

ИММУНОЛОГИЯ

УДК 612.062:613.5+613.95

DOI: 10.17072/1994-9952-2021-3-219-227.

Д. В. Ланин^{1,2,3}, К. Н. Лихачев^{2,4}, О. В. Долгих^{1,2}, А. А. Сабитова¹

¹ Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

² ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения, Пермь, Россия

³ Пермский государственный медицинский университет им. академика Е.А. Вагнера, Пермь, Россия

⁴ Центр гигиены и эпидемиологии в Пермском крае, Пермь, Россия

ОСОБЕННОСТИ ИММУННОГО СТАТУСА ОБУЧАЮЩИХСЯ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ГЕТЕРОГЕННЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НЕИОНИЗИРУЮЩЕЙ ПРИРОДЫ

Проведена гигиеническая оценка ряда физических факторов школьной среды и описаны особенности иммунного статуса обучающихся в условиях воздействия этих факторов в гимназии г. Пермь (группа наблюдения) в сравнении с особенностями этих же показателей у учеников школы одного из городов Пермского края. Все исследуемые физические факторы, за исключением аэроионного состава воздуха, не превышали предельно допустимых уровней, установленных санитарными требованиями. В воздухе всех обследованных учебных кабинетов гимназии выявлено несоответствующее нормативу количество отрицательных и положительных аэроионов; в школе в ряде кабинетов аэроионный состав воздуха соответствовал норме. Сравнительный анализ показателей иммунной системы выявил наличие зависимых от возраста изменений в экспрессии CD-рецепторов лимфоцитов в условиях наличия дополнительных источников физических факторов. У учащихся групп наблюдения в начальной, основной и старшей школе найдены изменения отдельных классов иммуноглобулинов как по отношению к группам сравнения, так и по отношению к физиологической норме. Обнаружен дисбаланс про- и противовоспалительных цитокинов у детей в начальной и обшей школах гимназии.

Ключевые слова: физические факторы; школьники; иммунная система.

D. V. Lanin^{1,2,3}, K. N. Likhachev^{2,4}, O. V. Dolgikh^{1,2}, A. A. Sabitova¹

¹ Perm State University, Perm, Russian Federation

² FSC for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, Russian Federation

³ Perm State Medical University named after E.A. Wagner, Perm, Russian Federation

⁴ Center for Hygiene and Epidemiology in the Perm Region, Perm, Russian Federation

Features of the immune status of pupils under the influence of heterogeneous physical factors of a non-ionizing nature

A hygienic assessment of a number of physical factors of the school environment was carried out and the features of the immune status of students under the influence of these factors in the gymnasium of Perm (observation group) were described in comparison with the features of the same indicators in students of a school in one of the cities of the Perm Region. All the studied physical factors, with the exception of the aeroionic composition of the air, did not exceed the maximum permissible levels established by sanitary requirements. In the air of all the examined classrooms of the gymnasium, the number of negative and positive aeroions was found to be inconsistent with the norm; at school, in a number of classrooms, the aeroion composition of the air corresponded to the norm. A comparative analysis of the immune system indicators revealed the presence of age-dependent changes in the expression of CD-receptors of lymphocytes in the presence of additional sources of physical factors. In the students of the observation groups in primary, primary and high school, changes in individual classes of immunoglobulins were found both in relation to the comparison groups and in relation to the physiological norm. An imbalance of pro- and anti-inflammatory cytokines was found in children in primary and secondary schools of the gymnasium.

Key words: physical factors; schoolchildren; immune system.

Проблема воздействия различных факторов [Науменко, 2011; Васильев, 2012; Ланин, Лебедева, 2016], в частности, имеются работы, посвященные влиянию физических факторов на регуля-

торные (адаптивные) системы [Григорьев, 2002; Лаптиева, Крикало, 2015; Наумов, 2019], к которым традиционно относят нервную и эндокринную системы, однако, кроме указанных систем, к адаптивных относится иммунная система [Ланин, 2013; Самотруева и др., 2017].

В связи со сложившейся эпидемической ситуацией, связанной с новой коронавирусной инфекцией в течение 2020–2021 гг. в школах широко применялось дистанционное обучение, которое сопровождается применением большого количества электронных средств обучения (компьютеров, планшетов, сотовых телефонов и т.д.), генерирующих разнообразные физические факторы [Мальцев, Мальцев, 2020]. Но достаточного количества работ, посвященных теме воздействия физических факторов на организм человека, и, в частности, на иммунную систему, до сих пор нет. Поэтому цель данного исследования – изучить особенности иммунной системы учащихся в условиях воздействия физических факторов неионизирующей природы.

Материалы и методы

Объектом исследования явилась группа наблюдения в количестве 114 чел., которая была разделена в зависимости от возраста учащихся в школе на 3 подгруппы: начальная школа (возраст 6–8 лет, 27 девочек, 21 мальчик), основная школа (возраст 12–15 лет, 15 девочек, 13 мальчиков), старшая школа (возраст 16–19 лет, 24 девушки, 14 юношей). Все дети группы наблюдения обучались в одной из гимназий г. Перми (далее – Гимназия). В названной Гимназии в учебном процессе широко применяется вспомогательное электронное оборудование («умная доска», Smartboard SBD600 series), также в каждом классе имеется дополнительный источник физических факторов – маршрутизатор (Wi-Fi роутер Huawei hg8145v5). Группа сравнения представляла собой детей и подростков (всего 144 чел.) разделенных аналогичным с Гимназией образом – начальная школа (возраст 6–8 лет, 16 девочек, 18 мальчиков), основная школа (возраст 12–15 лет, 30 девочек, 25 мальчиков), старшая школа (возраст 16–19 лет, 36 девочек, 19 мальчиков), обучающихся в одной из средних общеобразовательных школ одного из городов Пермского края (далее – Школа, СОШ). В Школе группы сравнения практически не было дополнительных источников физических факторов, за исключением смарт-доски в кабинете информатики.

