

**СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОЗГОВОГО КРОВОТОКА  
У ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ, ПРОЖИВАЮЩИХ В СЕВЕРНОМ  
И АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНАХ**

© 2019 г. В. П. Рожков<sup>1</sup>, \*, С. И. Сороко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова РАН,  
Санкт-Петербург, Россия

\*E-mail: vlrozchkov@mail.ru

Поступила в редакцию 26.09.2018 г.

После доработки 16.10.2018 г.

Принята к публикации 17.10.2018 г.

Методом функциональной доплерографии исследовали мозговой кровотоки у 177 детей и подростков 7–18 лет, проживающих на Европейском Севере (Архангельская обл.), Субарктическом (Кольский п-ов) и Арктическом (арх. Шпицберген) регионах. Установлено, что количество функциональных отклонений в системе регуляции мозгового кровообращения зависит от степени суровости окружающей среды. На основании полученных данных выдвинута гипотеза о том, что в суровых условиях Арктики у детей и подростков может формироваться особое дизадаптивное состояние системной регуляции мозгового кровообращения, которое можно назвать как “синдром полярной нейроциркуляторной дистонии”. Основными признаками этого состояния являются: а) снижение метаболической гемодинамической реакции при активации мозга; б) проявления церебральной ангиодистонии в форме асимметрии скоростей кровотока в магистральных сосудах мозга, нарушений тонуса артерий и высокой вегетативной лабильности мозгового кровотока; в) выраженные признаки венозной дисциркуляции, в том числе, усиление внутричерепного венозного оттока по базальным венам.

*Ключевые слова:* Арктика, дети и подростки, адаптация, мозговой кровотоки, системная гемодинамика, нейроциркуляторная дистония

DOI: 10.1134/S0869813919010072

Экстремальность условий обитания для человека в Арктике связана с целым комплексом гелиогеофизических, климатогеографических, социально-бытовых и психологических факторов, оказывающих отрицательное влияние на организм [1–3]. Суровость климата обусловлена не только низкими температурами. Продолжительность относительно теплого периода в Центральной Арктике составляет около месяца, на побережье Арктики – до трех месяцев. Уровень температурного дискомфорта усиливает неустойчивость атмосферных процессов с чередованием плотной облачности, частых туманов и штормовой погоды. За счет постоянных сильных ветров и метелей ионизация воздуха зимой достигает аномально высоких значений. В Арктическом регионе отмечается повышенная космическая радиация, более высокий фоновый уровень геомагнитного поля с частыми магнитными бурями, полярными сияниями. Полная ультрафиолетовая ночь продолжается 3–4 месяца. Условия полярного дня и полярной ночи оказывают на человека существенное влияние, вызывая удлинение периода дневного торможения или удлинение фазы ночного возбуждения, снижение основного обмена в полярный день и его

возрастание в полярную ночь. Нарушение привычной для человека смены светового режима и резкие колебания геофизических и климатических факторов приводят к развитию десинхронозов, смещению акрофаз суточной активности гормонов, ферментов, психической и физической активности, хроническому напряжению всех систем организма (синдрому полярного напряжения) [3–5].

Следует отметить и сложность социально-бытовых условий с выраженной сенсорной депривацией и изоляцией от привычных для человека современных социокультурных и природных условий, специфику питания с дефицитом ряда витаминов, микро- и макроэлементов и нарушением сбалансированности белков, жиров и углеводов [6, 7]. Большинство авторов считает, что “синдром полярного напряжения” развивается у всех жителей полярных регионов, но имеет разную степень выраженности в зависимости от возраста, длительности пребывания, социально-бытовых условий и вида трудовой деятельности и т.д. [4, 8, 9]. У аборигенов Крайнего Севера в процессе длительной эволюции сформировались фено- и генотипические особенности, позволяющие им легче переносить суровые климатические условия [3].

Длительное проживание человека в полярных районах приводит к постепенному истощению функциональных резервов организма, снижению иммунологической защиты и повышению заболеваемости. В силу постоянного напряжения физиологических систем организма отмечается тенденция к сокращению продолжительности жизни у северян по сравнению с жителями умеренных широт [2, 3].

Воздействие комплекса экстремальных факторов Арктики оказывает более выраженное влияние на функционально менее зрелые, чем у взрослого, физиологические системы растущего организма, обуславливая задержку возрастного развития детей [10–12].

Адаптация человека к экстремальным условиям среды затрагивает все системы организма и включает в себя молекулярные, биохимические, физиологические механизмы, направленные на изменение структурно-функциональной организации, обеспечивающей поддержание жизнедеятельности в новых условиях [4, 6, 9]. При адаптации к суровым климатическим условиям сердечно-сосудистая и дыхательная системы и нервные центры их регуляции являются ведущими звеньями, поскольку обеспечивают необходимую реакцию терморегуляционной системы [3, 13, 14]. Показано, что климат Севера оказывает гипертензивное влияние на сосудистый тонус школьников. Адаптация организма к северным условиям проявляется также некоторым увеличением минутного объема кровообращения и сердечного индекса, создавая предпосылки к формированию гиперкинетического типа кровотока [14, 15].

Менее изучены особенности гемодинамики мозга и ее перестройки у детей-северян в связи с сезонными изменениями природных факторов. По данным реоэнцефалографических исследований в зимний сезон наблюдается нарастание негативных тенденций в системе кровоснабжения мозга в виде снижения тонуса сосудов. В весенне-летний период отмечено повышение периферического сосудистого сопротивления, уменьшение скоростных показателей кровенаполнения сосудов головного мозга, что указывает на снижение эффективности мозгового кровотока [16].

Известно, что в процессе возрастного развития происходят существенные изменения параметров центральной и мозговой гемодинамики, связанные с изменением массы и длины тела, размеров органов, формированием структурно-функциональной организации всего организма. Динамика и качество этих изменений определяются программой генетического развития, в частности продолжительностью отдельных стадий (темпом возрастного развития). В то же время показано, что в условиях Севера темпы возрастного развития нервной, иммунной и эндокринной систем у детей и подростков могут отставать на 2–2.5 года от сверстников из средней полосы России [11, 12, 17]. Возможно, что в зависимости от суровости климата

эти задержки развития и связанные с ними изменения параметров системной и мозговой гемодинамики в условиях Северного региона и Центральной Арктики будут неодинаковыми. В литературе эти сведения отсутствуют.

В связи с этим целью данной работы являлась сравнительная оценка влияния климатогеографических условий различных районов Северного и Арктического регионов, отличающихся степенью суровости окружающей среды, на состояние артериального и венозного мозгового кровотока детей и подростков.

### МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведены комплексные научные экспедиции в Архангельской обл. (Коношский район, 61° с.ш., 39° в.д.) – далее по тексту Северный регион; на Кольском п-ове (пос. Ловозеро Мурманской обл., 68° с.ш., 35° в.д.) – Субарктический регион; на архипелаге Шпицберген (пос. Баренцбург, 78° с.ш., 14° в.д.) – Арктический регион (Центральная Арктика).

Контингент обследуемых – учащиеся общеобразовательной сельской средней школы. В Архангельской обл. обследовано 52 мальчика и 43 девочки 7–17 лет (май 2007 г., март–апрель 2009–2013 гг., всего 198 регистраций); в Мурманской обл. обследовано 39 мальчиков и 31 девочка, 9–18 лет, из них 27 представителей аборигенного населения (апрель 2016 г.); в Баренцбурге (арх. Шпицберген) – 6 мальчиков и 6 девочек 6.5–16 лет (июль 2017 г.).

**Допплерографическое исследование.** Всем детям проведено обследование мозгового кровообращения с помощью метода ультразвуковой доплерографии (УЗДГ) на аппарате “Сономед 300/П” (“Спектрмед”, Россия). УЗДГ проводили в положении лежа. Интракраниально датчиком 2 МГц исследовали по стандартной методике [18] среднемозговые артерии (СМА), передние мозговые артерии (ПМА), задние мозговые артерии (ЗМА), основную артерию (ОА). По спектрам доплеровского сдвига частот определяли линейные скорости кровотока (ЛСК, в см/с). Анализировали систолическую, среднюю и диастолическую ЛСК, а также индекс пульсации PI. Показатель межполушарной асимметрии кровотока ( $K_{ac}$ ) вычисляли по формуле:  $K_{ac} = 100\% \times (V_1 - V_2)/V_1$ , где  $V_1$  – большая,  $V_2$  – меньшая средняя ЛСК в одноименных сосудах.

Функциональные нагрузки, направленные на оценку метаболической регуляции мозгового кровотока, основаны на изменении функциональной активности мозга [19, 20]. Эффективность метаболической регуляции кровоснабжения в бассейнах ЗМА оценивали по относительной величине возрастания ЛСК (в процентах) при зрительной нагрузке по отношению к фону – спокойному состоянию с закрытыми глазами (продолжительность “темновой адаптации” 1.5–2 мин). Зрительной нагрузкой служило открывание по команде глаз и рассматривание черно-белого шахматного паттерна. Показатель реактивности рассчитывали как величину отношения разности (в процентах) систолической ЛСК в ЗМА при открытых и закрытых глазах к ЛСК при закрытых глазах.

Для оценки венозного оттока в каротидном бассейне изучали кровотоки по глазничным венам, датчик 8 МГц помещали у внутреннего края глазницы. Для оценки венозного оттока в вертебробазиллярном бассейне измеряли кровотоки по базальным венам в проекции ЗМА с помощью датчика 2 МГц.

