентность, а негативность рассогласования, возникающая на редкий стимул при отсутствии направленного внимания, - большую латентность и меньшую амплитуду по сравнению с контрольной группой здоровых лиц [18].

В наших исследованиях межгрупповые отличия оценивались для индивидуально рассчитанных для каждого испытуемого латентностей P1, N1, P2 компонентов ССП при восприятии редких (2000 Гц) и частых (1000 Гц) звуковых стимулов громкостью 65 дБ.

Установлено, что в лобных, центральных и теменных областях левого полушария (отведения F3, C3 и P3) латентности компонентов P1 и P2 на частый стимул у детей с задержками психического развития были меньше ($p < 0.05$), чем в контрольной

группе здоровых детей того же возраста. Латентность же компонента N1 в задней височной области правого полушария (отведение T6) была больше ($p < 0.05$), чем у детей с нормальным развитием. Это соотносится с данными более ранних работ, в которых было показано, что латентность компонента N1 больше в группе взрослых с нарушениями интеллектуального развития [17]. В нашем исследовании показано, что подобная закономерность характерна и для детей.

При оценке различий на редкие стимулы, реакция на которые может свидетельствовать об уровне активности системы произвольного внимания для восприятия новой информации и готовности к ее обработке, выявлены следующие особенности. Во-первых, отличия проявились только для позитивных компонентов (P1 и P2) в центральной зоне коры, во-вторых, латентности в группе детей с задержками развития на эти стимулы были значимо больше по сравнению с детьми с нормальным развитием. (360/160 мс и 325/118 мс, соответственно).

Исследованные компоненты ССП (P1, N1, P2) зависят от характеристик стимула и связаны с автоматизированными процессами «предвнимания», частично модулируясь и когнитивными процессами. Однако основные параметры ССП определяются базовыми характеристиками функционального состояния коры, пластичностью нервной системы.

При анализе межгрупповых отличий по амплитуде компонентов слухового потенциала на редкий стимул при пассивном к нему внимании выявлены достоверно меньшие значения амплитуд потенциалов в центральных отведениях (Fz, Cz) для временных интервалов 160-170 мс и 200-400 мс, соответственно, у детей с задержками психического развития ($p < 0.05$) по сравнению с нормально развивающимися детьми-северянами того же возраста.

Компоненты ССП ведут себя различным образом в условиях привлечения внимания и пассивного восприятия, как редких, так и частых стимулов. Известно, что амплитуда N1 компонента больше при высоком уровне бдительности, а P2 снижается в условиях привлечения внимания. В проведенном сравнении исследуется пассивное внимание. В этой ситуации меньшие значения амплитуд компонентов слуховых ССП с поздними латентностями у детей с задержками психического развития свидетельствуют о сниженном уровне активации систем мозга, обеспечивающих процессы внимания в условиях пассивной детекции различий между стимулами. Следует отметить, что различия величин амплитуды компонентов потенциала проявляются не только при групповом сравнении. Наиболее иллюстративными могут быть индивидуальные ССП при сопоставлении детей, в том числе, с диагнозами нарушений разной степени тяжести.

При оценке деятельности интегративных систем мозга наибольший интерес для практического применения представляет индивидуальный анализ отклонений параметров оцениваемых показателей при нарушениях развития. Для верификации полученных данных и оценки их диагностической значимости регистрировали ССП мозга у 12-летних детей с диагнозами лёгкая степень умственной отсталости и ранний детский аутизм. Обнаружено, что отличия слуховых ССП проявляются в передне-центральных и центральных зонах коры, что соответствует литературным данным [19]. Амплитуда негативной волны ССП на редкий стимул при пассивном внимании у 12-летнего ребёнка с ранним детским аутизмом оказалась меньше, чем у ребёнка того же возраста с лёгкой степенью умственной отсталости (F70.01). Это может отражать низкий уровень произвольного внимания и неэффективную обработку информации в слуховой коре, меньшую точность различения предъявляемых сигналов при большем нарушении мозговых функций. Результаты, выявившие меньшие амплитуды негативности слуховых ССП при пассивном внимании, могут быть связаны с

особенностями реакции на окружение детей с симптомами аутизма, стремящихся к социальной изоляции. В частности, исследования [20] показали, что у детей, избегающих социальных контактов (выраженная интроверсия), регистрируются более низкая амплитуда MMN и более длинные латентности по сравнению с социально-адаптированными сверстниками.