На первом этапе исследования проведены измерения ряда физических факторов в учебных классах в каждой подгруппе (начальная, основная, старшая школа) в обоих учебных заведениях. На каждом рабочем месте в каждой из исследованных классных комнат изучены: уровни шума, искусственной освещенности, коэффициента пульсации

освещенности, электромагнитное излучение частотой от 5 Гц до 400 кГц, аэроионный состав воздуха. В каждом учреждении обследовано по 5 классных комнат (всего 10, из них 8 кабинетов для «теоретических» занятий – по 4 в каждом учреждении и 2 кабинета информатики – по 1 в каждом объекте), в каждой классной комнате от 15 до 33 учебных мест (обследовано каждое учебное (рабочее) место в каждом кабинете). Измерения уровней физических факторов неионизирующей природы проводились согласно действующим на момент исследования методикам измерения. Оценка параметров шума проводилась шумомером-анализатором спектра, виброметром портативным «Октава-110А» по методическим указаниям и ГОСТ [МУ № 1844-78; ГОСТ 23337-2014]. Замеры уровней искусственной освещенности и коэффициента пульсации освещенности проводились прибором: люксметр-пульсметр «Аргус-07» по ГОСТам [24940-2016, 33393-2015]. Измерения воздействующих на учащихся электромагнитных составляющих проводились измерителем параметров электрического и магнитного полей трехкомпонентным ВЕ-метр-АТ-003 по методике, указанной в СанПиН [2.2.4.3359-16]. С целью измерения количества отрицательных и положительных ионов в воздухе исследуемых объектов применялся счетчик аэроионов «МАС-01», измерения проводили согласно методике [МУК 4.3.1675-03]. Все приборы имели действующие сертификаты поверки, измеренные показатели записывались с оформлением специальной документации. Полученные результаты сравнивались с нормативными показателями соответствующих санитарных правил и норм (СанПиН). Данный фрагмент исследования проведен совместно с Лабораторией физических факторов отдела обеспечения лабораторной деятельности ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Пермском крае» Роспотребнадзора. Также на этом этапе проведено анкетирование учителей в указанных выше учебных заведениях. Анкеты включали вопросы, связанные с временем воздействия исследуемых физических факторов и касающиеся организации работы с электронными устройствами. Для времени включения оборудования (интерактивные умные доски, персональные электронные вычислительные машины (ПЭВМ, компьютеры)) на каждом уроке по анкетным данным произведен расчет медиан. С целью верификации анкетных данных по времени активности учащихся, связанных с воздействием электронного и прочего оборудования, проведен хронометраж (измерение времени, для включенного оборудования, отдельно для доски, отдельно для ПЭВМ в кабинетах информатики, для шумового воздействия в периоды относительной тишины (минимум) и относительной громкости (максимум) на

занятиях). Нормативными значениями в периоды относительной тишины (минимум) выбрано значение не более 40 дБА, что соответствует предельно допустимому уровню (ПДУ) для классных помещений, учебных кабинетов (п. 6.3 СП 51.13330.2011). Однако данная норма не учитывает человеческую речь, разговор, в том числе и громкий, включение звуковоспроизводящей аппаратуры, задействованной в образовательном процессе в естественных условиях. По разным источникам шум громкой речи человека составляет от 50 до 70 дБ. Поэтому, в связи с отсутствием в санитарном законодательстве нормативного регулирования ПДУ для образовательного процесса нами была принята норма не более 65 дБА. Таким образом, в данном исследовании нормативными значениями для периодов относительной тишины (минимум) были значения не более 40 дБА, а для периода относительной громкости (максимум) – не более 65 дБА. Так как свет в кабинетах включен постоянно – факторы освещенность искусственная и коэффициент пульсации освещенности принимался равный 45 мин. воздействия. Проведен анализ расписания уроков в начальной, основной и старшей школе исследуемых объектов на предмет длительности использования электронных устройств в учебном процессе.

На втором этапе исследования проведено углубленное изучение ряда показателей иммунной системы учащихся.

Все обследования проводились с соблюдением этических принципов медицинских исследований с участием человека в качестве объекта исследования, изложенных в Хельсинкской декларации ВМА в редакции 2013 г. [Хельсинкская ..., 2013]

С целью маркирования изменений иммунологических параметров проводилось CD-фенотипирование, определение фагоцитарной активности лейкоцитов, концентрации иммуноглобулинов (Ig) А, G, М, Е. CD-фенотипирование включало определение относительного и абсолютного числа CD3⁺, CD3⁺CD25⁺, CD3⁺CD95⁺, CD3⁺CD4⁺, CD3⁺CD8⁺, CD19⁺, CD16⁺56⁺ лимфоцитов при помощи цитофлюориметра FACSCalibur с помощью коммерческих наборов («Vecton Dickinson», США). Исследование системы общего фагоцитоза проводили с использованием в качестве объектов фагоцитоза формализированных эритроцитов барана [Каплин, 1996]. Содержание сывороточных иммуноглобулинов А, G, М изучали методом радиальной иммунодиффузии по Манчини. Концентрацию IgE и цитокинов (интерлейкины (IL): IL-4, IL-10, интерферон-гамма (IFN γ)) определяли с помощью тест-систем для ИФА («Вектор-Бест», РФ; «Хема-Медика», РФ).