**Статистическая обработка.** С целью изучения возрастной динамики показателей мозгового кровообращения каждый школьник был определен в одну из трех возрастных групп: младшую – от 7 до 10.9 лет, среднюю – от 11 до 13.9 лет, старшую – от 14 до 17.9 лет. Использовали трехфакторный дисперсионный анализ (ANOVA) с целью изучения влияния факторов Пол (2 градации), Возраст (3 градации) и Регион (2 градации) на показатели артериального давления и мозгового кровотока.

**Таблица 1.** Значения нижней (I) и верхней (III) квантили показателей центральной гемодинамики у школьников Северного и Субарктического регионов

Возрастная группа	Пол	САД, мм рт. ст.		ДАД, мм рт. ст.		ЧСС, уд./мин	
		I	III	I	III	I	III
Северный регион							
Младшая	М, Ж	95	107	58	67	69	88
Средняя	М, Ж	106	115	57	68	66	76
Старшая	М*	109	120	56	66	57	68
Старшая	Ж*	108	122	62	72	55	74
Субарктический регион							
Младшая	М, Ж	88	106	59	66	66	83
Средняя	М, Ж	102	111	64	72	65	83
Старшая	М, Ж	111	126	64	74	61	79

Примечание. \* Эффект фактора Пол на ДАД:  $F = 9.9, p = 0.026$ . Во всех остальных случаях влияние фактора Пол на показатели незначимо, данные по мальчикам и девочкам объединены.

Фактор Регион имел 2 градации – Северный и Субарктический регион, представители Арктического региона не включены в дисперсионный анализ вследствие малой выборки. Применяли процедуру апостериорных сравнений с использованием критерия Фишера. Для сравнения средних значений применяли  $t$ -критерий Стьюдента. В тексте приведены значения средних с соответствующими стандартными отклонениями ( $m \pm s.d.$ ). Статистическая обработка полученных данных производилась при помощи пакета программ Statistica-6 for Windows.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Перед исследованием мозгового кровотока измеряли показатели центральной гемодинамики: систолическое (САД) и диастолическое (ДАД) артериальное давление и частоту сердечных сокращений (ЧСС). В табл. 1 приведены значения I и III квантили распределения величин анализируемых показателей, которые служат границами диапазона вариаций показателей у 50% обследуемых школьников. По результатам дисперсионного анализа на САД значимое влияние оказывал фактор Возраст ( $F = 45.9; p < 0.0001$ ). Влияние фактора Регион проявилось во взаимодействии с факторами Возраст ( $F = 4.9, p = 0.008$ ) и Пол ( $F = 4.1, p = 0.044$ ). САД увеличивалось от младшей к старшей возрастной группе, а также в средней группе у девочек из пос. Ловозеро (Субарктический регион). САД у мальчиков из с. Климовское (Северный регион) было ниже, чем у девочек ( $p = 0.026$ ). В старшей группе ловозерские юноши имели более высокое САД в сравнении с климовскими ( $p = 0.020$ ).

Диастолическое АД оказалось в зависимости от всех трех факторов: Возраст ( $F = 5.2; p < 0.006$ ), Регион ( $F = 14.3; p = 0.0002$ ) и Пол ( $F = 4.5; p = 0.034$ ). ДАД увеличивалось с возрастом школьников: у ловозерских юношей было выше, чем у климовских в средней ( $p = 0.008$ ) и старшей группе ( $p = 0.0003$ ), у ловозерских девушек было выше, чем у климовских в средней группе ( $p = 0.022$ ). Связанные с полом различия ДАД в каждой из трех возрастных групп не выявлены у ловозерских школьников, в старшей группе у климовских юношей ДАД было ниже, чем у девушек ( $p = 0.0003$ ).

ЧСС уменьшалась от младшей к старшей возрастной группе (влияние фактора Возраст  $F = 4.9, p = 0.0001$ ) у девушек, значимо не различаясь для двух указанных регионов, и у юношей только из Северного региона. У ловозерских юношей ЧСС значимо не различалась в трех возрастных группах и в старшей группе ЧСС у них была выше, чем у климовских старшеклассников ( $p = 0.006$ ). В целом ЧСС у деву-

**Таблица 2.** Оценка влияния трех факторов на показатели кровотока в артериях основания мозга у школьников Архангельской обл. (Северный регион) и Мурманской обл. (Субарктический регион)

Артерии, показатель	Фактор		
	регион	возраст	пол
Среднемозговые			
Систолическая ЛСК	0.12; $p = 0.72$	<b>11.33; <math>p &lt; 0.0001</math></b>	<b>8.38; <math>p = 0.0040</math></b>
Диастолическая ЛСК	0.55; $p = 0.46$	<b>14.51; <math>p &lt; 0.0001</math></b>	<b>16.22; <math>p &lt; 0.0001</math></b>
Индекс пульсации	3.33; $p = 0.07$	<b>8.47; <math>p = 0.0003</math></b>	<b>12.48; <math>p = 0.0005</math></b>
Переднемозговые			
Систолическая ЛСК	<b>8.27; <math>p = 0.0042</math></b>	<b>10.58; <math>p &lt; 0.0001</math></b>	0.42; $p = 0.52$
Диастолическая ЛСК	1.709; $p = 0.19$	<b>4.96; <math>p = 0.0073</math></b>	1.666; $p = 0.20$
Индекс пульсации	3.29; $p = 0.07$	3.73; $p = 0.0245$	1.64; $p = 0.20$
Заднемозговые			
Систолическая ЛСК	<b>7.62; <math>p = 0.0060</math></b>	<b>11.7; <math>p &lt; 0.0001</math></b>	4.01; $p = 0.05$
Диастолическая ЛСК	<b>31.1; <math>p &lt; 0.0001</math></b>	<b>15.5; <math>p &lt; 0.0001</math></b>	<b>21.6; <math>p &lt; 0.0001</math></b>
Индекс пульсации	<b>11.7; <math>p = 0.0007</math></b>	<b>6.9; <math>p = 0.0011</math></b>	<b>25.8; <math>p &lt; 0.0001</math></b>
Основная			
Систолическая ЛСК	0.83; $p = 0.36$	<b>12.16; <math>p &lt; 0.0001</math></b>	1.29; $p = 0.26$
Диастолическая ЛСК	0.01; $p = 0.95$	<b>13.8; <math>p &lt; 0.0001</math></b>	4.10; $p = 0.04$
Индекс пульсации	0.86; $p = 0.35$	2.08; $p = 0.13$	3.81; $p = 0.05$

Примечание. В клетках таблицы даны значения F-критерия с соответствующими уровнями значимости. Оценки F-критерия с уровнем значимости  $p < 0.01$  выделены жирным шрифтом. Данные по одноименным артериям левой и правой стороны объединены.

шек была относительно выше, чем у юношей, значимо не различаясь в каждой отдельной возрастной группе (влияние фактора Пол  $F = 4.09$ ,  $p = 0.044$ ).

В табл. 2 приведены оценки влияния на скоростные показатели кровотока и индекс пульсации у школьников-северян трех факторов – Регион, Пол и Возраст. Как и в случае с дисперсионным анализом показателей центральной гемодинамики (табл. 1), фактор Регион имел 2 градации – Северный и Субарктический регион. Систолические, диастолические ЛСК и индексы пульсации, в среднем, значимо не различались в одноименных артериях правой и левой стороны. Исключение составили ловозерские школьники, у которых величины ЛСК в левой ЗМА, в среднем, были выше, чем в правой ЗМА ( $t = 3.16$ ,  $p = 0.0023$  для систолической и  $t = 4.12$ ,  $p = 0.0001$  для диастолической ЛСК).

На величины систолической и диастолической ЛСК наибольшее влияние оказывал фактор Возраст, ЛСК во всех магистральных артериях мозга снижались у школьников от младших к старшим классам. Влияние фактора Пол отразилось на систолической и диастолической ЛСК в СМА и на диастолической ЛСК в ЗМА, которые у девочек были выше, чем у мальчиков. Влияние фактора Регион проявилось на величинах систолической ЛСК в ПМА, которые у школьников из Архангельской обл. были выше, чем у сверстников из Мурманской обл., а также в ЗМА. ЛСК в ЗМА у ловозерских школьников, в среднем, были ниже, чем у климовских, однако если диастолические ЛСК были значимо снижены с обеих сторон ( $F = 20.68$ ,  $p < 0.0001$  – справа,  $F = 10.62$ ,  $p = 0.0013$  – слева), то систолическая ЛСК была снижена только с правой стороны ( $F = 6.21$ ,  $p = 0.013$ ).

Количественные оценки параметров систолического и диастолического кровотока по магистральным артериям мозга, выраженные через величину доплеровского сдвига частот, представлены в табл. 3. Приблизительные значения ЛСК в

см/с без учета угла локации артерии можно получить при умножении доплеровского сдвига частот на 39 [18].

У 11 из 12 школьников из пос. Баренцбург систолические и диастолические ЛСК в СМА находились в пределах между I и III квартилями распределения величин ЛСК у детей и подростков из Северного и Субарктического регионов. В одном случае выявлена асимметрия ЛСК в СМА (15%) за счет гипертонуса правой СМА (систолическая ЛСК 177 см/с). У двух школьников ЛСК по одной из ПМА были ниже границы  $m-2\sigma$  при сопоставлении с данными табл. 3. В сравнении со сверстниками из Северного и Субарктического регионов у школьников из Центральной Арктики ЛСК по ЗМА был ниже средней величины с левой стороны в 9-ти, с правой – в 6-ти случаях. ЛСК в основной артерии у всех школьников попадали в интервал между I и III квартилями.

