

Влияние загрязнённой радионуклидами среды на сердечный ритм детей в современных условиях

© 2024. О. В. Калабин¹, к. б. н., доцент, Ф. Б. Литвин², д. б. н., профессор, Т. М. Брук², д. б. н., зав. кафедрой, И. В. Быкова³, к. б. н., доцент, Е. В. Удовенко³, к. б. н., доцент,

¹Вятский государственный университет, 610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, д. 36,
²Смоленский государственный университет спорта, 214018, Россия, г. Смоленск, проспект Гагарина, д. 23,
³Брянский государственный технический университет, 241035, Россия, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, д. 7,
e-mail: bf-litvin@yandex.ru

Целью исследования явилось изучение особенностей variability сердечного ритма у мальчиков и девочек 8-летнего и 10-летнего возраста, постоянно проживающих на территориях с повышенным уровнем радиоактивного загрязнения. Функции организма формируются при тесном взаимодействии организма и среды. Совершенствование адаптивных реакций развивающегося организма происходит на каждом этапе онтогенеза по мере усложнения его контактов с окружающей средой. В ходе работы обнаружены особенности регуляции сердечного ритма в зависимости от района проживания. У девочек 8 лет и 10 лет из радиоэкологически благополучных районов усиливается вклад автономного контура регуляции сердечного ритма, что, исходя из принципа функционального антагонизма, приводит к ослаблению центрального контура регуляции. У 8-летних девочек из радиоэкологически неблагополучных районов градиент сдвига показателей выше по сравнению с 10-летними, что отражает большую чувствительность их организма к воздействию неблагоприятных факторов. У мальчиков 8 лет и 10 лет из радиоэкологически благополучных районов, как и у девочек, доминирует автономный контур регуляции. В отличие от девочек у мальчиков из радиоэкологически неблагополучных районов обнаружен дисбаланс в работе регуляторных механизмов с усилением центрального контура регуляции. Увеличение градиента сдвига изученных показателей у мальчиков из радиоэкологически неблагополучных регионов приходится на возраст 10 лет. По результатам исследования выявлены гендерные различия в регуляции сердечного ритма. Полученные данные являются важными диагностическими аспектами морфофункционального созревания организма для последующих этапов онтогенеза в зависимости от экологических условий проживания.

Ключевые слова: возраст, пол, радиация, variability ритма сердца, радиоэкологические условия проживания.

The effect of radionuclide-contaminated environment on children's heart rate

© 2024. O. V. Kalabin¹ ORCID: 0000-0002-5383-5007, F. B. Litvin² ORCID: 0000-0002-2281-8757, T. M. Bruk² ORCID: 0000-0003-1023-6642, I. V. Bykova³ ORCID: 0000-0001-8332-1827, E. V. Udovenko³ ORCID: 0000-0002-6021-2481

¹Vyatka State University
36, Moskovskaya St., Kirov, Russia, 610000,
²Smolensk State University of Sports,
23, Gagarina Avenue, Smolensk, Russia, 214018,
³Bryansk State Technical University,
7, Boulevard 50 let Oktyabrya, Bryansk, Russia, 241035,
e-mail: bf-litvin@yandex.ru

The main aim was to study the characteristics of heart rate variability in 8- and 10-year boys and girls that permanently reside in areas with an increased level of radioactive contamination. The body functions are formed by close interaction of the body and the environment. The adaptive responses of the developing organism are improved at each ontogenetic stage as its contact with the environment become more complex. We found that features of heart rate regula-

tion depend on the area of residence. The contribution of the autonomous circuit of heart rate regulation is increased for 8- and 10-year-old girls from radio-ecologically safe areas (RESA). Based on the principle of functional antagonism this leads to a weakening of the central circuit of regulation. The shift gradient of indicators is higher for 8-year-old girls from radio-ecologically unfavorable areas (REUA) compared to 10-year-old girls. This reflects the greater sensitivity of their organism to adverse factors. The dominance of the autonomous circuit of regulation was marked for 8- and 10-year-old boys from the RESA. In contrast an imbalance in the operation of regulatory mechanisms with an increase in the central regulatory circuit was found for boys from the REUA. High centralization of cardiac control indicates that adaptation mechanisms are in a state of pronounced tension. The increase in the shift gradient for boys from REUA falls at the age of 10 years. The results of the study revealed gender differences in the regulation of heart rhythm. The obtained data is important diagnostic aspects of morphofunctional maturation of the organism for subsequent ontogenetic stages depending on environmental living conditions.