Статистическая обработка материала. Для большинства параметров рассчитывали значение

средней арифметической и ее стандартной ошибки ($M \pm m$). В этом случае статистическую значимость различий оценивали по непарному *t*-критерию Стьюдента. При неправильном распределении показателя (оценка времени использования «умной доски» во время уроков в гимназии) в выборке применялся расчет медианного значения показателя (медианы).

Результаты и их обсуждение

При проведении сравнительной гигиенической оценки физических факторов (1-й этап исследования), воздействующих на обучаемых в Гимназии, установлено наличие следующих источников, генерирующих изучаемые физические факторы (оборудование): лампы дневного света (светодиодные), электронные («умные») доски (Smartboard SBD600 series) – по одной доске в каждом из классов, передатчики Wi-Fi сигнала (роутеры) (Huawei hg8145v5) – по одному аппарату в каждой классной комнате. Указанное оборудование и его расположение в исследуемых комнатах (помещениях) носит однотипный характер. При этом в Школе источники искусственного освещения имеют следующие особенности: в кабинете информатики установлены лампы светодиодные, остальные кабинеты оборудованы люминесцентными лампами. В данном учебном заведении, в отличие от гимназии, во всех кабинетах, кроме кабинета информатики, отсутствовали дополнительные источники электромагнитного излучения. В кабинетах информатики в обоих учебных заведениях имеются персональные электронные-вычислительные машины (ПЭВМ, компьютеры) на каждом рабочем месте (персональное место учащегося) общим числом – 15, что соответствует СанПиН, также в этих кабинетах в обеих школах имеется электронная («умная») доска (Smartboard). На момент проведения обследования персональные смартфоны и планшеты во время очных занятий не использовались и их воздействие на обучающихся не учитывалось.

В ходе анализа анкет учителей в Гимназии установлено, что интерактивные электронные доски используют практически все преподаватели, за исключением учителей физкультуры, технологии. Установлено, что время использования данного оборудования на большинстве уроков составляет в начальной школе – от 3 до 45 мин. (медианное значение – 10 мин.). В основной школе время использования умной доски составило – от 5 до 10 мин. (медианное значение – 7.5 мин.). В старшей школе время использования смартборда составило – от 5 до 10 мин. (медиана – 7.5 мин.). При этом на предмете информатика время использования ПЭВМ на каждом рабочем месте каждым учеником составило 45 мин. (все время занятия). Часто-

та урока в основной и старшей школе – 1 раз в неделю. Эти факты подтверждаются как данными анкетирования учителей, так и собственными натурными наблюдениями (хронометражем). Установлено, что время использования данного оборудования, применяемого в СОШ только на уроке информатики в основной и старшей школах, составляет 45 мин.). Таким образом, в Школе в процессе обучения дополнительные источники, излучающие электромагнитное поле, используются только на уроке информатики 1 раз в неделю и только в основной и старшей школе. В то время как в Гимназии, дополнительное оборудование (смартборд) применяется практически на всех «теоретических» уроках и во всех изученных подгруппах. Также в Гимназии в каждом классе находятся маршрутизаторы (роутеры), которые отсутствуют в общеобразовательной школе. Компьютеры используются в обоих изученных объектах примерно в сходных режимах – в основной и старшей школе.

Хронометраж показал, что искусственная освещенность воздействует на учащихся (фактически присутствует) в течение всего урока – 45 мин. в обоих учебных заведениях. Время воздействия коэффициента пульсации освещенности и отрицательных, и положительных ионов в воздухе также составляли 45 мин. на каждом из занятий. Уровни искусственной освещенности во всех подгруппах Гимназии составили от 588 до 612 лк, а в СОШ в начальной, основной и старшей школе – от 478 до 662 лк. Это более 300 лк и является нормативным значением для учебных классов в образовательных организациях. Уровни коэффициента пульсации освещенности в Гимназии во всех подгруппах составили от 0 до 0,2%, в то время как в Школе уровни коэффициента пульсации освещенности – 0,1% в кабинете информатики и от 5,9 до 9,1% – в остальных кабинетах.

Таким образом, в Гимназии измеренные значения коэффициента пульсации освещенности во много раз ниже максимальных нормативных значений, составляющих – 5% для учебных мест, оборудованных ПЭВМ, согласно СанПиН [2.2.2/2.4.1340-03] и 10% для учебных кабинетов, согласно СанПиН [2.2.1/2.1.1.1278-03]. Такие низкие уровни коэффициента пульсации одновременно при довольно высоких показателях уровней освещенности обусловлены качественными источниками искусственного света (светодиодные лампы). В отличие от Школы, где коэффициент пульсации в кабинетах теоретических занятий составил от 5,9 до 9,1%, что также является нормой для учебных классов в школе. Более высокие уровни коэффициента пульсации освещенности в кабинетах для теоретических занятий в школе обусловлены типом ламп (люминесцентные).