Одним из наиболее информативных УЗДГ показателей считается асимметрия ЛСК в одноименных сосудах левой и правой стороны.

Билатеральная асимметрия ЛСК по СМА у всех обследованных детей (за исключением одного школьника из пос. Баренцбург) не превышала 14% (нормативное значение). Асимметрия ЛСК по ЗМА и ПМА варьировала у климовских школьников от 0 до 37.5% ( $8.1 \pm 6.4\%$  для ЗМА и  $9.2 \pm 7.3\%$  для ПМА), у ловозерских школьников по ЗМА – от 0 до 29% ( $7.2 \pm 6.0\%$ ), по ПМА – 0 до 57% ( $14.7 \pm 13.0\%$ ), у баренцбургских школьников – ЗМА от 1% до 31% ( $11.5 \pm 8.9\%$ ), по ПМА – 2 до 36% ( $11.9 \pm 10.0\%$ ).

Индивидуальные данные, характеризующие билатеральную асимметрию ЛСК по ЗМА и ПМА, представлены на рис. 1. На этом рисунке нормативные уровни асимметрии ЛСК (20%) показаны прямыми линиями: вертикальной – для ЗМА, горизонтальной – для ПМА). Превышение этого нормативного уровня обнаруживается в 24 (13%) случаях у школьников в Архангельской обл., в 16 (23%) случаях – в Мурманской обл. и у 6 из 12 (50%) представителей пос. Баренцбург. Различия в относительной частоте выявления асимметрии ЛСК значимы при сопоставлении показателей у школьников Архангельской и Мурманской обл. ( $p = 0.05$ ), Архангельской обл. и пос. Баренцбург ( $p < 0.001$ ) и на границе значимости для представителей Архангельской обл. и пос. Баренцбург ( $p = 0.055$ ). Видно, что доля случаев с асимметрией ЛСК по ПМА выше, чем с асимметрией по ЗМА, и в этом отношении особенно выделяются школьники из Мурманской обл. с соотношением отклонений показателей ПМА к ЗМА как 13 : 2.

Эффективность метаболической регуляции кровоснабжения в вертебрально-базилярном бассейне оценивали по относительной величине возрастания ЛСК (в процентах) при зрительной нагрузке по отношению к фону – спокойному состоянию с закрытыми глазами. В нашем исследовании увеличение ЛСК у школьников из Архангельской обл. составило от 5.6 до 66.7% ( $32.7 \pm 13.5\%$  в правой и  $30.3 \pm 11.1\%$  в левой ЗМА). У школьников из Мурманской обл. ЛСК при открывании глаз изменялась в диапазоне от –6.8 до 46.9% ( $9.1 \pm 6.6\%$  в правой и  $12.1 \pm 9.1\%$  в левой ЗМА,  $t = 2.35$ ,  $p = 0.021$ ). Знак минус для нижней границы диапазона показывает, что в ряде случаев (у 8 школьников) ЛСК по ЗМА при нагрузке даже снижался по отношению к исходному состоянию с закрытыми глазами, что было обусловлено высокой вариабельностью ЛСК уже в состоянии покоя. В среднем по группе метаболическая реакция у ловозерских школьников для левой ЗМА была выше, чем для правой ( $t = 2.35$ ,  $p = 0.021$ ). У детей и подростков из пос. Баренцбург увеличение ЛСК составило от 5.9 до 32.9% ( $12.5 \pm 7.6\%$  в правой и  $12.5 \pm 6.0\%$  в левой ЗМА).

На рис. 2. представлены данные об относительном количестве школьников по трем регионам, у которых величина возрастания ЛСК по ЗМА при функциональной нагрузке была ниже референтного значения 20%, что характеризовало сниженную метаболическую реакцию. Так, если в Архангельской обл. у 72 (70%)

**Таблица 3.** Величины систолического и диастолического показателей скорости кровотока в магистральных артериях мозга школьников Северного и Субарктического регионов

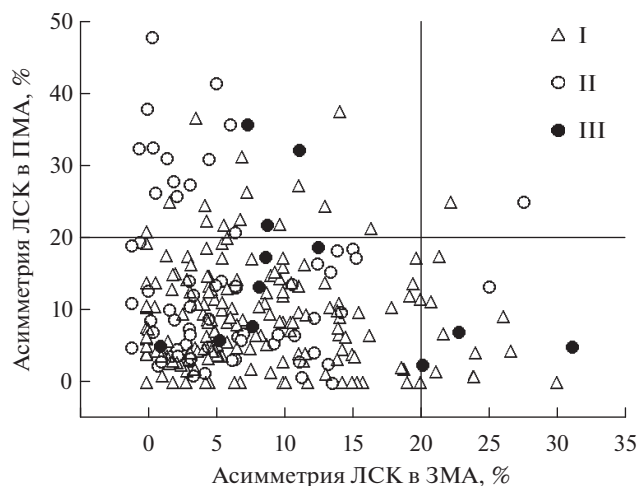
Артерия, показатель	Возрастная группа	Северный регион		Субарктический регион	
		мальчики	девочки	мальчики	девочки
Средне мозговые					
Систолическая скорость	Младшая	3.19 ± 0.41	3.45 ± 0.42	3.08 ± 0.48	3.45 ± 0.49
	Средняя	3.12 ± 0.43	3.25 ± 0.42	3.24 ± 0.50	3.00 ± 0.38
	Старшая	2.98 ± 0.41	3.03 ± 0.45	2.99 ± 0.27	3.17 ± 0.4
Диастолическая скорость	Младшая	1.57 ± 0.32	1.65 ± 0.28	1.51 ± 0.20	1.74 ± 0.30
	Средняя	1.48 ± 0.25	1.62 ± 0.28	1.53 ± 0.32	1.50 ± 0.18
	Старшая	1.35 ± 0.27	1.44 ± 0.26	1.40 ± 0.19	1.56 ± 0.23
Передне мозговые					
Систолическая скорость	Младшая	2.70 ± 0.35	2.60 ± 0.39	2.33 ± 0.40	2.59 ± 0.42
	Средняя	2.49 ± 0.40	2.48 ± 0.35	2.31 ± 0.34	2.26 ± 0.32
	Старшая	2.37 ± 0.30	2.32 ± 0.32	2.37 ± 0.27	2.47 ± 0.32
Диастолическая скорость	Младшая	1.37 ± 0.28	1.39 ± 0.36	1.20 ± 0.24	1.29 ± 0.30
	Средняя	1.34 ± 0.67	1.28 ± 0.27	1.14 ± 0.19	1.25 ± 0.25
	Старшая	1.06 ± 0.24	1.17 ± 0.57	1.18 ± 0.17	1.23 ± 0.20
Задне мозговые					
Систолическая скорость	Младшая	1.90 ± 0.33	1.94 ± 0.26	1.83 ± 0.17	1.92 ± 0.28
	Средняя	1.79 ± 0.25	1.90 ± 0.24	1.76 ± 0.15	1.70 ± 0.17
	Старшая	1.79 ± 0.24	1.79 ± 0.26	1.68 ± 0.15	1.80 ± 0.16
Диастолическая скорость	Младшая	1.05 ± 0.19	1.09 ± 0.20	0.95 ± 0.12	1.02 ± 0.23
	Средняя	0.95 ± 0.21	1.05 ± 0.18	0.80 ± 0.10	0.91 ± 0.14
	Старшая	0.91 ± 0.19	1.01 ± 0.19	0.82 ± 0.14	0.93 ± 0.13
Основная артерия					
Систолическая скорость	Младшая	2.32 ± 0.33	2.25 ± 0.37	2.12 ± 0.35	2.37 ± 0.28
	Средняя	2.13 ± 0.36	2.22 ± 0.41	2.08 ± 0.36	2.13 ± 0.26
	Старшая	1.94 ± 0.41	2.02 ± 0.32	1.97 ± 0.52	1.92 ± 0.25
Диастолическая скорость	Младшая	1.15 ± 0.19	1.07 ± 0.22	1.06 ± 0.20	1.23 ± 0.17
	Средняя	1.05 ± 0.24	1.10 ± 0.23	1.02 ± 0.16	1.07 ± 0.17
	Старшая	0.91 ± 0.21	0.98 ± 0.16	0.90 ± 0.21	0.99 ± 0.12

Примечание. В ячейках – значения средних величин и стандартных отклонений ( $m \pm s.d.$ ) доплеровских сдвигов частот. Для парных артерий данные усреднены по левой и правой артериям.

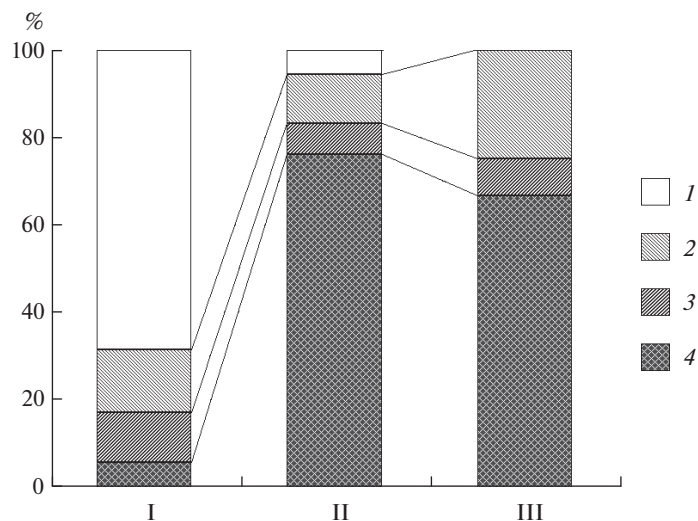
школьников метаболическая реакция в бассейнах обеих ЗМА была удовлетворительной, то в Мурманской обл. только у двух школьников величина реакции ЛСК превышала 20%-ный уровень, у остальных школьников была снижена с одной из сторон (у 8) или с обеих сторон (у 54, 78%). Из 12 представителей пос. Баренцбург у трех реакция была снижена с правой стороны, у одного – с левой и у восьми – билатерально, то есть в совокупности реакция была снижена у всех обследованных школьников. Выявлены значимые различия по частоте отклонения реакции от референтного уровня при сравнении данных школьников Субарктического и Арктического регионов с результатами обследования школьников из Северного региона ( $p < 0.001$ , сравнение выборочных долей).

