



УДК 159.9.072+159.928+612.821.7+616-71

DOI: <https://doi.org/10.17816/MAJ65945>

## АЛЬТЕРАЦИЯ ЭЭГ-ПАТТЕРНА СНА КАК СПЕЦИФИЧЕСКИЙ МАРКЕР НЕЙРОПЛАСТИЧНОСТИ У ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНО ОДАРЕННЫХ ШКОЛЬНИКОВ

О.Н. Бердина, И.М. Мадаева, В.М. Поляков, Л.В. Рычкова

Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека, Иркутск, Россия

Для цитирования: Бердина О.Н., Мадаева И.М., Поляков В.М., Рычкова Л.В. Альтерация ЭЭГ-паттерна сна как специфический маркер нейропластичности у интеллектуально одаренных школьников // Медицинский академический журнал. 2021. Т. 21. № 4. С. 7–16. DOI: <https://doi.org/10.17816/MAJ65945>

Рукопись получена: 27.04.2021

Рукопись одобрена: 16.11.2021

Опубликована: 30.12.2021

**Обоснование.** В школе дети постоянно приобретают новые знания, что провоцирует изменения в мозговых структурах, особенно при интенсивном обучении. Нейропластичность позволяет человеку реализовать свой потенциал, проявить одаренность. Однако данные об электроэнцефалографических (ЭЭГ) особенностях во сне у одаренных школьников недостаточны и противоречивы.

**Цель** — изучить особенности ЭЭГ-паттернов сна по данным нейрофизиологического исследования у интеллектуально одаренных школьников и их корреляции с вербальными и невербальными умственными способностями.

**Материалы и методы.** Обследовано 48 лиц в возрасте 14–15 лет. Все участники выполняли тест Векслера (детский вариант) для определения уровня интеллекта. Выделено две группы подростков: основная группа ( $n = 20$ ) — высокий показатель коэффициента интеллекта (IQ)  $137,0 \pm 12,7$  балла, контрольная группа ( $n = 28$ ) — средний показатель IQ  $110,9 \pm 10,4$  балла. Нейрофизиологическое обследование во время сна проводили с помощью системы для амбулаторной регистрации электроэнцефалограмм и полисомнограмм «Нейрон-Спектр-СМ» («Нейрософт», Иваново, Россия). Идентификацию и анализ ЭЭГ-паттернов сна — паттернов циклических альтернатив и «сонных веретен» — осуществляли по общепринятой методике. Различия между группами считали статистически значимыми при  $p < 0,05$ .

**Результаты.** У одаренных детей выявлено значимое увеличение времени и частоты паттернов циклических альтернатив с преобладанием паттерна циклических альтернатив подтипа А1 ( $p < 0,001$ ) и уменьшение доли подтипов А2 и А3, «сонных веретен» ( $p = 0,01$ ), значимо коррелирующих с вербальной и невербальной составляющими теста Векслера, такими как индекс гибкости мышления (для частоты паттернов циклических альтернатив и доли подтипа А1), показатель общего интеллекта и невербальный интеллект, невербальные визуально-пространственные способности, индекс рабочей памяти и индекс вербального восприятия (для доли подтипа А2), а также индекс вербального восприятия, индекс рабочей памяти, индекс скорости обработки информации и показатель общего интеллекта (для индекса и пика частоты «сонных веретен»).

**Заключение.** Нами продемонстрированы значимые изменения микроструктуры сна и разная плотность корреляционных связей в зависимости от уровня интеллекта у подростков, что ранее не освещалось в литературе. Паттерн циклических альтернатив и «сонных веретен» рекомендуют рассматривать как физиологические показатели интеллекта и академической успешности и как специфические маркеры нейропластичности при интенсификации обучения.

**Ключевые слова:** одаренные школьники; интеллект; сон; электроэнцефалография; нейропластичность.

## SLEEP EEG-PATTERN ALTERATION AS A SPECIFIC MARKER OF NEUROPLASTICITY IN INTELLECTUALLY GIFTED SCHOOLCHILDREN

Olga N. Berdina, Irina M. Madaeva, Vladimir M. Polyakov, Lyubov V. Rychkova

Scientific Centre for Family Health and Human Reproduction Problems, Irkutsk, Russia

For citation: Berdina ON, Madaeva IM, Polyakov VM, Rychkova LV. Sleep EEG-pattern alteration as a specific marker of neuroplasticity in intellectually gifted schoolchildren. *Medical Academic Journal*. 2021;21(4):7–16. DOI: <https://doi.org/10.17816/MAJ65945>

Received: 27.04.2021

Accepted: 16.11.2021

Published: 30.12.2021

**BACKGROUND:** At school, children constantly acquire new knowledge, which provokes changes in the brain structures, especially during intensive learning. Neuroplasticity enables a person to realize his potential, to show giftedness. However, data on electroencephalographic (EEG) features during the sleep in gifted schoolchildren are insufficient and contradictory.

### Список сокращений

СВ — сонные веретена; ФМС — фаза медленного сна; ЦА — циклические альтернативы; ЭЭГ — электроэнцефалография; IQ — коэффициент интеллекта.

**AIM:** To study the features of EEG sleep patterns according to neurophysiological research data in intellectually gifted schoolchildren and their correlation with verbal and non-verbal mental abilities.