Keywords: age, sex, radiation, heart rate variability, radio-ecological living conditions.

Проблема биологических эффектов малых доз ионизирующей радиации в настоящее время является одной из центральных при создании системы медико-экологического мониторинга и оценки риска радиационного воздействия [1]. Хроническое облучение в малых дозах может быть более опасным по последствиям, чем кратковременное облучение в больших дозах [2]. Известно, что состояние сердечно-сосудистой системы является объективным индикатором гомеостаза организма [2, 3]. В связи с этим актуальными представляются результаты отдельных исследований по оценке состояния вегетативной нервной системы, которые позволяют трактовать данные изменения как адекватный ответ сердечно-сосудистой системы испытуемых на воздействие экологических факторов среды [4–6]. Нейрогуморальные механизмы регуляции сердечного ритма относятся к разряду активно изучаемых проблем в экологии и физиологии [7, 8]. Несмотря на прошедшие 37 лет после Чернобыльской катастрофы, на радиоактивно загрязнённых территориях России, Украины и Беларуси проживает без малого 5 млн человек [9]. Разработки ведущих специалистов свидетельствуют о том, что плотность радиоактивного загрязнения цезием-137 (^{137}Cs) и стронцием-90 (^{90}Sr) будет оставаться радиоэкологически значимой на протяжении десятилетий [9, 10]. В настоящее время на радиоактивно загрязнённых территориях Брянской области проживает более 300 тыс. чел. [12]. Регулярный радиоэкологический мониторинг в Брянской области указывает на то, что плотность загрязнения почв ^{137}Cs и ^{90}Sr на юго-западных территориях (ЮЗТ) в 2023 г. существенно превышает установленные радиологические пределы (критерии отнесения территорий к зонам радиоактивного загрязнения), как для ^{137}Cs (до 37 кБк/м²), так и для ^{90}Sr (до 5,6 кБк/м²) [13, 14]. Спустя 37 лет после аварии на ЧАЭС накопленные дозы облучения населения колеблются в диапазоне от

единиц до сотен мЗв [13, 14, 15]. В частности, в г. Новозыбкове средняя плотность радиоактивного загрязнения ^{137}Cs за 2000–2019 гг. составляет 456,5 кБк/м², а ^{90}Sr 9,7 кБк/м² [16]. На 01.01.2023 г. плотность радиоактивного загрязнения в г. Новозыбкове 321,9 (^{137}Cs) и 7,03 (^{90}Sr) кБк/м² соответственно [12], при этом величина среднегодовой эффективной дозы (СГЭД₉₀) в 2020 г. составляла 0,96 мЗв [13]. Действие малых доз ионизирующего излучения вызывает напряжение регуляторных механизмов сердечно-сосудистой системы. У детей отмечены максимально выраженные признаки сосудистой дистонии, снижения пульсового кровенаполнения сосудов конечностей [17].

Целью исследования явилось изучение особенностей вариабельности сердечного ритма (ВСР) у мальчиков и девочек восьми и десятилетнего возраста, постоянно проживающих на территориях с повышенным уровнем радиоактивного загрязнения.

Объекты и методы исследования

Работа выполнена на базе школ г. Брянска и г. Новозыбкова в 2021 г. Выборку детей из радиоэкологически неблагоприятного г. Новозыбкова Брянской области (РЭНР) составили девочки в количестве 19 испытуемых 8-летнего возраста и 23 испытуемых 10-летнего возраста. Группа мальчиков из г. Новозыбкова (РЭНР) включала 25 испытуемых 8-летнего возраста и 22 испытуемых 10-летнего возраста. В выборку детей из радиоэкологически благополучных районов (РЭБР) вошло 36 девочек 8-летнего возраста и 28 девочек 10-летнего возраста из г. Брянска. В группу мальчиков из РЭБР входило 44 мальчика 8-летнего возраста и 26 мальчиков 10-летнего возраста из г. Брянска. Все испытуемые обучались в классах без профилизации. Уровень физической активности ограничивался занятиями физической культурой на школьных уроках физической