С целью оценки интракраниального венозного оттока и выявления признаков венозной дисциркуляции в вертебробазилярном и каротидном бассейнах измеряли скорости кровотока в базальных и глазничных венах.

На рис. 3 представлены данные о частоте отклонений параметров венозного кровотока от клинических нормативных значений у школьников трех регионов.



**Рис. 1.** Показатели билатеральной асимметрии линейных скоростей кровотока ( $K_a$ ) у школьников-северян из Северного (I), Субарктического (II) и Арктического (III) регионов. Каждый значок соответствует данным одного школьника. Горизонтальной прямой обозначены границы нормативных значений для ПМА, вертикальной – для ЗМА.



**Рис. 2.** Сопоставление оценок метаболической реакции кровотока (цереброваскулярной реактивности) в бассейнах заднемозговых артерий у школьников из Северного (I), Субарктического (II) и Арктического (III) регионов. По оси ординат: относительное количество (в процентах) школьников, у которых метаболическая реакция не снижена (1), снижена с левой (2) или с правой (3) стороны, снижена билатерально (4).

Нарушением, а точнее усилением венозного оттока, которое создается увеличением разности давления в венозной системе, считали превышение уровня 20 см/с для средней ЛСК в базальной вене и устойчивый ретроградный, направленный из глазницы, венозный кровоток по глазничной вене с доплеровским сдвигом частот более 0.2–0.3 кГц.



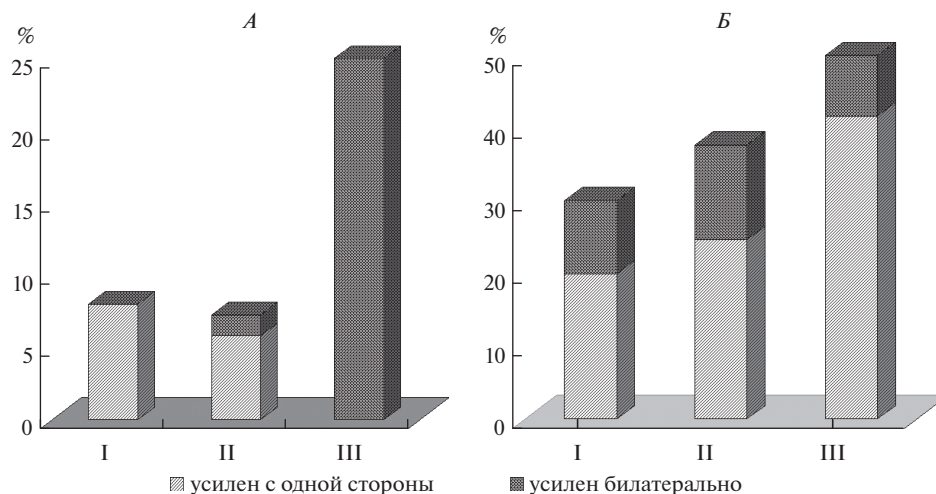


Рис. 3. Относительное количество школьников-северян с признаками внутричерепной венозной дисциркуляции и усилением оттока по базальным (А) и орбитальным (Б) венам. Регионы проживания: I – Северный, II – Субарктический, III – Арктический.

Превышающие нормативные значения ЛСК по базальным венам (вертебробазилярный бассейн) при обследовании 95 школьников из Архангельской обл. выявлены в пяти случаях с правой и в двух случаях с левой стороны (всего 8% случаев). Ретроградный кровоток по глазничным венам (каротидный бассейн) выявлен с обеих сторон у 10 школьников, с одной из сторон – у 20 школьников (всего 30% случаев). У школьников из пос. Ловозеро Мурманской обл. отмечено увеличение ЛСК по базальным венам с двух сторон в одном, с левой или правой стороны – в 4 случаях (всего 7% случаев), ретроградный кровоток по глазничным венам с обеих сторон в 9, с одной из сторон – в 17 случаях (всего 37% случаев). У школьников из пос. Баренцбург усиление оттока по базальным венам выявлено у трех из 12, ретроградный ток по глазничным венам – у шести.

Относительное количество школьников с измененным направлением кровотока по глазничным венам, свидетельствующем о повышении венозного давления в кавернозном синусе, в трех регионах значительно различалось у представителей Северного и Арктического регионов ( $p = 0.05$ ). Частота обнаружения усиленного венозного оттока по базальным венам в Арктическом регионе была значительно выше, чем в Северном ( $p < 0.001$ ) и Субарктическом ( $p < 0.001$ ) и не различалась у представителей Северного и Субарктического регионов.

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Сочетанное воздействие комплекса негативных климатогеографических факторов Севера оказывает влияние на центральную и мозговую гемодинамику детей и подростков школьного возраста, вызывая как их адаптивные перестройки, направленные на адекватное обеспечение процессов метаболизма, так и некоторые дизадаптационные функциональные нарушения, связанные с перенапряжением механизмов регуляции.

Возрастная динамика изученных нами показателей центральной гемодинамики согласуется с известными сведениями об увеличении САД и ДАД и уменьшении ЧСС у школьников от младших к старшим классам [14, 15]. Сопоставление полу-

ченных нами данных с результатами исследования, проведенного на большой группе детей и подростков-северян, проживающих в г. Сыктывкар [14], показало, что у большинства обследованных учащихся из с. Климовское Архангельской обл. (оба населенных пункта относятся к Северному региону) ЧСС, ДАД и, в меньшей степени, САД были относительно снижены как у мальчиков, так и у девочек, особенно в старшей возрастной группе. У девочек из Субарктического региона (пос. Ловозеро, Кольский п-ов, Мурманская обл.) в старшем школьном возрасте увеличивается межиндивидуальный разброс ЧСС, чаще со смещением в сторону брадикардии, а также отмечается тенденция к повышению САД. У подростков, проживающих в Центральной Арктике (пос. Баренцбург, арх. Шпицберген) в большинстве случаев относительно повышены как САД, так и ДАД даже на фоне тенденции к урежению ЧСС. Судя по результатам сопоставления изменений этих показателей у представителей всех трех регионов, степень напряжения механизмов регуляции кардиогемодинамики, о чем свидетельствует увеличение индивидуального разброса ЧСС и тенденция к повышению САД и ДАД, возрастает у школьников Субарктического региона в сравнении с Северным регионом и наиболее выражена у подростков Арктического региона. Подобное ранжирование школьников по регионам по показателям центральной гемодинамики соответствует росту степени суровости природно-климатических условий внешней среды.

По температурным показателям, продолжительности холодного периода, степени контрастности изменений продолжительности солнечных суток летом и зимой (от полярного дня до полярной ночи) степень жесткости природно-климатических условий возрастает с увеличением географической широты региона: в Коношском районе Архангельской обл. они менее жесткие, чем в Ловозерском районе Мурманской обл., тогда как самые суровые – на Шпицбергене, где средняя годовая температура составляет  $-5.9^{\circ}\text{C}$ . Температура в июле в среднем  $+4.2^{\circ}\text{C}$ , в феврале около  $-13.6^{\circ}\text{C}$ . Продолжительность периода со средней суточной температурой воздуха  $\leq 0^{\circ}\text{C}$  – 216 дней. Полярная ночь продолжается с 28 октября по 14 февраля, полярный день длится с 20 апреля по 22 августа.

Адекватность кровоснабжения мозга при поддержании его функциональной активности зависит от регуляторных механизмов, которые обеспечивают относительную независимость мозгового кровотока от изменений условий внешней среды и системной гемодинамики. В сравнении с нормативными данными по умеренному климатическому поясу (по [20–22]), усредненные по возрастным группам величины систолической и диастолической ЛСК в СМА у школьников, проживающих в Северном регионе, Субарктической и Арктической зоне, были ниже средних “нормативных” значений. Эти различия были значительно больше выражены у мальчиков, чем у девочек. Средние ЛСК по основной артерии у школьников-северян превышали нормативные значения. Средние ЛСК по ЗМА и ПМА для соответствующих возрастных групп значимо не различались при сравнении показателей школьников умеренного пояса и трех северных регионов.

На величины систолической и диастолической ЛСК наибольшее влияние оказывал фактор Возраст. ЛСК в СМА, ПМА, ЗМА и основной артерии снижались у школьников от младших к старшим классам. Снижение ЛСК по магистральным артериям мозга в подростковом возрасте, отмеченное в нашем исследовании, согласуется с данными других авторов [20–22]. Снижение мозгового кровотока у детей и подростков школьного возраста коррелирует с постепенным снижением уровня метаболизма мозга, который повышен у детей 4–7 лет с показателями потребления кислорода 200–250% [23] и утилизации глюкозы 190–226% (по данным ПЭТ) [24]) от соответствующих значений у взрослых.