Шум, производимый на занятиях в Гимназии различной техникой, по данным анкет составлял от 20 до 45 мин., по субъективным ощущениям преподавателей являлся для них комфортным. По данным проведенного хронометража: шум – относительная тишина – 50% времени урока (около 22,5 мин) относительно громко 50% (около 22,5 мин) в каждой из подгрупп, но не более 65 дБ, что соответствует уровню громкой речи человека. Согласно проведенным натурным исследованиям в обоих учебных заведениях эквивалентный уровень звука (шум) без учащихся в каждом кабинете составил не более 40 дБ, что соответствует нормативу для учебных кабинетов в образовательных организациях п.3 табл. 5.35 СанПиН [1.2.3685-21] и позволяет констатировать, что при измерении уровней звука в классных комнатах при занятии школьников никакие посторонние источники шума не вносили вклад в измеренные значения. При анализе анкет учителей школы установлено, что шум, производимый на занятиях, по данным анкет составлял от 5 до 45 мин., и был в основном комфортным для преподавателей и учеников, складывался не из шума оборудования, а был связан в основном с человеческой речью (процессом обучения). По данным проведенного нами хронометража: шум – относительная тишина – до 50% времени урока (около 22 мин.) относительно громко до 50% (около 22 мин.) в каждой из подгрупп, но не более 65 дБ аналогично Гимназии. Согласно проведенным исследованиям в обоих учебных заведениях эквивалентный уровень звука (шум) относительная тишина и относительная громкость составили от 33,9 дБА (минимум) до 55,1 дБА соответственно.

По результатам измерений уровней аэроионного состава воздуха в Гимназии было выявлено недостаточное количество отрицательных и положительных аэроионов в воздухе учебных кабинетов. Так, концентрация отрицательных аэроионов составила менее 100 ион/см³ во всех кабинетах, что меньше чувствительности прибора. Концентрация положительных аэроионов – от менее 100 до 110 ион/см³, что не соответствует нормативу, установленному для рабочих мест [СанПиН 2.2.4.3359-16]. В Школе аэроионы, положительно заряженные во всех подгруппах, составили менее 100 ион/см³, в основной школе – 1 100 ион/см³, в кабинете информатики 1 380 ион/см³. Аэроионы, отрицательно заряженные, в основной и старшей школе составили менее 100 ион/см³, в начальной школе – 110 ион/см³, в кабинете информатики – 1 340 ион/см³. Таким образом, «нестандартные» показатели по аэроионному составу воздуха в Гимназии и соответствие нормативу в основной школе и кабинете информатики в Школе могут быть объяснены либо несовершенством методики измерения, или

расположением Школы в относительно «благоприятном в экологическом плане» районе по сравнению с Гимназией.

Однако вопрос влияния аэроионного состава на здоровье человека является достаточно дискуссионным, а в ряде работ подвергается критическим замечаниям и сомнению [Петрякова, Алексеев, 2009].

При анализе электромагнитного излучения в каждом из 4 кабинетов для теоретических занятий для каждой подгруппы на учебном месте величина напряженности электрического поля в диапазоне от 5 Гц до 2 кГц составила менее 5 в/м, для диапазона от 2 до 400 кГц – менее 0.5 в/м (ниже предела чувствительности прибора). Плотность магнитного потока для диапазона от 5 Гц до 2 кГц составляла менее 0.06 мТл, а для 2–400 кГц – менее 5 мТл, что также ниже предела чувствительности прибора.

В кабинете информатики Гимназии были зафиксированы наибольшие значения напряженности электрического поля не выше 6.5 и 1.2 в/м для диапазонов 5 Гц–2 кГц и 2–400 кГц соответственно, что превышает аналогичные показатели, полученные в кабинетах для теоретических занятий. Плотность магнитного потока в этом кабинете составляла значения от менее 0.06 до 0.12 мТл для диапазона 5 Гц–2 кГц (выше аналогичного показателя в других кабинетах), и практически не отличалась от других кабинетов (менее 5 мТл) в диапазоне 2–400 кГц.

Согласно результатам измерений, в каждом из 4 кабинетов для теоретических занятий, а равно для кабинета информатики для начальной, основной и старшей школы, на каждом учебном месте величина напряженности электрического поля в диапазоне от 5 Гц до 2 кГц составила менее 5 в/м, для диапазона от 2 до 400 кГц – менее 0.5 в/м (ниже предела чувствительности прибора). Плотность магнитного потока для диапазона от 5 Гц до 2 кГц составляла менее 0.06 мТл, а для 2–400 кГц – менее 5 мТл, что также ниже предела чувствительности прибора.

Натурные измерения показателей электромагнитного излучения во всех изученных классных комнатах на каждом учебном месте, включая кабинеты информатики, как в Гимназии, так и в Школе не превышали предельно-допустимые уровни. Однако отмечается незначительное повышение электромагнитного фона (не достигающее статистической значимости) в Гимназии по сравнению со Школой, что может быть связано с наличием дополнительных источников электромагнитного излучения.

Таким образом, гигиенический анализ полученных данных позволяет сделать вывод, что комплекс изученных физических факторов неионизи-

рующей природы, воздействующих на обучающихся данных учебных заведений, не превышал предельно допустимых уровней ни по одному из изученных параметров, за исключением аэроионного состава воздуха.

Учитывая наличие дополнительных источников физических факторов на территории Гимназии в сравнении со Школой, провели сравнительную оценку иммунологических показателей у учащихся обоих учебных заведений по подгруппам – начальная, основная, старшая школы (2-й этап исследования). Сводные результаты данного этапа представлены в таблице.