культуры. Исследования проводили с соблюдением этических медико-биологических норм, изложенных в Хельсинкской декларации и Директивах Европейского сообщества. Все обследуемые и их родители предварительно были информированы о целях, задачах, методах проводимых исследований, о существующей возможности отказаться от дальнейшего участия на любом из этапов работ. Своё добровольное согласие на участие в исследовании испытуемые подтверждали письменно. В случае наличия хронических сердечно-сосудистых заболеваний или несогласия родителей, обследуемые в списки не вносились. Исследования по двум возрастным группам ВСР проводились с применением аппарата «Варикард 2.51» и программного обеспечения «ИСКИМ 6», в котором представлены основные результаты анализа ВСР, ООО «ИВНМТ «Рамена» (г. Рязань). Интерпретацию полученных данных проводили по показателям ВСР: ЧСС – частота сердечных сокращений, МхDMn – разность между максимальным и минимальным значениями кардиоинтервалов, или вариационный размах, мс; TP – суммарная мощность спектра временных значений R-R-интервалов, мс²;

HF – мощность спектра высокочастотных волн (0,4–0,15 Гц), мс², LF – мощность спектра низкочастотных волн (0,15–0,04 Гц), мс²; VLF – мощность спектра очень низкочастотных волн (0,04–0,015 Гц), мс²; LF/HF – показатель симпато-парасимпатического баланса, усл. ед.; SI – индекс напряжения регуляторных систем, усл. ед.; RMSSD – квадратный корень из суммы разностей последовательного ряда кардиоинтервалов, мс; АМо – амплитуда моды, %. Полученные данные обработаны с применением t-критерия Стьюдента. При проверке статистических гипотез критическим был принят уровень значимости $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение

Изучение регуляторных механизмов имеет приоритетное значение, поскольку гемодинамические, метаболические, энергетические отклонения в органах и системах первоначально возникают в регуляторных системах. Для оценки механизмов регуляции сердца использовали метод variability сердечного ритма, который имеет важное прогностическое значение при оценке функциональных возможностей организма при его адаптации

Таблица 1 / Table 1

Среднестатистические показатели, характеризующие регуляцию сердечного ритма у девочек в возрасте 8 лет и 10 лет, проживающих в разных радиоэкологических условиях проживания (M±m) / Average heart rate variation indicators in 8- and 10-year girls living in different radioecological conditions (M±m)

Показатели ВСР HRV indicators	Возраст, лет, район проживания / Age, years, area of residence			
	8, РЭБР 8, RESA	8, РЭНР 8, REUA	10, РЭБР 10, RESA	10, РЭНР 10, REUA
ЧСС, уд./мин. Heart rate, beat/min	91,6±2,5	97±4	88,3±2,3	94,5±3,6
МхDMn, мс / ms	250±18	242±20	313±21	285±24
RMSSD, мс / ms	49±6	43±4	65±6	58±6
TP, мс ² / ms ²	2703±440	2712±401	3904±422	3312±431
SI, усл. ед. / conl. ed.	178±29	329±55*	125±27	219±37*
АМо, %	45±4	54±8	38,5±3,6	48±5
HF, мс ² / ms ²	1268±285	1303±224	2105±290	1429±239
LF, мс ² / ms ²	888±164	795±129	1079±112	1073±145
LF/HF, усл. ед. / conl. ed.	0,9±0,2	0,8±0,1	0,7±0,1	0,6±0,1
VLF, мс ² / ms ²	375±66	376±72	358±45	402±55

Примечание к таблицам 1 и 2: ВСР – вариабельность сердечного ритма, ЧСС – частота сердечных сокращений, МхDMn – вариационный размах, RMSSD – среднеквадратичное различие между длительностью соседних R-R интервалов, TP – суммарная спектральная мощность, SI – индекс напряжения регуляторных систем, АМо – значение амплитуды моды, HF – спектральная мощность высокочастотных колебаний, LF – спектральная мощность низкочастотных колебаний, LF/HF – симпато-парасимпатический баланс, VLF – спектральная мощность очень низкочастотных колебаний, РЭБР – радиоэкологически благополучный район, РЭНР – радиоэкологически неблагоприятный район, * – достоверные различия относительно значений в РЭБР ($p < 0,05$).