Влияние фактора Пол отразилось на систолической и диастолической ЛСК в СМА и на диастолической ЛСК в ЗМА, которые у девочек были выше, чем у маль-

чиков. В литературе с нормативными величинами доплерографических показателей ЛСК в артериях мозга зачастую отсутствуют сведения о половых различиях скоростных характеристик мозгового кровотока. Между тем имеются данные о более высоких ЛСК в СМА у женщин в сравнении с мужчинами [25], а также в СМА и основной артерии у подростков-девушек в сравнении с юношами в пубертатный период [26]. Эти различия могут быть объяснены особенностями гормональных “профилей” двух полов: эстроген снижает тонус сосудов сопротивления и усиливают мозговой кровоток, тогда как тестостерон обнаруживает противоположный эффект повышения сосудистого тонуса [27]. Однако имеются сведения, что и в более младшем возрасте (до пубертатного периода), у девочек от 4 до 8 лет скорости кровотока в СМА и основной артерии выше, чем у сверстников-мальчиков, что может быть обусловлено различиями у девочек и мальчиков в уровнях церебрального метаболизма [28].

Влияние фактора Регион проявилось на величинах ЛСК в ПМА, а также в ЗМА. У школьников из Мурманской обл. ЛСК в ЗМА в среднем были ниже, чем у сверстников из Архангельской обл. Как известно, величины ЛСК, измеренные в одноименных артериях мозга у различных обследуемых, в норме могут существенно варьировать. Поэтому важное значение имеют индивидуальные оценки билатеральной асимметрии ЛСК, которые могут прямо или косвенно указывать не только на региональное снижение уровня кровотока, но и на изменения тонуса артерий.

Если билатеральная асимметрия ЛСК по СМА у всех обследованных детей (за исключением одного школьника из пос. Баренцбург) не превышала нормативных значений, то индивидуальные показатели асимметрии ЛСК по ЗМА и ПМА изменялись в широких пределах. Нормативные величины асимметрии ЛСК различаются для различных сосудов, что определяется анатомическими особенностями строения сосудистой системы и физическими условиями локации. Билатеральная асимметрия ЛСК по СМА обычно не превышает 10% [21, 22]–15% [20]. Относительно конкретных “допустимых” величин асимметрии ЛСК по ПМА и ЗМА нет единого мнения. В данном исследовании мы сопоставляли систолическую ЛСК и считали значимой асимметрию более 15% по СМА и более 20% по ПМА и ЗМА. Относительное количество школьников с превышением этого нормативного уровня асимметрии ЛСК увеличивалось в соответствии с ростом суровости природно-климатических условий от Северного региона к Арктической зоне, и выявлялось у каждого второго школьника, проживающего на арх. Шпицберген.

Сведения относительно билатеральной асимметрии мозгового кровотока у школьников, проживающих на Европейском Севере, а тем более в Центральной Арктике, практически отсутствуют. В работе с использованием реоэнцефалографической методики показано, что у учащихся-северян старших классов показатели кровенаполнения в каротидном бассейне правого полушария выше, чем левого полушария, т.е. формируется “правополушарная асимметрия мозгового кровотока” [16]. В сравнении с исследованием [29], в котором участвовали школьники Северо-Эвенска (север Магаданской обл., район Крайнего Севера, отличающийся суровыми природными условиями), на Европейском Севере (Северный регион) относительное количество детей и подростков со значимой билатеральной асимметрией ЛСК по ПМА и ЗМА было меньше. Среди школьников Субарктического региона показатели асимметрии ЛСК по ЗМА были ниже, а по ПМА соответствовали таковым у сверстников из Северо-Эвенска. Таким образом, по относительному количеству детей и подростков с билатеральной асимметрией ЛСК в каротидном и вертебробазилярном бассейнах северные районы, в которых проходили данные обследования, можно ранжировать в том же порядке, в каком следует нарастание степени жесткости природно-климатических условий: Европейский

Север (умеренный пояс), Субарктический регион, Дальневосточный север, Центральная Арктика.

Причиной возникновения различий в скоростях кровотока по гомологичным артериям, если не предполагать снижение или повышение в одном из полушарий мозга уровня метаболизма мозговой ткани в бассейне питающей артерии, может быть разница в величине просвета сосуда. Площадь просвета сосуда не является величиной постоянной, она регулируется за счет напряжения мышц сосудистой стенки, которое определяется как тонус сосуда. По ряду причин тонус может изменяться, при этом на доплерограмме повышение тонуса артерии отражается в увеличении линейной скорости кровотока и повышении жесткости сосудистой стенки, снижение тонуса – в уменьшении ЛСК и определенных вариантах изменений формы огибающей доплерографического спектра. Такое устойчивое повышение и снижение тонуса сосудов, как генерализованное, так и ограниченное определенным сосудистым бассейном, может характеризоваться как церебральная ангиодистония [30]. Менее частой причиной асимметрии ЛСК в гомологичных артериях помимо различия диаметров сосудов может быть также атипичное формирование и строение артериальной системы основания мозга с разомкнутым виллизиевым кругом и вариантами нетипичного ответвления артерий.

Среди обследованных нами школьников по результатам компрессионной пробы гипоплазия передней соединительной артерии выявлена только в двух случаях, гораздо чаще (в 21% случаев) заподозрена гипоплазия одной из задних соединительных артерий. Между тем доля случаев с асимметрией ЛСК по ПМА была выше, чем с асимметрией по ЗМА, и в этом отношении особенно выделяются школьники из Мурманской обл. с соотношением отклонений показателей ПМА к ЗМА как 13 : 2. Если асимметрия ЛСК в ЗМА обычно проявлялась снижением ЛСК в одной из ЗМА, то ЛСК в ПМА с одной стороны могли быть повышены, с другой – снижены с изменением формы доплерограммы. Предположения о причинах таких региональных изменений тонуса артерий были высказаны нами в работе [29]. К числу важных факторов, вызывающих нарушения тонуса магистральных артерий и формирование билатеральной асимметрии ЛСК, могут быть отнесены вертеброгенные влияния, которые обусловлены не только морфофункциональными нарушениями в шейном, но и в грудном и поясничном отделе позвоночника (нарушения осанки, сколиоз). Как известно, ганглии шейно-грудного отдела симпатического ствола являются источником иннервации сосудов головного мозга. Иннервация сосудов каротидного бассейна обеспечивается, главным образом, краниальным шейным узлом, к сосудам вертебробазиллярного бассейна основная масса проводников направляется из звездчатого узла [31]. Вертеброгенные раздражения симпатических сплетений и нервно-сосудистого пучка могут вызывать разнообразные рефлекторные нейроваскулярные реакции даже при относительно небольших изменениях в шейном отделе позвоночника [32]. Патология костно-мышечной системы весьма распространена среди детей и подростков Севера [33].

Важной характеристикой гемодинамики мозга является оценка цереброваскулярной реактивности и, в частности, эффективности метаболической регуляции кровоснабжения при функциональной активации ЦНС. При зрительной нагрузке при сравнении со спокойным состоянием с закрытыми глазами в норме ЛСК в ЗМА у взрослых, возрастает, в среднем, на 27–29% [20]. Данная функциональная проба используется в клинической практике, повышение ЛСК по ЗМА менее чем на 20% может служить признаком скрытого дефицита метаболической регуляции в бассейне ЗМА.

Если у большинства (70%) школьников, проживающих в Архангельской обл. в умеренном климатическом поясе Северного региона, метаболическая реакция в бассейнах обеих ЗМА удовлетворительная, то среди школьников, проживающих за

Полярным кругом (Субарктический и Арктический регионы), ситуация менялась на противоположную. Только в двух случаях уровень метаболической реакции кровотока для обеих ЗМА соответствовал нормативным значениям. При этом у 78% школьников из пос. Ловозеро и у 8 из 12 школьников из пос. Баренцбург метаболическая реакция была снижена одновременно в бассейнах правой и левой ЗМА.

Низкие показатели метаболической реакции, как и более низкие ЛСК по ЗМА, кровоснабжающей корковые и подкорковые центры зрительной системы мозга, у детей и подростков Субарктического региона могут отражать сниженный уровень функциональной реактивности этой анализаторной системы мозга, обусловленный относительной сенсорной депривацией в период длительных сумерек и полярной ночи. По данным ЭЭГ, исследования школьников, проживающих на арх. Новая Земля (Центральная Арктика) [34], в период полярной ночи сглажены различия по мощности ЭЭГ между состоянием покоя с открытыми и закрытыми глазами, которые характеризуют резервы активации мозга в условиях зрительной нагрузки. В условиях полярного дня уровень этих различий увеличивается, далеко не достигая при этом показателей реакции активации ЭЭГ у сверстников из умеренного климатического пояса. Постоянное проживание в северных широтах в условиях контрастной фотопериодики в полярную ночь и полярный день приводит к появлению специфических функциональных перестроек, формированию “структурного следа” в механизмах метаболической регуляции мозгового кровотока, как это показано на уровне сезонных адаптивных реакций эндокринной системы у детей и подростков [35].