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. Для анализа активности систем произвольного и непроизвольного внимания нами проводилось исследование слуховых ССП в условиях пассивного и активного внимания к редким стимулам и индивидуальный анализ выявляемых различий. В качестве примера могут быть рассмотрены отличия слуховых ССП на редкий и частый стимул у ребенка с нарушениями психического развития. При привлечении внимания к девиантным (редким) стимулам при помощи инструкции и необходимости выполнении задания, наблюдаются значимые различия слуховых ССП на редкий и частый стимул в лобно-центральной отведении (Fz), что свидетельствует о произвольной активации системы внимания, когда ребенок включается в выполнение задания. Напротив, в задаче пассивного прослушивания звуков (в условиях непроизвольного внимания) восприятие редких и частых звуковых стимулов не различалось, хотя в норме такие различия наблюдаются с раннего возраста [21]. Последний факт может свидетельствовать о сниженном уровне непроизвольного внимания и ограниченных ресурсах внимания [22] и дисфункции в мозговой системе обеспечения процессов «предвнимания». У детей с задержками развития произвольное привлечение внимания в условиях сниженной непроизвольной реактивности требует дополнительных энергетических ресурсов и приводит к более быстрому нервно-психическому истощению.

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, является гипоксия мозга, связанная с нарушениями мозгового кровообращения, перенесенных внутриутробно, в процессе родов или после рождения в результате травм, нарушений осанки и т.д. [23].

Следует отметить, что суровые климатические условия, резкие колебания гелиогеофизических факторов, извращенность привычного светового режима (полярный день – полярная ночь) оказывают мощное модулирующее влияние на состояние сосудистой регуляции [24, 25], способное привести к тем или иным нарушениям системного и мозгового кровообращения. Нераспознанные вовремя они могут в дальнейшем привести к необратимым неврологическим нарушениям.

Состояние мозгового кровообращения и его регуляторных механизмов указанной выше популяции детей изучали по данным клинической стандартной доплерографии интра- и экстракраниальных сосудов головного мозга с применением компрессионных проб для оценки анатомических особенностей строения артериального круга основания мозга [26], регионарной цереброваскулярной реактивности, эффективности ауторегуляционных реакций и коллатерального кровотока [27], а также ротационных проб для обнаружения функциональной нестабильности и патологических изменений в шейном отделе позвоночника [28].

Исследованиями, выполненными нами на Кольском п-ве и в Архангельской обл., впервые установлено, что у детей-северян с нарушениями возрастного 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 (без психоневрологических нарушений) выявлена в 9% случаев, тогда как среди клинической группы (с психоневрологическими расстройствами) – в 42% случаев. Превышение по частоте отклонений в строении Виллизиевого круга среди учащихся интерната для детей с психоневрологическими нарушениями в сравнении с нормой статистически значимо ($p < 0.001$). 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, а цереброваскулярную реактивность по величине подъема кровотока в пределах 7-9 кардиоциклов во время компрессии [29]. 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 левой гемисферы, чем для правой ($p = 0.02$), что может особенно негативно сказываться на когнитивном развитии детей из клинической группы с речедоминантным левым полушарием. Левополушарный тип доминирования функций, опирающихся на механизмы речи, ключевые для когнитивного развития, характерен для большинства и детей и взрослых [30].

Среди детей с функционирующими задними соединительными артериями сниженный ответ на функциональную пробу, характеризующий ослабленную цереброваскулярную реактивность в вертебробазиллярном бассейне, выявлен у 23% учащихся контрольной группы и 26% учащихся клинической группы. Высокая частота обнаружения такой реакции, отражающей недостаточность ауторегуляции, в обеих группах учащихся, проживающих в приполярном и заполярном регионе РФ, свидетельствует о скрытом дефиците в системе мозгового кровообращения в вертебробазиллярном 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 [23]. Экстравазальное воздействие на позвоночные артерии оценивали по величине падения кровотока при повороте головы в сегменте V3 позвоночной артерии на противоположной повороту стороне [28]. 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 ($p = 0.35$) обнаруживалась патологическая нестабильность в шейном отделе позвоночника, вызывающая выраженную компрессию позвоночной артерии при повороте головы. У детей и подростков из клинической группы с психоневрологическими расстройствами, у которых выявлена разомкнутость Виллизиевого круга и снижена цереброваскулярная реактивность в вертебробазиллярном бассейне, падение кровотока оказывается недостаточно компенсированным за счёт системы коллатералей, что приводит к ишемизации определенных участков мозговой ткани и углубляет неврологический дефицит.