Note for tables 1 and 2: HRV – heart rate variability, HR – heart rate, МхDMn – variation range, RMSSD – RMS difference between the duration of neighboring R-R intervals, TP – total spectral power, SI – stress index, АМо – amplitude value of the mode, HF – spectral power of highfrequency oscillations, LF – spectral power of lowfrequency oscillations, LF/HF – sympatho-parasympathetic balance, VLF – spectral power of very lowfrequency oscillations, RESA – radioecologically safe area, REUA – radioecologically unfavorable area, * – significant differences relative to the values in RESA ($p < 0,05$).

Таблица 2 / Table 2

Среднестатистические показатели, характеризующие регуляцию сердечного ритма у мальчиков в возрасте 8 лет и 10 лет, проживающих в разных радиоэкологических условиях ($M \pm m$)
Average heart rate variation indicators in 8- and 10-year boys living in different radioecological conditions ($M \pm m$)

Показатели ВСР HRV indicators	Возраст, лет, район проживания / Age, years, area of residence			
	8, РЭБР 8, RESA	8, РЭНР 8, REUA	10, РЭБР 10, RESA	10, РЭНР 10, REUA
ЧСС, уд./мин. Heart rate, beat/min	92,1±2,8	88,4±1,7	83,5±2,4	90,8±2,7
MxDMn, мс / ms	227,5±16,4	262,2±20,2	339,0±22,7	252,5±19,6*
RMSSD, мс / ms	43,0±4,2	55,8±6,2	66,1±6,1	41,0±4,0*
TP, мс ² / ms ²	1969,8±324,2	2737,0±393,6	3885,3±394,5	2497,6±330,5*
SI, усл. ед. / conl. ed.	192,2±39,1	157,0±33,9	102,8±29,6	254,3±50,0*
АМо, %	48,9±4,4	41,6±4,2	35,7±3,8	52,5±5,4*
HF, мс ² / ms ²	863,1±157,3	1434,7±271,6	2134,5±294,2	1019,8±192,2*
LF, мс ² / ms ²	725,6±126,2	804,9±118,8	973,5±90,1	895,9±115,9
LF/HF, усл. ед. / conl. ed.	1,4±0,5	1,0±0,2	0,6±0,1	1,1±0,1*
VLF, мс ² / ms ²	287,7±57,4	308,4±55,6	479,2±56,1	319,4±46,5*

к изменяющимся условиям окружающей среды, в том числе и воздействию малых доз радиации. Индикатором этих отклонений является сердечный ритм [18, 19]. У девочек 8-летнего возраста, проживающих на территориях радиоэкологического загрязнения, по показателям ВСР отмечается устойчивая тенденция усиления центрального механизма регуляции работы сердца на фоне снижения автономного механизма. В результате достоверно на 84% ($p < 0,05$) повышается интегральный показатель стресс-индекса (табл. 1).

Усиление напряжённости в регуляции сердца приводит к снижению активности автономного контура регуляции, о чём свидетельствует снижение средних значений показателей MxDMn, RMSSD, при одновременном повышении АМо. В литературе научные подходы к механизмам регуляции сердечного ритма у девочек 8-летнего возраста диаметрально противоположны. По данным одних исследователей, у девочек 8-летнего возраста доминирует влияние блуждающего нерва, который играет роль защитного адаптационно-трофического действия [20, 21]. Усиление парасимпатического влияния на сердечный ритм свидетельствует об устойчивости организма к стрессирующим факторам [21, 22]. По другим данным в 8-летнем возрасте уровень вегетативной регуляции несовершенен, поскольку преобладает симпатикотонический тип [23]. Такой тип вегетативной регуляции сердечного ритма авторы рассматривают как отражение выраженного напряжения адаптационных механизмов. При переходе в группу 10-летних девочек у испытуемых из РЭБР регистрируется

усиление активности автономного механизма регуляции, которое сопровождается снижением на 44% ($p > 0,05$) показателя SI по сравнению с девочками 8-летнего возраста из РЭБР. У девочек 10 лет из РЭНР, так же, как и в группе 8-летних девочек из РЭНР, усиливается активность центрального механизма регуляции с понижением активности автономного механизма. В итоге интегративный показатель напряжённости организма SI повышается на 76% ($p < 0,05$).