Ультразвуковая доплерография является одним из эффективных методов раннего выявления скрытых нарушений оттока крови из сосудистой системы головного мозга. На ранних стадиях венозная дисциркуляция протекает бессимптомно, однако в местах, где постоянно наблюдается нарушение оттока крови, развиваются застойные явления, что запускает каскад патологических изменений. Венозная система головного мозга богата анастомозами и зачастую затруднение оттока крови, по данным УЗДГ, определяются не столько по снижению его скорости в месте его нарушения, сколько по его усилению (повышению скорости) по коллатеральным путям. В частности, увеличение средней ЛСК по базальным венам (которая в норме составляет от 10 до 20 см/с [36]) является признаком затруднения венозного оттока. При затруднении оттока крови из системы поверхностных вен мозга, которое может быть вызвано сдавлением мостиковых вен вследствие повышения внутричерепного давления, происходит перераспределение венозного кровотока — основной отток крови идет не через верхний сагиттальный синус, а по системе глубоких вен в прямой синус, где увеличивается скорость кровотока [20]. Такие признаки венозной дисциркуляции, как повышенные ЛСК в базальных венах, наблюдались в редких (7–8%) случаях у школьников Северного и Субарктического регионов, но были выявлены в трех случаях в сравнительно небольшой выборке школьников из Баренцбурга.

Ретроградный (направленный из области глазницы наружу) кровоток по левой или правой глазничным венам, который может свидетельствовать о повышенном венозном давлении в кавернозном синусе, выявлялся наиболее часто у представителей Центральной Арктики, наименее часто — у представителей Северного региона, что также отражало “широтную” зависимость и степень жесткости климатических условий. Нередко причиной ретроградного кровотока по одной из глазничных вен может быть компрессия внутренней яремной вены (с усилением оттока по наружным яремным венам), обусловленная дисплазиями, натальными и постнатальными повреждениями шейного отдела позвоночника [37], при этом важное место в генезе динамических расстройств венозного кровообращения принадлежит миофасциальному болевому синдрому шейной локализации [38].

Таким образом, при доплерографическом обследовании у многих детей и подростков из Субарктического и у большинства представителей Арктического регио-

на наблюдается целый ряд изменений характеристик артериального и венозного кровотока, которые рассматриваются как проявления синдрома церебральной ангиодистонии. На начальных этапах формирования данного дисциркуляторного расстройства появление доплерографических знаков церебральной ангиодистонии может не сопровождаться характерной клинической симптоматикой. Зачастую нейроциркуляторная дистония развивается на фоне дизадаптивных изменений центральной гемодинамики и вегетативной сосудистой дистонии.

Здоровые дети на Севере по сравнению со сверстниками средней полосы России имеют более низкий уровень показателей гемодинамики и внешнего дыхания [14, 15]. Особенно наглядно эти отклонения проявляются в периоды года, связанные с переходом от осени к зиме, от зимы к весне. В периоды смены сезонов у детей-северян отмечается повышенный тонус сосудов, низкий уровень систолического и минутного объема кровотока. Увеличение общего периферического сопротивления сосудов приводит к повышению показателей систолического и диастолического артериального давления, а также среднего гемодинамического давления, что указывает не только на процесс мобилизации сердечно-сосудистой системы, но и на повышение энергетических затрат и уменьшение эффективности работы сердца [8, 15].

В процессе приспособления к холоду одним из мощных нейрогуморальных регуляторов является повышение активности симпатoadреналовой системы [8]. Преобладание активности симпатического отдела ВНС в регуляции физиологических функций в зимний период находит отражение в показателях вариабельности сердечного ритма. В зимне-весенний период перенапряжение симпатического контура регуляции тонуса приводит к росту активности центральных механизмов регуляции и повышению роли парасимпатического отдела ВНС [14, 39, 40]. О напряжении деятельности сердечно-сосудистой системы в это время свидетельствует также увеличение частоты неблагоприятных (особенно сосудистого) типов ее саморегуляции [14, 40]. Таким образом, адаптационная перестройка этой системы у школьников в весеннее время года на Севере протекает с ухудшением типа саморегуляции, снижением функциональных возможностей и истощением резервов. Изменения показателей мозгового кровообращения могут быть отражением как синергично действующих процессов, связанных с балансом симпатических и парасимпатических влияний, так и компенсаторных реакций в ответ на перестройку системной гемодинамики.

Повторяющееся длительное воздействие низких температур является стрессогенным фактором для организма, вызывающим вегетативные нарушения, рост периферического сосудистого сопротивления, повышение артериального давления, увеличение уровней адренкортикотропного гормона, глюкокортикостероидов, катехоламинов, тиреотропного гормона, альдостерона и активности ренина плазмы крови [6, 8].

Стрессорные воздействия побуждают организм вырабатывать индивидуальные стратегии выживания, направленные на поддержание жизнедеятельности путем “достижения стабильности через изменения” или “аллостаза” [41]. Согласно концепции аллостаза [42], организм запрограммирован на будущий результат, эффективность адаптации требует предсказания изменений параметров среды с настройкой сенсорных каналов и эффекторных систем под ожидаемые изменения, и эта предсказуемая регуляция находится под контролем ЦНС.

На начальном этапе адаптации к интенсивным изменениям внешней среды реализуется срочный, но несовершенный набор приспособительных реакций. Эти неспецифические системные реакции позволяют поддерживать адекватное жизнеобеспечение за счет усиленного использования функциональных резервов. Основным условием завершения в организме процесса адаптации является возвращение параметров гомеостатических систем к исходному уровню либо стабилизация их на новом уровне. Состояние “незавершенной адаптации” [8] характеризуется повышенной тревож-

ностью, нарушениями сна, депрессивными состояниями, снижением физической и умственной работоспособности, сдвигами гормонального статуса, снижением клеточного и гуморального иммунитета. Возможно, состояние незавершенной адаптации возникает в силу ограничения времени экспозиции экстремального фактора, периодичности смены вектора процессов акклиматизации то к холодному, то к более теплomu сезону года. Закрепление незавершенной адаптации происходит в результате нарушения межсистемной координации функций, когда обеспечение одних физиологических систем происходит за счет перенапряжения других [40].

В результате изучения гемодинамических, кардиологических, пульмонологических аспектов адаптации, иммунологической реактивности, эндокринных сдвигов, изменений энергетического обмена, эффектов влияния экстремальных факторов на физиологические процессы в организме и психосоматический статус человека были сформулированы концепции о “северном гипоксическом синдроме” [1], “синдроме полярного напряжения” [4], “полярном метаболическом типе” [9]. Хотя эти синдромы и не являются свидетельством развивающейся патологии, они служат индикатором риска и характеризуют определенную уязвимость организма человека.

Состояния дизадаптации характеризуются нарушениями регуляции тонуса артерий и артериол, приводящими к изменению уровня и эффективности мозгового кровотока. Эти нарушения могут быть как диффузными, затрагивающими кровообращение мозга в целом, так и ограниченным отдельными сосудистыми бассейнами. Церебральная ангиодистония – это патология, выражающаяся в нарушении способности кровеносных сосудов головного мозга адекватно реагировать на изменения во внешней и внутренней среде [30]. Выявленные в весенний в сравнении с осенним периодом перестройки мозгового и системного кровообращения связаны с адаптационными реакциями в ответ на резкие изменения геофизических и метеорологических условий в весенний период, когда резко возрастают инсоляция, длительность дня, температура воздуха, физическая активность детей (после нескольких месяцев относительной гипокинезии).

Гипокинезия является важным фактором, который оказывает влияние на эффективность процессов адаптации к условиям среды, и сама по себе обуславливает перестройку механизмов регуляции сосудистого тонуса. Она связана с ограничением времени пребывания на свежем воздухе и двигательной активности детей и подростков-северян в зимнее время в условиях полярной ночи и низких температур. В настоящее время установлено, что гипокинезия – особый вид стресса, который зачастую может быть причиной недомоганий и появления неврологических симптомов. Среди обширного числа работ, посвященных влиянию ограничения двигательной активности на организм, исследования, освещающие вопросы мозгового кровотока, немногочисленны и в основном связаны с условиями космического полета. Установлено, что состояние гипокинезии сопровождается снижением пульсового кровенаполнения, повышение тонуса артерий крупного и мелкого калибра. Отмечают также перестройку микроциркуляторного русла и ухудшение реологических свойств крови [43, 44]. Не менее важным является изменение при длительной гипокинезии реакции мозговых сосудов к различным воздействиям, в особенности к колебаниям артериального давления, в частности при изменениях положения тела. При ограничении двигательной активности важную роль играет снижение гидростатического давления крови и ее перераспределение. В связи с уменьшением естественных колебаний гидростатического давления снижается уровень раздражения артериальных барорецепторов, затрудняется отток крови из полости черепа [43]. Отсутствие ежедневного раздражения барорефлекторных механизмов сосудистой системы при различных движениях тела имеет следствием детренированность компенсаторно-приспособительных механизмов, при этом в

определенной степени теряется адекватность рефлекторной регуляции тонуса мозговых сосудов, что ярко проявляется при проведении ортостатических проб [43].