Сравнительный анализ показателей иммунной системы детей, обучающихся в начальной школе, позволил установить, что в группе наблюдения (Гимназия) не обнаружено статистически значимых изменений врожденного звена клеточного иммунитета (фагоцитоза), как по отношению к норме, так и в сравнении с учениками СОШ, однако частота проб со снижением показателей фагоцитарной активности выше в группе наблюдения (абсолютный фагоцитоз в Гимназии – 12.5, в Школе – 0%; фагоцитарное число – 27.1 и 15.2% соответственно). Выявлено снижение IgG в группе «гимназистов» как по сравнению со «школьниками», так и по сравнению с физиологической нормой. Несмотря на повышение уровня IgE общего в обеих исследованных группах (таблица) обнаружено, что в группе наблюдения частота регистрации проб в два раза превышает данный показатель группы сравнения (37.5% – группа наблюдения, 18.8% – группа сравнения). Не обнаружено статистически значимых отклонений показателей CD-иммунограммы в сравнении с референтным уровнем у учащихся начальной школы Гимназии, за исключением снижения количества лимфоцитов, экспрессирующих CD3⁺CD25⁺ рецепторы у детей в группе наблюдения относительно физиологической нормы и показателей группы сравнения по относительным и абсолютным значениям. Частота регистрации проб ниже физиологической нормы в данной группе составляла 73%. Необходимо отметить, что CD25⁺-лимфоциты являются маркерами активации лимфоцитов. Анализ показателей цитокиновой регуляции позволил установить превышение провоспалительного цитокина IFN γ при одновременном снижении противовоспалительного IL-4 у «гимназистов» при сравнении со «школьниками» (таблица).

При анализе показателей иммунной системы у детей основной школы установлена значительно большая вариативность в показателях, характеризующих экспрессию различных рецепторов лейкоцитов по сравнению с начальной школой. Так, выявлено повышение в группе «гимназистов» CD19⁺-лимфоцитов, CD3⁺CD8⁺-лимфоцитов, как по относительным, так и по абсолютным показателям. А также понижение относительного числа CD3⁺-

лимфоцитов и CD3⁺CD25⁺-лимфоцитов. Кроме того, установлено снижение индекса CD4⁺/CD8⁺. В гуморальном звене наблюдается снижение IgA в группе наблюдения по отношению к группе сравнения, при этом в обеих группах данный показатель не выходит за пределы физиологической нормы. Как видно из таблицы, фагоцитарная активность повышена как по проценту фагоцитоза, так и

по фагоцитарному числу в группе наблюдения при сопоставлении с группой сравнения. Как и у детей начальной школы в основном звене наблюдается разнонаправленные изменения IL-4 (понижение) и IFN γ (повышение) по отношению к группе сравнения.

Показатели иммунологических маркеров у обследованных детей

Показатель	Физиол. норма	Группа наблюдения (M \pm m)	Группа сравнения (M \pm m)	Межгрупповое различие (p)
Начальная школа				
CD3 ⁺ CD25 ⁺ -лимфоциты, абс., 10 ⁹ /дм ³	0.1-0.3	0.086 \pm 0.036	0.203 \pm 0.087	0.013
CD3 ⁺ CD25 ⁺ -лимфоциты, отн., %	5-12	3.6 \pm 1.477	7.4 \pm 3.02	0.020
IgG, г/дм ³	10.96-16	10.096 \pm 0.641	11.758 \pm 0.531	0.000
Интерлейкин-4, пг/мл	0-4	0.455 \pm 0.252	1.555 \pm 0.401	0.000
Интерферон - гамма, пг/мл	0-15	5.077 \pm 0.798	2.287 \pm 0.375	0.000
Основная школа				
CD19 ⁺ -лимфоциты, абс., 10 ⁹ /дм ³	0.09-0.66	0.414 \pm 0.059	0.269 \pm 0.081	0.004
CD19 ⁺ -лимфоциты, отн., %	6-25	17.95 \pm 2.962	11.9 \pm 2.91	0.005
CD3 ⁺ -лимфоциты, отн., %	55-84	55 \pm 6.825	67.5 \pm 6.559	0.010
CD3 ⁺ CD25 ⁺ -лимфоциты, отн., %	5-12	4.3 \pm 0.628	9.6 \pm 4.527	0.016
CD3 ⁺ CD8 ⁺ -лимфоциты, абс., 10 ⁹ /дм ³	0.19-1.14	0.731 \pm 0.103	0.558 \pm 0.143	0.043
CD3 ⁺ CD8 ⁺ -лимфоциты, отн., %	13-41	30.75 \pm 3.01	24.3 \pm 3.2	0.004
CD4 ⁺ /CD8 ⁺ , усл. ед.	0.8-4.2	1.271 \pm 0.184	1.628 \pm 0.301	0.038
IgA, г/дм ³	1.1-3	1.534 \pm 0.138	1.911 \pm 0.223	0.005
Процент фагоцитоза, %	35-60	53.745 \pm 2.03	47.714 \pm 2.808	0.001
Фагоцитарное число, у.е.	0.8-1.2	1.043 \pm 0.069	0.894 \pm 0.081	0.007
Интерлейкин-4, пг/мл	0-4	0.427 \pm 0.115	0.971 \pm 0.485	0.034
Интерферон - гамма, пг/мл	0-15	4.806 \pm 0.469	2.235 \pm 0.454	0.000
Старшая школа				
CD19 ⁺ -лимфоциты, абс., 10 ⁹ /дм ³	0.09-0.66	0.412 \pm 0.065	0.221 \pm 0.127	0.004
CD19 ⁺ -лимфоциты, отн., %	6-25	18.36 \pm 2.144	9 \pm 4.403	0.000
CD3 ⁺ -лимфоциты, абс., 10 ⁹ /дм ³	0.69-2.54	1.246 \pm 0.158	1.655 \pm 0.197	0.001
CD3 ⁺ -лимфоциты, отн., %	55-84	55.84 \pm 4.321	69.667 \pm 5.084	0.000
CD3 ⁺ CD25 ⁺ -лимфоциты, абс., 10 ⁹ /дм ³	0.1-0.3	0.142 \pm 0.049	0.234 \pm 0.057	0.010
CD3 ⁺ CD25 ⁺ -лимфоциты, отн., %	5-12	6.44 \pm 2.428	10 \pm 3.042	0.046
CD3 ⁺ CD4 ⁺ -лимфоциты, абс., 10 ⁹ /дм ³	0.41-1.59	0.891 \pm 0.095	0.632 \pm 0.125	0.001
CD3 ⁺ CD4 ⁺ -лимфоциты, отн., %	31-60	40.36 \pm 2.613	26.5 \pm 4.289	0.000
CD3 ⁺ CD8 ⁺ -лимфоциты, абс., 10 ⁹ /дм ³	0.19-1.14	0.608 \pm 0.111	0.931 \pm 0.179	0.001
CD3 ⁺ CD8 ⁺ -лимфоциты, отн., %	13-41	27.12 \pm 3.371	39.167 \pm 5.84	0.000
CD4 ⁺ /CD8 ⁺ , усл. ед.	0.8-4.2	1.634 \pm 0.249	0.698 \pm 0.191	0.000
IgM, г/дм ³	1.1-2.5	1.466 \pm 0.079	1.292 \pm 0.117	0.015
Фагоцитарный индекс, у.е.	1.5-2	1.954 \pm 0.065	1.811 \pm 0.091	0.012