Таким образом, у девочек 8 лет и 10 лет, проживающих в РЭНР, усиливается вклад центрального механизма регуляции сердечного ритма, включающего в себя симпатический отдел ВНС, а также подкорковые и корково-гуморальные центры. В результате достоверно повышается показатель стресс-индекса в обеих возрастных группах.

У мальчиков 8-летнего возраста из РЭНР повышается активность автономного контура регуляции с тенденцией роста показателей MxDMn на 15% ($p > 0,05$), RMSSD – на 30% ($p > 0,05$) и HF – на 66% ($p > 0,05$) (табл. 2). На этом фоне снижаются симпатические влияния на сердечную мышцу. В результате показатель АМо снижается на 18% ($p > 0,05$) и SI на 22% ($p > 0,05$) Незначительно, на 8% ($p > 0,05$), повышается показатель VLF, указывая на тенденцию роста адаптивного состояния. Временное повышение активности парасимпатического отдела в регуляции сердечного ритма у мальчиков 8-летнего возраста, возможно, связано с активацией защитных систем организма. Явление «радиационного гормезиса», при котором малые дозы ионизирующего излучения могут индуцировать

положительные биологические процессы и оказывать стимулирующее благоприятное действие на организм, скорее следует рассматривать как гиперфункциональный эффект ионизирующего облучения при малых дозах, а не как «благоприятное» действие радиации [24]. Особый интерес, требующий дальнейшего развития, вызывает известный подход с позиций формирования в ЦНС в «критический период» онтогенеза потенциально востребованных программ нейрогуморальной регуляции. Под влиянием внешних и внутренних факторов реализация этих программ может избирательно идти по типу быстрой или медленной мобилизации [25]. Переход в возрастную группу 10-летних мальчиков из РЭНР отмечается выраженным усилением центрального механизма регуляции, что приводит к росту напряжённости организма. Усиление симпатических влияний на регуляцию сердца приводит к повышению на 47% ($p < 0,05$) показателя АМо и на 147% ($p < 0,05$) показателя SI. Суммарная мощность спектра снижается на 56% ($p < 0,05$), а показатель усиления энергодефицитного состояния VLF снижается на 50% ($p < 0,05$). Высокая централизация управления работой сердца свидетельствует о том, что адаптационные механизмы находятся в состоянии выраженного напряжения. Известно, что мальчики менее устойчивы к стрессу, что и отражается в выраженном нарушении вегетативной регуляции сердечного ритма.

Заключение

Результаты нашей работы демонстрируют возможное влияние малых доз радиации на становление вегетативной регуляции сердечного ритма, как одно из проявлений гомеостаза в целом. На возрастном отрезке от 8 до 10 лет у девочек усиливается вклад автономного контура регуляции, у мальчиков, напротив, растёт активность центрального контура регуляции. Данный факт предположительно отражает разную устойчивость детского организма к воздействию малых доз радиации, которая, по данным ВСП, оказалась выше у девочек.