Таким образом, сравнительные исследования состояния системного и мозгового кровообращения у детей и подростков школьного возраста, проживающих в суровых климатогеографических условиях Европейского Севера (Архангельская обл.), Заполярья (Кольский п-ов, Мурманская обл.) и Центральной Арктики (арх. Шпицберген), показали наличие как сезонных колебаний параметров гемодинамики, их возрастных перестроек, так и функциональных нарушений, связанных с высоким уровнем адаптационного напряжения центральных и вегетативных механизмов регуляции. С помощью функциональной краниодопплерографии установлено, что количество функциональных отклонений в системе регуляции мозгового кровообращения зависит от степени суровости окружающей среды. Так, у детей и подростков Центральной Арктики и Заполярья по сравнению со сверстниками из Архангельской обл. отмечается более высокий уровень адаптационного напряжения центральных регуляторных систем организма, что проявляется в изменениях тонуса артериол и артерий мозга, снижении эффективности метаболической регуляции кровотока в условиях функциональной активации ЦНС, в признаках интракраниальной венозной дисциркуляции. На основании полученных данных выдвинута гипотеза о том, что в суровых климатогеографических условиях Арктики у детей и подростков может формироваться особое дизадаптационное функциональное состояние системной регуляции мозгового кровообращения, которое можно назвать как “синдром полярной нейроциркуляторной дистонии”. Основными объективными признаками этого состояния являются: а) снижение метаболической гемодинамической реакции при активации мозга на фоне высокой вегетативной лабильности мозгового кровотока; б) более высокая частота обнаружения признаков церебральной ангиодистонии в форме асимметрии скоростей кровотока в магистральных сосудах мозга и нарушений тонуса артерий; в) более частые и выраженные признаки венозной дисциркуляции, в том числе усиление внутрочерепного венозного оттока по базальным венам. Клинически этот синдром проявляется как общая астения, вялость, частые головные боли, психомоторная заторможенность, сонливость, снижение общей работоспособности и социальной активности. В принципе, “синдром полярной нейроциркуляторной дистонии” может являться составной частью более общего дизадаптационного расстройства организма – “синдрома полярного напряжения” [4], который, однако, является более сложным и фактически отражает истощение адаптационных механизмов при длительном воздействии на человека всего комплекса экстремальных факторов полярных регионов [3] и “состояние незавершенной адаптации” [8].

Своевременная диагностика “синдрома полярной нейроциркуляторной дистонии” имеет важное значение для проведения соответствующих коррекционных мер, предупреждающих его дальнейшее развитие и препятствующих формированию вторичной тканевой гипоксии, обуславливающей задержку темпов возрастного развития ЦНС и когнитивных функций у детей и подростков.

Работа выполнена в рамках Госзадания ФАНО № АААА-А18-118012290142-9.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авцын А.П., Марачев А.Г. Проявления адаптации и дизадаптации у жителей Крайнего Севера. Физиология человека. 1(4): 587–600. 1975. [Avsyn A.P., Marachev A.G. Manifestations of adaptation and disadaptation among the inhabitants of the Far North. Hum. Physiol. 1(4): 587–600. 1975. (In Russ.).]
2. Хаснулин В.И., Хаснулин П.В. Современные представления о механизмах формирования северного стресса у человека в высоких широтах. Экология человека. 1: 3–11. 2012. [Hasnulin V.I., Hasnulin P.V. Modern concepts of the mechanisms forming the north of stress in humans in high latitudes. Human Ecology. 1: 3–11. 2012. (In Russ.).]



3. Новиков В.С., Сороко С.И., Шустов Е.Б. Деадаптационные состояния человека при экстремальных воздействиях и их коррекция. СПб. Политехника-принт. 2018. [Novikov V.S., Soroko S.I., Shustov E.B. Disadaptation states of man to exposure to extreme conditions and their correction. SPb. Politekhnik-a-print. 2018. (In Russ.)].
4. Казначеев В.П. Современные аспекты адаптации. Новосибирск. Наука. 1980. [Kaznacheev V.P. Sovremennyy'e aspekty' adaptatsii [Modern aspects of adaptation]. Novosibirsk. Nauka. 1980. (In Russ.)].
5. Arendt J. Biological rhythms during residence in Polar Regions. Chronobiol. Int. 29 (4): 379–394. 2012.
6. Бойко Е.Р. Физиолого-биохимические основы жизнедеятельности человека на Севере. Екатеринбург. УрО РАН. 2005. [Bojko E.R. Fiziologo-biohimicheskie osnovy' zhiznedeyatel'nosti cheloveka na Severe [Physiological and biochemical basis of human life in the North]. Ekaterinburg. UrO RAN. 2005. (In Russ.)].
7. Сороко С.И., Максимова И.А., Протасова О.В. Возрастные и половые особенности содержания макро- и микроэлементов в организме детей на Европейском Севере. Физиология человека. 40(6): 23–33. 2014. [Soroko S.I., Maksimova I.A., Protasova O.V. Age and gender characteristics of the content of macro- and trace elements in the organisms of the children from the European North. Fiziol. Cheloveka [Hum. Physiol.] 40(6): 23–33. 2014. (In Russ.)].
8. Кривошеков С.Г., Леутин В.П., Чухрова М.Г. Психофизиологические аспекты незавершенных адаптаций. Новосибирск. Наука. 1998. [Krivoshchekov S.G., Leutin V.P., Chukhrova M.G. Psikhofiziologicheskie aspekty nezavershennykh adaptatsij. [Psychophysiological aspects of incomplete adaptation]. Novosibirsk. Nauka. 1998. (In Russ.)].
9. Панин Л.Е. Энергетические аспекты адаптации. Л. Медицина. 1978. [Panin L.E. E'nergeticheskie aspekty' adaptatsii [Energy aspects of adaptation]. Leningrad. Medicina. 1978. (In Russ.)].
10. Рапопорт Ж.Ж. Адаптация ребенка на Севере. Л. Медицина. 1979. [Rappoport Zh.Zh. Adaptatsiya rebenka na Severe [Adaptation of the child in the North]. Leningrad. Medicina. 1979. (In Russ.)].
11. Ткачев А.В., Бойко Е.Р., Губкина З.Д., Раменская Е.Б., Суханов С.Г. Эндокринная система и обмен веществ у человека на Севере. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН. 1992. [Tkachev A.V., Bojko E.R., Gubkina Z.D., Ramenskaya E.B., Sukhanov S.G. E'ndokrinnaya sistema i obmen veshchestv u cheloveka na Severe [Endocrine system and metabolism in humans in the North]. Sy'kty'vkar: Komi NCz UrO RAN. 1992. (In Russ.)].
12. Добродеева Л.К., Сенькова Л.В. Состояние иммунной системы у человека на Севере. В кн.: Проблемы экологии человека. Архангельск. Северный мед. университет. 69–76. 2000. [Dobrodeeva L.K., Sen'kova L.V. Sostoyanie immunnnoy sistemy' u cheloveka na Severe [The state of the immune system in humans in the North]. In: Problemy' e'kologii cheloveka. Arhangel'sk. Severny'j med. universitet. 69–76. 2000. (In Russ.)].
13. Данишевский Г.М. Патология человека и профилактика заболеваний на Севере. М. Медицина. 1968. [Danishevskij G.M. Patologiya cheloveka i profilaktika zabolevanij na Severe [Human pathology and disease prevention in the North]. Moscow. Medicina. 1968. (In Russ.)].
14. Евдокимов В.Г., Рогачевская О.В., Варламова Н.Г. Модулирующее влияние факторов Севера на кардиореспираторную систему человека в онтогенезе. Екатеринбург. УРО РАН. 2007. [Evdokimov V.G., Rogachevskaya O.V., Varlamova N.G. Moduliruyushhee vliyanie faktorov Severa na kardior respiratornuyu sistemu cheloveka v ontogeneze [Modulating influence of factors of the North on cardiorespiratory system of the person in ontogenesis]. Ekaterinburg. URO RAN. 2007. (In Russ.)].
15. Грибанов А.В., Гудков А.Б., Попова О.Н., Крайнова И.Н. Кровообращение и дыхание у школьников в циркулярных условиях. Архангельск: САФУ. 2016. [Gribanov A.V., Gudkov A.B., Popova O.N., Krajnova I.N. Krovoobrashhenie i dyhanie u shkol'nikov v cirkumpol'yarnykh usloviyakh [Blood circulation and breathing in schoolchildren in circumpolar conditions]. Arhangel'sk: SAFU. 2016. (In Russ.)].
16. Грибанов А.В., Федотов Д.М., Мелькова Л.А. Возрастные особенности межполушарной асимметрии церебрального кровотока у детей и подростков на Европейском Севере. Рос. физиол. журн. им. И.М. Сеченова. 102(2): 216–224. 2016. [Gribanov A.V., Fedotov D.M., Mel'kova L.A. Age features of cerebral blood flow hemispheric asymmetry in children and adolescents in European North. Russ.J. Physiol. 102(2): 216–224. 2016. (In Russ.)].
17. Сороко С.И., Бурых Е.А., Бекшаев С.С., Сидоренко Г.В., Сергеева Е.Г., Хованских А.Е., Кормилицын В.Н., Моралев С.Н., Ягодина О.В., Добродеева Л.К., Максимова И.А., Протасова О.В. Characteristics of the formation of systems activity in the brain and autonomic functions in children in conditions of the European North (discussion paper). Neurosci. Behav. Physiol. 37(9): 857–874. 2007.
18. Aaslid R. Transcranial doppler examination techniques. In: Transcranial Doppler Sonography. Wien, N.Y. Springer Verlag. 39-59. 1986.