При анализе особенностей экспрессии CD рецепторов на поверхности лимфоцитов у учащихся старшей школы обнаружено повышение CD19⁺, CD3⁺CD4⁺-лимфоцитов по относительным и абсолютным показателям. Одновременно наблюдается снижение CD3⁺-, CD3⁺CD25⁺-, CD3⁺CD8⁺-лимфоцитов по абсолютным и относительным показателям. Обращает на себя внимание однонаправленность изменений экспрессии CD-рецепторов в основной и старшей школе, за исключением CD3⁺ CD8⁺. Соответственно, в старшей

школе в группе наблюдения, в отличие от основной школы, найдено повышение индексного показателя CD4⁺/CD8⁺. Отметим, что анализ изменений иммунологических показателей группы наблюдения старшей школы позволил установить повышение маркеров гуморального иммунитета IgM и маркеров врожденного иммунитета (фагоцитарный индекс).

Заключение

В итоге, по результатам оценки физических факторов школьной среды не выявлено превышений уровней шума, искусственной освещенности, коэффициента пульсации освещенности, электромагнитного излучения частотой от 5 Гц до 400 кГц по сравнению с нормой для помещений классных комнат. При этом аэроионный состав воздуха был ниже нормативных показателей в исследуемых кабинетах Гимназии и в части кабинетов Школы, кроме кабинета информатики и одного кабинета основной школы, в которых содержание аэроионов соответствовало норме. Также при сравнительном анализе физических факторов, воздействующих на учащихся Гимназии, отмечается незначительное повышение электромагнитного фона по сравнению со Школой; вместе с тем, полученные значения не выходят за пределы допустимых уровней.

При сравнении иммунных показателей групп сравнения и наблюдения трех подгрупп (начальная, основная, старшая школы) обнаружены зависящие от возраста разнонаправленные изменения в экспрессии различных субпопуляций лимфоцитов, умеренные изменения гуморального звена (иммуноглобулины) и фагоцитарных показателей по отношению к группе сравнения и/или физиологической норме. Исследование показало наличие дисбаланса про- и противовоспалительных цитокинов у детей в начальной и общей школах Гимназии.

В качестве направления дальнейшего исследования предполагается установление (детектирование) связей между изменением изучаемых физических факторов и маркеров функционирования иммунной системы путем построения соответствующих математических моделей, что должно помочь в обнаружении ранних, скрытых, донозологических сдвигов иммунных механизмов, связанных с воздействием комплекса физических факторов учебной среды, которые по отдельности не превышают предельно допустимые уровни (что продемонстрировано в настоящем исследовании), но могут потенцировать неблагоприятное действие друг друга. Также эта информация может быть использована в программах профилактики иммунных нарушений школьников.