Литература

1. Кострюкова Н.К., Карпин В.А. Биологические эффекты малых доз ионизирующего излучения // Сибирский медицинский журнал. 2005. Т. 50. № 1. С. 17–22.
2. Lerman A., Zeiher A.M. **Endothelial function: cardiac events** // *Circulation*. 2005. V. 111. No. 3. P. 363–368. doi: 10.1161/01.CIR.0000153339.27064.14
3. Липунова А.С., Болдуева С.А., Леонова И.А., Колесниченко М.Г., Рыжкова Д.В., Кечерукова А.В., Манасян А.Г., Феоктистова В.С., Петрова В.Б., Захарова О.В. **Роль дисфункции эндотелия в генезе кардиального синдрома X** // Профилактическая и клиническая медицина. 2013. № 1 (46). С. 38–42.
4. Kalabin O.V., Litvin F.V., Brook T.M., Bykova I.V., Udovenko E.V. Influence of radioecological pollution on heart rate variability in young men of different somatotypes // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 4. С. 232–237. doi: 10.25750/1995-4301-2022-4-232-239
5. Корсаков А.В., Домахина А.С., Трошин В.П., Гегерь Э.В. Заболеваемость детского и взрослого населения Брянской области в зависимости от уровней радиационного, химического и сочетанного загрязнения: экологическое исследование // Экология человека. 2020. № 7. С. 4–14. doi: 10.33396/1728-0869-2020-7-4-14
6. Литвин Ф.Б., Брук Т.М., Терехов П.А., Быкова И.В. Динамика вариабельности сердечного ритма в течение учебного года у мальчиков 8-9 летнего возраста из разных радиоэкологических мест проживания // Культура физическая и здоровье. 2019. № 4 (72). С. 152–154.
7. Аверьянова И.В., Максимов А.Л. Показатели сердечно-сосудистой системы и кардиоритма у юношей г. Магадана с различными типами конституции // Вестник Мордовского университета. 2017. Т. 27. № 3. С. 397–409. doi: 10.15507/0236-2910.027.201703.397-409
8. Новые методы электрокардиографии / под. ред. С.В. Грачева, Г.Г. Иванова, А.Л. Сыркина. М.: Техносфера, 2007. 552 с.
9. Яблоков А.В., Нестеренко В.Б., Нестеренко А.В., Преображенская Н.Е. Чернобыль: последствия Катастрофы для человека и природы. Москва: КМК, 2016. 826 с.
10. Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси / Под ред. Ю.А. Израэля, И.М. Богдевича. М.: Фонд «Инфосфера – НИА – Природа»; Мн.: Белкартография, 2009. 140 с.
11. Города и районы Брянской области: статистический сборник. Брянск: ИИЦ Брянскстата, 2022. 255 с.
12. Данные по радиоактивному загрязнению территории населённых пунктов Российской Федерации цезием-137, стронцием-90 и плутонием-239+240 / Ред. В.Н. Яхрюшин. Обнинск: ФГБУ «НПО Тайфун», 2023. 228 с.
13. Трапезникова Л.Н. Дозы облучения населения Брянской области от различных источников ионизирующего излучения за 2020 год (информационный справочник). Брянск: Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Брянской области, 2021. 51 с.
14. Романович И.К., Брук Г.Я., Базюкин А.Б., Братилова А.А., Яковлев В.А. Динамика средних годовых и накопленных доз облучения взрослого населения Российской Федерации после аварии на Чернобыльской АЭС // Здоровье населения и среда обитания. 2020. № 3. С. 33–38. doi: 10.35627/2219-5238/2020-324-3-33-38

15. Korsakov A.V., Geger E.V., Lagerev D.G., Pugach L.I., Mousseau T.A. *De novo* congenital malformation frequencies in children from the Bryansk region following the Chernobyl disaster (2000–2017) // *Heliyon*. 2020. V. 6. No. 8. Article No. e04616. doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e04616

16. Корсаков А.В., Крюкова А.Е., Трошин В.П., Милушкина О.Ю., Лагерева Д.Г. Первичная заболеваемость злокачественными новообразованиями шейки матки населения, проживающего на экологически неблагополучных территориях (2000–2020 гг.) // *Гигиена и санитария*. 2023. Т. 102. № 1. С. 14–21. doi: 10.47470/0016-9900-2023-102-1-14-21

17. Коренев Н.М., Бориско Г.А., Кашина-Ярмак В.Л. Состояние здоровья детей, рождённых в семьях родителей, облучённых вследствие аварии на Чернобыльской АЭС // *Здоровье ребенка*. 2012. № 6. С. 66–70.

18. Волокитина Т.В., Грибанов А.В. Вариабельность сердечного ритма у детей младшего школьного возраста: монография. Архангельск: Поморский университет, 2004. 194 с.

19. Волокитина Т.В., Иваницкая Е.Ю. Спектральный анализ вариабельности сердечного ритма у первоклассников с проявлениями СДВГ // *Вестник Поморского университета. Серия Физиологические и психолого-педагогические науки*. 2005. № 2 (8). С. 41–49.