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

Заключение. Проведенные исследования показали, что сложный комплекс климатогеографических и социальных факторов Арктики существенно модулирует развертывание программы генетического развития ЦНС у детей-северян, вызывая специфические отклонения от общепринятой для средних широт нормы амплитудно-частотных и зональных параметров биоэлектрических процессов. Основными из них являются: более выраженное неравномерное созревание отдельных зон коры больших полушарий головного мозга и преобладание в частотном спектре ЭЭГ детей дошкольного и младшего школьного возраста медленных ритмов (дельта и тета ритмов) и наличие пароксизмальных разрядов. Обнаружено, что только у 30% детей, проживающих в условиях Арктики, амплитудно-частотные параметры ЭЭГ соответствуют норме, у 60 % параметры соответствуют лёгкой задержке развития и у 10% - выраженной задержке развития. Выявлена структура этих отклонений, которая свидетельствует не только о задержке темпов возрастного развития коры головного мозга, но и некоторой дисфункции гипоталамо-диэнцефального комплекса. Выявленные особенности локальной и пространственной организации паттерна ЭЭГ у детей с нормальными и замедленными темпами морфофункционального развития мозга детей и подростков позволили выделить дискриминаторы, имеющие важное диагностическое значение для оценки уровня психического развития и характера патологических нарушений. Построение матриц структуры взаимодействия компонентов ЭЭГ и последующий дискриминантный анализ показали, что разделение детей на группы с нормальным развитием, с задержанным развитием и с минимальными мозговыми дисфункциями (ММД) возможно с точностью до 88,6%.

Важными характеристиками структурно-функциональной организации мозга и уровня развития психической деятельности является произвольное и непроизвольное внимание ребенка и его реакция на внешние сигналы. Нейрофизиологический процессинг внимания является сложным интегративным механизмом и обеспечивается не только неокортексом, но и многочисленными субкортикальными структурами мозга. Незрелость нейронных структур и их взаимосвязей, отсутствие баланса между ГАМК-эргическими и холинергическими системами регуляции корково-подкорковых отношений при организации избирательного внимания могут являться причиной нарушения когнитивных функций на отдельных этапах постнатального развития. Результаты исследований, представленные в данной работе, показали, что у большинства детей и подростков с задержкой возрастного формирования электрогенеза мозга отмечаются минимальные мозговые дисфункции, чаще всего в виде нарушения именно процессов внимания и мышления, адекватного поведения, трудностей в усвоении школьной программы. Так, дети с нарушениями развития отличались достоверно более низким уровнем скорости мышления в вербальном тесте, чем дети контрольной группы ($p < 0.05$). Для детей с задержкой развития характерны также неустойчивость и пониженный уровень непроизвольного внимания, свидетельствующие о незрелости или дисфункции нейрофизиологических механизмов их обеспечения.

Одной из причин отклонений в развитии интегративной и когнитивно-мнестической деятельности ребенка может быть перинатальное или постнатальное нарушение мозгового кровообращения. Исследование мозгового кровообращения

важно как для выяснения патогенеза нарушений системных функций организма, так и для понимания влияния на них факторов окружающей среды. Краниодопплерографические исследования показали, что в условиях Арктики как у практически здоровых, так и у детей с ММД выявляются признаки отклонений от нормы в формировании артериальной системы основания мозга, однако их процентное соотношение неодинаково. Так, гипоплазия одной из задних соединительных артерий у детей и подростков-северян контрольной группы (без психоневрологических нарушений) выявлена в 9% случаев, тогда как среди клинической группы (с психоневрологическими расстройствами) – в 42% случаев. Превышение по частоте отклонений в строении Виллизиевого круга среди детей с психоневрологическими нарушениями в сравнении с нормой статистически значимо ($p < 0.001$). У детей-северян с наличием патологии ЦНС с когнитивными расстройствами значимо чаще, чем в здоровой популяции, выявляется регионарный дефицит ауторегуляционных реакций и коллатерального кровотока.

Таким образом, результаты исследований показали, что возрастное развитие детей, проживающих в условиях Арктики, имеет существенные отличия от развития детей из средней полосы России. Предложенный метод ранней диагностики уровня психофизиологического развития и выявления скрытых функциональных и патологических отклонений является весьма перспективным и может быть востребован практическим здравоохранением для совершенствования скрининговых методов обследования детского населения. Однако для его совершенствования и апробации требуется проведение целенаправленных дальнейших исследований с формированием информационной базы, включающей возрастные региональные нормативы показателей развития с учетом генофенотипических особенностей и гендерных отличий, обучающие выборки для различных форм отклонений в развитии и детской психопатологии.