19. Москаленко Ю.Е., Бекетов А.И., Орлов Р.С. Мозговое кровообращение. Физико-химические приемы исследования. Л. Наука. 1988. [Moskalenko Yu.E., Beketov A.I., Orlov R.S. Mozgovoje krovoobrashhenie. Fiziko-himicheskie priemy' issledovaniya [Cerebral circulation. Physicochemical methods of research]. Leningrad. Nauka. 1988. (In Russ.)].
20. Шахнович А.Р., Шахнович В.А. Диагностика нарушений мозгового кровообращения. Транскраниальная доплерография. М. Медицина. 1996. [Shachnovich A.R., Shachnovich V.A. Diagnosis of cerebral circulation disturbances. Transcranial Dopplerography. Moskow. Medicina. 1996. (In Russ.)].
21. Bode H., Wais U. Age dependence of flow velocities in basal cerebral arteries. Archiv. disease childhood. 63: 606–611. 1988.
22. Росин Ю.А. Допплерография сосудов головного мозга у детей. СПб. Санкт-Петербургское книжное издательство. 2004. [Rosin Yu.A. Dopplerografiya sududov golovnogo mozga u detej [Dopplerography of cerebral vessels in children]. SPb. Sankt-Peterburgskoe knizhnoe izdatel'stvo. 2004. (In Russ.)].
23. Clarke D.D., Sokoloff L. Circulation and energy metabolism of the brain. In: Sigel G.J., Agrano B.W., Albers R.W., Fisher S.K., Uhler M.D. (eds.). Basic Neurochemistry: Molecular, Cellular and Medical Aspects. Lippincott-Raven. Philadelphia. 637–669. 1999.
24. Brown, T.T., Jernigan T.L. Brain development during the preschool years. Neuropsychol. Rev. 22(4): 313–333. 2012.
25. Vriens E.M., Kraaier V., Musbach M., Wieneke G.H., van Huffelen A.C. Transcranial pulsed Doppler measurements of blood velocity in the middle cerebral artery: reference values at rest and during hyperventilation in healthy volunteers in relation to age and sex. Ultrasound. Med. Biol. 15(1): 1–8. 1989.
26. Vavilala M.S., Kincaid M.S., Muangman S.L., Suz P., Rozet I., Lam A.M. Gender differences in cerebral blood flow velocity and autoregulation between the anterior and posterior circulations in healthy children. Pediatr. Res. 58(3): 574–582. 2005.
27. Gonzales R.J. Androgens and the cerebrovasculature: modulation of vascular function during normal and pathophysiological conditions. Pflugers Arch. 465(5): 627–642. 2013.
28. Tontisirin N., Muangman S.L., Suz P., Pithoker C., Fisk D., Moore A., Lam A.M., Vavilala M.S. Early childhood gender differences in anterior and posterior cerebral blood. Pediatrics. 119: 610–615. 2007.
29. Рожков В.П., Николаев, И.В., Сороко С.И. Сравнительная оценка показателей гемодинамики мозга у детей школьного возраста, проживающих на Дальневосточном и Европейском Севере. Рос. физиол. журн. им. И.М. Сеченова. 97(10): 1113–1133. 2011. [Rozhkov V.P., Nikolaev I.V., Soroko S.I. Comparative assessment of cerebral hemodynamics in school-age children living in the Far Eastern and European North. Russ. J. Physiol. 97(10): 1113–1133. 2011. (In Russ.)].
30. Кухтевич И.И. Церебральная ангиодистония в практике невропатолога и терапевта. М. Медицина. 1994. [Kukhtevich I.I. Cerebral'naya angiodystoniya v praktike nevropatologa i terapevta [Cerebral angiodystonia in the practice of a neurologist and therapist]. Moskow. Medicina. 1994. (In Russ.)].
31. Ноздрачев А.Д., Чернышова М.П. Висцеральные рефлексы. Л. Изд-во Ленинградского университета. 1989. [Nozdrachev A.D., Cherny'shova M.P. Visceral'ny'e refleksy [Visceral reflexes]. Leningrad. Izd-vo Leningradskogo universiteta. 1989. (In Russ.)].
32. Салазкина В.М., Брагина Л.К., Калиновская И.Я. Дисциркуляция в вертебро-базиллярной системе при патологии шейного отдела позвоночника. М. Медицина. 1977. [Salazkina V.M., Bragina L.K., Kalinovskaya I.Ya. Discirkulyaciya v vertebro-bazilyarnoj sisteme pri patologii shejnogo otdela pozvonochnika [Dyscirculation in the vertebro-basilar system in the pathology of the cervical spine]. Moskow. Medicina. 1977. (In Russ.)].
33. Годовых Т.В., Годовых В.В. Здоровье детей Чукотки. Магадан. СВНЦ ДВО РАН. 2006. [Godovykh T.V., Godovykh V.V. Zdorov'e detej Chukotki [Health of Chukotka children]. Magadan. SVNC DVO RAN. 2006. (In Russ.)].
34. Сороко С.И., Андреева С.С., Бекшаев С.С. Перестройки параметров электроэнцефалограммы у детей – жителей о. Новая Земля. Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2: 49–59. 2009. [Soroko S.I., Andreeva S.S., Bekshaev S.S. The EEG parameters changes in children on Novaya Zemlya Island. Bulletin of the North-East Scientific Center, Russia Academy of Sciences Far East Branch. 2: 49–59. 2009. (In Russ.)].
35. Кубасов Р.В., Демин Д.Б., Ткачев А.В. Адаптивные реакции эндокринной системы у детей в условиях контрастной фотопериодики. Физиология человека. 32(4): 89–96. 2006. [Kubasov R.V., Demin D.B., Tkachev A.V. Adaptive reactions of the endocrine system of children living under conditions of contrasting photoperiods. Fiziol. Cheloveka [Hum. Physiol.]. 32(4): 89–96. 2006. (In Russ.)].

36. Valdueza J.M., Schmierer K., Mehraein S., Einhdupl K.M. Assessment of normal flow velocity in basal cerebral veins. A transcranial Doppler ultrasound study. *Stroke* 27: 1221–1225. 1996.
37. Бердичевский М.Я. Венозная дисциркуляторная патология головного мозга. М. Медицина. 1989 [*Berdichevskiy M.Ya.* Venoznaya discirkulyatornaya patologiya golovnogo mozga [Venous discirculatory pathology of the brain]. Moscow. Medicina. 1989. (In Russ.)].
38. Андреев А.В., Лобанова Л.В., Ермолин И.Е. Транскраниальная доплерография и вариационная пульсометрия в диагностике церебральных ангиодистоний у детей. *Журн. невропатол. и психиатрии*. 3: 22–23. 1994. [*Andreev A.V., Lobanova L.V., Ermolin I.E.* Transkranial'naya dopplerografiya i variacionnaya pul'sometriya v diagnostike cerebral'nyh angiodistonij u detej [Transcranial Doppler and variational pulseometry in the diagnosis of cerebral angiodystonia in children] // *Zhurnal nevropatologii i psichiatrii* S.S. Korsakova [Korsakov J. Neuropathol. Psychiatry]. 1994. № 3: 22–23. (In Russ.)].
39. Поскотнинова Л.В. Вегетативная регуляция ритма сердца и эндокринный статус молодежи в условиях Европейского Севера России. Екатеринбург. УрО РАН. 2010. [*Poskotinova L.V.* Vegetative regulation of heart rhythm and endocrine status of young people in the European North of Russia. Ekaterinburg. UrO RAN. 2010. (In Russ.)].
40. Кривошеков С.Г., Белишева Н.К., Николаева Е.И., Вергунов Е.Г., Мартынова А.А., Ельников О.Е., Пряничников С.В., Ануфриев Г.Н., Балиоз Н.В. Концепция аллостаза и адаптация человека на Севере. *Экология человека*. 7: 17–25. 2016. [*Krivoshekov S.G., Belisheva N.K., Nikolaeva E.I., Vergunov E.G., Martynova A.A., Elnikova O.E., Prjanichnikov S.V., Anufriev G.N., Balioz N.V.* The Concept of Allostasis and Human Adaptation in the North. *Ekologiya cheloveka* [Hum. Ecology]. 7: 17–25. 2016. (In Russ.)].
41. Sterling P. Principles of allostasis: optimal design, predictive regulation, pathophysiology and rational therapeutics In *J. Schulkin* (ed.) *Allostasis, Homeostasis, and the Costs of Adaptation*. Cambridge University Press. 17–64. 2004.
42. McEwen B.S. Central effects of stress hormones in health and disease: understanding the protective and damaging effects of stress and stress mediators. *Eur. J. Pharmacol*, 583(2–3): 174–185. 2008.
43. Коваленко Е.А., Гуровский Н.Н. Гипокинезия. М. Медицина 1980. [*Kovalenko E.A., Gurovsky N.N.* Hypokinesia. Moscow. Medicina. 1980. (In Russ.)].
44. Акоюн В.П. Гипокинезия и мозговое кровообращение. М. Медицина. 1999. [*Akopyan V.P.* Hypokinesia and cerebral circulation. Moscow. Medicina. 1999. (In Russ.)].

### Comparative Studies of Cerebral Blood Flow in Children and Adolescents Living in the North and Arctic Regions

V. P. Rozhkov<sup>a</sup>, \*, S. I. Soroko<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Sechenov Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia*

\**e-mail: vlozhkov@mail.ru*

**Abstract**—Functional Doppler ultrasonography was used to study cerebral blood flow in 177 children and adolescents 7–18 years old living in the European North (Arkhangelsk region), Subarctic (Kola Peninsula) and Arctic (Svalbard) regions. It was established that the number of functional abnormalities in the system of regulation of cerebral circulation depends on the degree of severity of the environment. Based on the data obtained, a hypothesis has been suggested that in the harsh conditions of the Arctic in children and adolescents a special disadaptation state of the systemic regulation of cerebral circulation can be formed, which can be called as the “syndrome of the polar neurocirculatory dystonia.” The main signs of this condition are: a) a decrease in the metabolic hemodynamic response under the brain activation; b) manifestations of cerebral angiodystonia in the form of asymmetry of blood flow velocities in the brain base arteries, arterial tone disturbances and high vegetative lability of cerebral blood flow; c) pronounced signs of venous discirculation, including increased intracranial venous outflow along the basal veins.

**Keywords:** Arctic, children and adolescents, adaptation, cerebral blood flow, systemic hemodynamics, neurocirculatory dystonia