20. Шлык Н.И. Сердечный ритм и тип регуляции у детей, подростков и спортсменов: монография. Ижевск: Удмуртский университет, 2009. 259 с.

21. Догадкина С.Б., Ермакова И.В., Адамовская О.Н., Кмить Г.В., Рублева Л.В., Шарапов А.Н. Вариабельность сердечного ритма и уровень кортизола у детей школьного возраста при разной когнитивной нагрузке // *Acta Biomedica Scientifica*. 2022. Т. 7. № 3. С. 169–179. doi: 10.29413/ABS.2022-7.3.18

22. Blons E., Arsac L.M., Gilfriche P., McLeod H., Lespinet-Najib V., Grivel E., Deschodt-Arsac V. Alterations in heart-brain interactions under mild stress during a cognitive task are reflected in entropy of heart rate dynamics // *Sci. Rep.* 2019. No. 9. Article No. 18190. doi: 10.1038/s41598-019-54547-7

23. Сабанчиева Л.А. Зависимость адаптационных возможностей организма от соматотипа ребенка // *Вестник КБГУ. Сер. Мед. науки*. 2006. № 9. С. 102–103.

24. Ивановский Ю.А. Радиационный гормезис. Благоприятны ли малые дозы ионизирующей радиации? // *Вестник ДВО РАН*, 2006. № 6. С. 86–91.

25. Медведев В.И. Устойчивость физиологических и психологических функций человека при действии экстремальных факторов. Л.: Наука, 1982. 103 с.

2. Lerman A., Zeiher A. M. Endothelial function: cardiac events // *Circulation*. 2005. V. 111. No. 3. P. 363–368. doi: 10.1161/01.CIR.0000153339.27064.14

3. Lipunova A.S., Boldueva S.A., Leonova I.A., Kolesnichenko M.G., Ryzhkova D.V., Kecherukova A.B., Manasyan A.G., Feoktistova V.S., Petrova V.B., Zakharova O.V. The role of dysfunction of endothelium in genesis of cardiac X syndrome // *Preventive and clinical medicine*. 2013. No. 1. P. 38–42 (in Russian).

4. Kalabin O.V., Litvin F.B., Brook T.M., Bykova I.V., Udoenko E.V. Influence of radioecological pollution on heart rate variability in young men of different somatotypes // *Theoretical and Applied Ecology*. 2022. No. 4. P. 232–237. doi: 10.25750/1995-4301-2022-4-232-239

5. Korsakov A.V., Domakhina A.S., Troshin V.P., Geger E.V. Child and adult morbidity in the Bryansk region by the level of radioactive, chemical and combined contamination: an ecological study // *Human Ecology*. 2020. No. 7. P. 4–14 (in Russian). doi: 10.33396/1728-0869-2020-7-4-14

6. Litvin F.B., Brook T.M., Terekhov P.A., Bykova I.V. Dynamics of heart rate variability during the school year in boys 8–9 years of age from different radioecological places of residence // *Physical Culture and Health*. 2019. V. 71. No. 4. P. 152–154 (in Russian).

7. Averyanova I.V., Maksimov A.L. Cardiovascular system indexes and heart rate in magadan young male residents with different body constitution types // *Bulletin of the Mordovian University*. 2017. V. 27. No. 3. P. 397–409 (in Russian). doi: 10.15507/0236-2910.027.201703.397-409

8. New methods of electrocardiography / Eds. S.V. Grachev, G.G. Ivanov, A.L. Syrkin. Moskva: Technosphere, 2007. 552 p. (in Russian).

9. Yablokov A.V., Nesterenko V.B., Nesterenko A.V., Preobrazhenskaya N.E. Chernobyl: consequences of the Catastrophe for man and nature. Moskva: KMK, 2016. 826 p. (in Russian).

10. Atlas of modern and forecast aspects of the consequences of the accident at the Chernobyl nuclear power plant in the affected territories of Russia and Belarus / Eds. Yu.A. Israel, I.M. Bogdevich. Moskva: Fond “In-fosfera – NIA – Priroda”; Minsk: Belkartografiya, 2009. 140 p. (in Russian).

11. Cities and districts of the Bryansk region: statistical collection. Bryansk: IITs Bryanskstata, 2022. 255 p. (in Russian).