Список литературы

1. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года. <http://rudocs.exdat.com/docs/index-5752.html>.
2. Ж.Ж. Раппопорт. Адаптация ребенка на Севере. Л.: Медицина, 1979.
3. С.И. Сороко, Э.А. Бурых, С.С. Бекшаев, Г.В. Сидоренко, Е.Г. Сергеева, А.Е. Хованских, Б.Н. Кормилицын, С.Н. Моралев, О.В. Ягодина, Л.К. Добродеева, И.А. Максимова, О.В. Протасова. *Рос. физиол. журн. им. И.М.Сеченова*, 2006, **92**, 905-929.
4. С.И. Сороко, Э.А. Бурых, Г.В. Сидоренко. *Рос. физиол. журн. им. И.М.Сеченова*, 2005, **91**, 729–739.
5. S.I. Soroko, V.P. Rozhkov, S.S. Bekshaev. *Neurosci. and Behav. Physiol.*, 2013, **43**, 783-798.
6. S.I. Soroko, N.V. Shemyakina, Z.V. Nagornova, S.S. Bekshaev. *Int. J. Dev. Neurosci.*, 2014, **38**, 127-137.
7. G. Dumermuth. *Elektroencephalographie im Kindesalter*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 1976.
8. E. Niedermeyer. *Electroencephalography. Basic principles, clinical applications and related fields*, 5th Edition. Lippincott Williams & Wilkins, 2005, 209-234.
9. В.П. Рожков, С.С. Бекшаев., С.И. Сороко. *Ульяновский медико-биологический журнал*, 2012, 3, 104-115.
10. Р. Басакер, Т. Саати. *Конечные графы и сети*. М.: Наука, 1974.
11. Б. Д. Карвасарский (Ред.). *Клиническая психология*. СПб: Питер. 2002.

12. V. Mueller, Y. Brehmer, T. von Oertzen, S.C. Li, U. Lindenberger. *BMC Neurosci.*, 2008, **9**, 18.
13. M. Gomot, R. Blanc, H. Clery, S. Roux, C. Barthelemy, N. Bruneau. *J. Autism Dev. Disord.*, 2011, **41**, 705-714.
14. J.R. Murphy, C. Rawdon, I. Kelleher, D. Twomey, P.S. Markey, M. Cannon, R.A. Roche. *BMC Psychiatry*, 2013, **13**, 45.
15. J.M. Bruggemann, H.V. Stockill, R.K. Lenroot, K.R. Laurens. *Int. J. Psychophysiol.*, 2013 **89**, 374-380.
16. D.W. Shucard, J.L. Horn. *J. Comp. Physiol. Psychol.*, 1972, **78**, 59-68.
17. K. Ikeda, S. Hashimoto, A. Hayashi, A. Kanno. *Int. J. Neurosci.*, 2009, **119**, 778-791.
18. K. Ikeda, H. Okuzumi, A. Hayashi, S. Hashimoto, A. Kanno. *Percept. Mot. Skills*, 2000, **91**, 1145-1150.
19. R. Näätänen, P. Paavilainen, T. Rinne, K. Alho. *Clin. Neurophysiol.*, 2007, **118**, 2544-2590.
20. Y. Bar-Haim, P.J. Marshall, N.A. Fox, E.A. Schorr, S. Gordon-Salant. *Biol. Psychiatry*, 2003, **54**, 17-24.
21. M. Petermann, P. Kummer, M. Burger, J. Lohscheller, U. Eysholdt, M. Döllinger. *Hear Res.*, 2009, **247**, 128-136.
22. M.A. Dunn, H. Gomes, J. Gravel. *J. Autism Dev. Disord.*, 2008, **38**, 52-71.
23. А.Ю. Ратнер. Поздние осложнения родовых повреждений нервной системы. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1990.
24. В.Г. Евдокимов, О.В. Рогачевская, Н.Г. Варламова. Модулирующее влияние факторов Севера на кардиореспираторную систему человека в онтогенезе. Екатеринбург: УрО РАН, 2007.
254. С.И. Сороко, В.П. Рожков. *Рос. физиол. журн. им. И. М. Сеченова*, 2014, **100**, 1204-1219.
26. R. Aaslid. Transcranial doppler examination techniques. Transcranial Doppler Sonography. Wien, N.Y.: Springer Verlag, 1986, 39-59.
27. А. Р. Шахнович, В. А. Шахнович. Диагностика нарушений мозгового кровообращения. Транскраниальная доплерография. М.: Медицина, 1996.
28. Ю.А. Росин. Допплерография сосудов головного мозга у детей. СПб.: Санкт-Петербургское книжное издательство, 2004.
29. Б.В. Гайдар, Д.В. Свистов, К.Н. Храпов. *Журн. неврологии и психиатрии*, 2000, **6**, 38-42.
30. Е.Д. Хомская. Нейропсихология: 4-е издание. СПб.: Питер, 2005.