Список литературы

Васильев А.В. Проблемы оценки сочетанного влияния шума и других физических факторов на здоровье человека // Известия Самарского научного центра РАН. 2012. Т. 14, № 6. С. 158–165.
ГОСТ 23337-2014. Шум. Методы измерения шума на селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданиях. URL:

<https://docs.cntd.ru/document/1200114242> (дата обращения: 17.08.2021).
ГОСТ 24940-2016. Здания и сооружения. Методы измерения освещенности. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200140599> (дата обращения: 17.08.2021).
ГОСТ 33393-2015. Здания и сооружения. Методы измерения коэффициента пульсации освещенности. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200127444> (дата обращения: 17.08.2021).
Григорьев Ю.Г. Электромагнитные поля и здоровье человека. М., 2002. 177 с.
Каплин В.Н. Нетрадиционная иммунология инфекций. Пермь, 1996. 163 с.
Ланин Д.В. Анализ корегуляции иммунной и нейроэндокринной систем в условиях воздействия факторов риска // Анализ риска здоровью. 2013. № 1. С. 73–81.
Ланин Д.В., Лебедева Т.М. Воздействие химических факторов среды обитания на функции и взаимосвязи регуляторных систем у детей // Гигиена и санитария. 2016. Т. 95, № 1. С. 94–96.
Лантуева Л.Н., Крикало И.Н. Проблемы электромагнитной безопасности в школьном возрасте // Весник МДПУ імя І.П. Шамякіна. 2015. № 2 (46). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-elektromagnitnoy-bezopasnosti-v-shkolnom-vozhaste> (дата обращения: 17.08.2021).
Мальцев В.А., Мальцев К.В. Пандемия и образование // Научные труды Вольного экономического общества России. 2020. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pandemiya-i-obrazovanie> (дата обращения: 17.08.2021).
МУ № 1844-78. Методические указания по проведению измерений и гигиенической оценки шумов на рабочих местах. Режим доступа из СПС КонсультантПлюс. 2021 (дата обращения: 17.08.2021).
МУК 4.3.1675-03. Общие требования к проведению контроля аэроионного состава воздуха. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200035494> (дата обращения: 17.08.2021).
Науменко А.М. Исследование электромагнитного излучения от систем сотовой связи // Вестник БНТУ. 2011. № 4. С. 44–47.
Наумов А.Д. Влияние электромагнитных излучений на репродуктивную функцию // Охрана материнства и детства. 2019. № 2(34). С. 58–61.
Петрякова О.Д., Алексеев И.С. Аэроионный состав воздушной среды воздуха рабочей зоны на примере учебного корпуса ВУиТ // Вестник ВУиТ. 2009. № 8. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/aeroionnyy-sostav-vozdushnoy-sredy-vozduha-rabochey-zony-na-primere-uchebnogo-korpusa-vuit> (дата обращения: 17.03.2021).
Самотруева М.А. и др. Нейроиммуноэндокринология: современные представления о молекулярных механизмах // Иммунология. 2017. Т. 38, № 1. С. 49–59.
СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и

- требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. URL: <http://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 17.08.2021).
- СанПиН 2.2.4.3359-16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах. URL: <https://docs.cntd.ru/document/420362948> (дата обращения: 17.08.2021).
- СанПиН 2.2.4.1294-03. Гигиенические требования к аэроионному составу воздуха производственных и общественных помещений. URL: <http://docs.cntd.ru/document/901860667> (дата обращения: 17.08.2021).
- СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901865498> (дата обращения: 17.08.2021).
- СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901859404> (дата обращения: 17.08.2021).
- Хельсинкская декларация Всемирной Медицинской Ассоциации (в редакции 64th WMA General Assembly, Fortaleza, Brazil, October 2013).
- ### References
- Vasiliev A.V. [Problems of assessing the combined effect of noise and other physical factors on human health]. *Izvestija Samarskogo naučnogo centra RAN*. V. 14, N 6 (2012): pp. 158-165. (In Russ.).
- GOST 23337-2014 [GOST standard 23337-2014. Noise. Methods of noise measurement in residential areas and in residential and public buildings]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200114242> (accessed 17.08.2021). (In Russ.).
- GOST 24940-2016 [GOST standard 24940-2016. Buildings and structures. Methods of measuring illumination]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200140599> (accessed 17.08.2021). (In Russ.).
- GOST 33393-2015 [GOST standard 33393-2015. Buildings and structures. Methods for measuring the coefficient of pulsation of illumination]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200127444> (accessed 17.08.2021). (In Russ.).
- Grigoriev Yu.G. *Ėlektromagnitnye polja i zdorov'e čeloveka* [Electromagnetic fields and human health]. Moscow, 2002. 177 p. (In Russ.).
- Kaplin V.N. *Netradicionnaja immunologija infekcij* [Unconventional immunology of infections]. Perm, 1996. 163 p.
- Lanin D.V. [Analysis of co-regulation of the immune and neuroendocrine systems under the influence of risk factors]. *Analiz riska zdorov'ju*. N 1 (2013): pp. 73-81. (In Russ.).
- Lanin D.V., Lebedeva T.M. [The impact of chemical factors of the environment on the functions and relationships of regulatory systems in children]. *Gigiena i sanitarija*. V. 95, N 1 (2016): pp. 94-96. (In Russ.).
- Laptieva L.N., Krikalo I.N. [Problems of electromagnetic safety at school age]. *Vesnik MDPU imja I.P. Sham-jakina*. N 2(46) (2015). (In Russ.). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-elektromagnitnoy-bezopasnosti-v-shkolnom-vozzraste> (accessed 17.08.2021). (In Russ.).
- Maltsev V.A., Maltsev K.V. [Pandemic and education]. *Naučnye trudy Vol'nogo ėkonomičeskogo obščestva Rossii*. N 4 (2020). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/pandemiya-i-obrazovanie> (accessed 17.08.2021). (In Russ.).
- MU № 1844-78 [Methodological guidelines for measuring and hygienic assessment of noise in the workplace]. Access mode: SPS ConsultantPlus. 2021 (accessed 17.08.2021). (In Russ.).
- MUK 4.3.1675-03 [General requirements for monitoring the aeroion composition of air]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200035494> (accessed 17.08.2021). (In Russ.).
- Naumenko A.M. [Investigation of electromagnetic radiation from cellular communication systems]. *Vestnik BNTU*. N 4 (2011): pp. 44-47. (In Russ.).
- Naumov A.D. [The influence of electromagnetic radiation on the reproductive function]. *Ochrana materinstva i detstva*. N 2(34) (2019): pp. 58-61. (In Russ.).
- Petryakova O.D., Alekseev I.S. [Aeroion composition of the air environment of the air of the working area on the example of the VUIT educational building]. *Vestnik VUIT*. N 8 (2009). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/aeroionnyy-sostav-vozdushnoy-sredy-vozdushnoy-rabočey-zony-na-primere-učebnogo-korpora-vuit> (accessed 17.03.2021). (In Russ.).
- Samotrueva M.A., Yasenevskaya A.P., Tsibizova A.A. et al. [Neuroimmunoendocrinology: modern ideas about molecular mechanisms]. *Immunologija*. V. 38, N 1 (2017): pp. 49-59. (In Russ.).
- SanPiN 1.2.3685-21 [SanPiN 1.2.3685-21. Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/573500115> (accessed 17.08.2021). (In Russ.).
- SanPiN 2.2.4.3359-16 [SanPiN 2.2.4.3359-16. Sanitary and epidemiological requirements for physical factors in the workplace]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/420362948> (accessed 17.08.2021). (In Russ.).
- SanPiN 2.2.4.1294-03 [SanPiN 2.2.4.1294-03. Hygienic requirements for the aeroionic composition of the air of industrial and public premises]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/901860667> (accessed 17.08.2021). (In Russ.).
- SanPiN 2.2.2/2.4.1340-03 [SanPiN 2.2.2/2.4.1340-03. Hygienic requirements for personal electronic computers and the organization of work]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/901865498> (accessed