12. Data on radioactive contamination of the territory of populated areas of the Russian Federation with cesium-137, strontium-90 and plutonium-239+240 / Ed. V.N. Yakhryushin. Obninsk: FGBU “NPO Tayfun”, 2023. 228 p. (in Russian).

13. Trapeznikova L.N. Radiation doses of the population of the Bryansk region from various sources of ionizing radiation for 2020 (information directory). Bryansk: Directorate of the Federal Service for Supervision of Consumer

References

1. Kostjukova N.K., Karpin V.A. Biological effects of low-dose ionizing radiation // *Siberian Medical Journal*. 2005. V. 50. No. 1. P. 17–22 (in Russian).

Rights Protection and Human Welfare in the Bryansk Region, 2021. 51 p. (in Russian).

14. Romanovich I.K., Bruk G.Ya., Bazyukin A.B., Bratilova A.A., Yakovlev V.A. The dynamics of average annual and cumulative radiation exposure doses of the adult population of the Russian Federation after the Chernobyl disaster // *Public Health and Life Environment*. 2020. No. 3. P. 33–38 (in Russian). doi: 10.35627/2219-5238/2020-324-3-33-38

15. Korsakov A.V., Geger E.V., Lagerev D.G., Pugach L.I., Mousseau T.A. *De novo* congenital malformation frequencies in children from the Bryansk region following the Chernobyl disaster (2000–2017) // *Heliyon*. 2020. V. 6. No. 8. Article No. e04616. doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e04616

16. Korsakov A.V., Kryukova A.E., Troshin V.P., Milushkina O.Yu., Lagerev D.G. Primary incidence of cervical cancer in the population living in ecologically disadvantaged areas (2000–2020) // *Hygiene and Sanitation*. 2023. V. 102. No. 1. P. 14–21 (in Russian). doi: 10.47470/0016-9900-2023-102-1-14-21

17. Korenev N.M., Borisko G.A., Kashina-Yarmak V.L. Health status of children, born in families of parents which were irradiated due to Chernobyl NPP accident // *Child's Health*. 2012. No. 6. P. 66–70 (in Russian).

18. Volokitina T.V., Gribanov A.V. Heart rate variability in children of primary school age: monograph. Arkhangelsk: Pomor University, 2004. 194 p. (in Russian).

19. Volokitina T.V., Ivanitskaya E.Yu. Spectral analysis of heart rate variability in first-graders with manifesta-

tions of ADHD // *Vestnik Pomorskogo universiteta. Seriya Fiziologicheskie i psikhologo-pedagogicheskie nauki*. 2005. No. 2 (8). P. 41–49 (in Russian).

20. Shlyk N.I. The heart rate and regulation type of children, teenagers and sportsmen. Izhevsk: Udmurt University, 2009. 259 p. (in Russian).

21. Dogadkina S.B., Ermakova I.V., Adamovskaya O.N., Kmit G.V., Rubleva L.V., Sharapov A.N. Heart rate variability and cortisol levels in school-age children under different cognitive tests // *Acta Biomedica Scientifica*. 2022. V. 7. No. 3. P. 169–179. doi: 10.29413/ABS.2022-7.3.18

22. Blons E., Arsac L.M., Gilfriche P., McLeod H., Lespinet-Najib V., Grivel E., Deschodt-Arsac V. Alterations in heart-brain interactions under mild stress during a cognitive task are reflected in entropy of heart rate dynamics // *Sci. Rep.* 2019. No. 9. Article No. 18190. doi: 10.1038/s41598-019-54547-7

23. Sabanchieva L.A. Dependence of the body's adaptive capabilities on the child's somatotype // *Vestnik KBGU. Seriya Meditsinskie nauki*. 2006. No. 9. P. 102–103 (in Russian).

24. Ivanovsky Yu.A. Radiation hormesis. Is low-dose ionizing radiation favorable? // *Vestnik of the FEB RAS*. 2006. No. 6. P. 86–91 (in Russian).

25. Medvedev V.I. Stability of physiological and psychological functions of a person under the influence of extreme factors. Leningrad: Nauka, 1982. 103 p. (in Russian).