17.08.2021). (In Russ.).
SanPiN 2.2.1/2.1.1.1278-03 [SanPiN 2.2.1/2.1.1.1278-03. Hygienic requirements for natural, artificial and combined lighting of residential and public buildings]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/901859404> (accessed 17.08.2021). (In Russ.).

Helsinki Declaration of the World Medical Association (as revised by the 64th WMA General Assembly, Fortaleza, Brazil, October 2013). (In Russ.).

Поступила в редакцию 27.08.2021

Об авторах

Ланин Дмитрий Владимирович, доктор медицинских наук, профессор кафедры микробиологии и иммунологии ФГАОУВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет» ведущий научный сотрудник отдела иммунобиологических методов диагностики ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» профессор кафедры иммунологии ГОУ ВО «Пермский государственный медицинский университет им. академика Е.А. Вагнера»
ORCID: 0000-0002-1557-0589
 614068, Пермь, ул. Букирева, 15; dlan@mail.ru

Лихачев Константин Николаевич, аспирант, врач по общей гигиене ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Пермском крае»
ORCID: 0000-0002-9135-2858
 614045, г. Пермь, ул. Монастырская, 82; doc3000@mail.ru

Долгих Олег Владимирович, доктор медицинских наук, профессор кафедры микробиологии и иммунологии ФГАОУВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет» зав. отделом иммунобиологических методов диагностики ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»
ORCID: 0000-0003-4860-3145
 614068, Пермь, ул. Букирева, 15; root@fcrisk.ru; (342)2363930

Сабитова Альбина Альбертовна, студент биологического факультета ФГАОУВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»
ORCID: 0000-0002-9650-2157
 614068, Пермь, ул. Букирева, 15

About the authors

Lanin Dmitry Vladimirovich, doctor of medicine, professor of the Department of microbiology and immunology Perm State University.
 Leading researcher of the Department of immunobiological diagnostic methods Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies.
 professor of the Department of immunology Perm State Medical University named after E.A. Wagner
ORCID: 0000-0002-1557-0589
 15, Bukirev str., Perm, Russia, 614068; dlan@mail.ru

Likhachev Konstantin Nikolaevich, graduate student, doctor of general hygiene Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies.
 Center for Hygiene and Epidemiology in the Perm Region
ORCID: 0000-0002-9135-2858
 82, Monastyrskaya str., Perm, Russia, 614045; doc3000@mail.ru

Dolgikh Oleg Vladimirovich, doctor of medicine, Professor of the Department of microbiology and immunology Perm State University.
 Head of the Department of immunobiological diagnostic methods Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies
ORCID: 0000-0003-4860-3145
 15, Bukirev str., Perm, Russia, 614068; root@fcrisk.ru

Sabitova Albina Albertovna, student of the faculty of biology Perm State University.
ORCID: 0000-0002-9650-2157
 15, Bukirev str., Perm, Russia, 614068

Информация для цитирования:

Особенности иммунного статуса обучающихся в условиях воздействия гетерогенных физических факторов неионизирующей природы / Д.В. Ланин, К.Н. Лихачев, О.В. Долгих, А.А. Сабитова // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2021. Вып. 3. С. 219–227. DOI: 10.17072/1994-9952-2021-3-219-227.

Lanin D.V., Likhachev K.N., Dolgikh O.V., Sabitova A.A. [Features of the immune status of pupils under the influence of heterogeneous physical factors of a non-ionizing nature]. *Vestnik Permskogo universiteta. Biologija*. Iss. 3 (2021): pp. 219-227. (In Russ.). DOI: 10.17072/1994-9952-2021-3-219-227.