**MATERIALS AND METHODS:** 48 lyceum students aged 14-15 years were examined. All participants were performed the Wechsler-Intelligence test (children's version) to determine their intelligence quotient (IQ). Two groups of adolescents were identified: the main group ( $n = 20$ ) — with a high IQ ( $137.0 \pm 12.7$  points), the control group ( $n = 28$ ) — with an average IQ ( $110.9 \pm 10.4$  points). Neurophysiological examination during the sleep was performed using an ambulatory wireless system for registration of electroencephalograms and polysomnograms "Neuron-Spectrum-AM" ("Neurosoft", Ivanovo, Russian Federation,). The identification and analysis of EEG sleep patterns: cyclic alternating patterns and sleep spindles were carried out according to standard methods. Differences between groups were considered statistically significant at  $p < 0.05$ .

**RESULTS:** In gifted schoolchildren, significant changes were revealed as an increase in the time and the rate of cyclic alternating patterns with a predominance of A1 subtype ( $p = 0.0001$ ) and a decrease in the proportion of A2-A3 subtypes, as well as an increase of sleep spindles density ( $p = 0.01$ ), which significantly correlated with the Wechsler-Intelligence Test's scores. So, percentage of A1 subtype had correlation with the index of thinking flexibility, while percentage of A2 subtype correlated with general and non-verbal intelligence, non-verbal visual-spatial abilities, the index of working memory) and the index of verbal perception, as well as the sleep spindles index and sleep spindles frequency peak correlated with the index of verbal perception, the index of working memory, the index of information processing speed and general intelligence.

**CONCLUSIONS:** Thus, we have demonstrated significant changes in the sleep microstructure and different correlations depending on the IQ values in schoolchildren, which was not previously covered in the literature. Cyclic alternating patterns and sleep spindles are recommended to be considered as physiological indicators of intelligence and academic performance, as well as specific markers of neuroplasticity in the intensification of learning.

**Keywords:** gifted schoolchildren; intelligence; sleep; electroencephalography; neuroplasticity.

## Обоснование

В связи с тенденцией к росту нервно-психических отклонений и заболеваний у детей, нейрофизиологические процессы во время сна представляют особый интерес для оценки адекватности развития детей и формирования адаптивных реакций [1]. Современные исследователи продемонстрировали, что мозг может создавать новые и изменять существующие нейронные связи, с тем чтобы приспособливаться к новым условиям, усваивать новую информацию и создавать новые воспоминания [2, 3]. Эта способность была определена как нейропластичность. В школе дети постоянно приобретают новые знания, что провоцирует значительные изменения в мозговых структурах, особенно в моменты интенсивного обучения. Нейропластичность позволяет человеку реализовать свой потенциал, заложенный при рождении, и проявить особую успешность в различных видах деятельности, например, в познавательной — интеллектуальной одаренность. Такие дети обладают чрезвычайной любознательностью, наблюдательностью, способностью генерировать новые идеи, использовать нестандартные подходы в разработке проблем и поиске решений в той или иной предметной области, тем самым создавая постоянную повышенную нагрузку на интеллект [4].

Некоторыми авторами была обнаружена взаимосвязь между интеллектом и физиологическими параметрами. Например, Thatcher и соавт. сообщили о значимой положительной корреляционной взаимосвязи между коэффициентом интеллекта (IQ) и сочетанием некоторых параметров электроэнцефалографии (ЭЭГ) во время

бодрствования [5]. Однако в современной науке все большее развитие получает теория роли сна в процессе познания и реализации когнитивного функционирования. Ранее нами было проведено исследование, нацеленное на выявление особенностей макроструктурной организации ночного сна у школьников с высоким уровнем интеллектуального развития, но не оценивался паттерн ЭЭГ (микроструктуры сна). Было показано, что у одаренных подростков (14–15 лет) в общей структуре сна преобладает фаза быстрого сна, которая, вероятно, играет важную роль в адаптации таких детей к ежедневным стрессовым воздействиям и постоянным повышенным интеллектуальным нагрузкам [6]. Представленные в настоящей статье данные являются результатом продолжения научно-исследовательской работы с одаренными школьниками. Известно, что медленно-волновая ЭЭГ-активность и «сонные веретена» (СВ) во время фазы медленного сна (ФМС) участвуют в механизмах адаптации и связанной с ними нейропластичности головного мозга [7, 8]. При этом целостность медленно-волнового сна связана со способностью к сохранению следов памяти, а комплексы из медленных волн и веретен сна играют важную роль в реактивации информации, полученной во время обучения [9]. В эксперименте было доказано, что во время электрической активности в пределах сигма-частотного диапазона (9–16 Гц), что соответствует диапазону СВ (11–16 Гц), в дендритах активируются определенные нейронные сети, что может способствовать оптимизации функционирования механизмов памяти во время сна [10]. Иностранцами

учеными была предложена концепция о роли СВ и паттернов циклических альтернатив (ЦА) в нейрокогнитивном развитии ребенка [11, 12]. Однако, несмотря на очевидность этих ассоциаций, данные об особенностях ЭЭГ-паттернов во время сна, развивающихся в направлении избирательности и пластичности головного мозга у школьников при повышенных интеллектуальных нагрузках, недостаточны и противоречивы.

**Цель** нашей работы заключалась в изучении особенностей ЭЭГ-паттернов сна по данным нейрофизиологического исследования у интеллектуально одаренных школьников и их корреляций с вербальными и невербальными умственными способностями.

### Материалы и методы

Исследование проведено среди подростков 14–15 лет — учеников 8–9-х классов лицея г. Иркутска. Подробная информация о предстоящем исследовании была доведена до родителей (законных представителей) и самих потенциальных участников в устной и письменной форме на школьном собрании. Набор участников проводили из общего числа учеников методом случайной выборки. Обязательным условием включения явилось подписание добровольного информированного согласия родителями (законными представителями) учеников младше 15 лет или самими учениками (при достижении ими возраста 15 лет).

Обследование лицеистов проходило в два этапа. На первом этапе осуществляли психологическую оценку уровня развития интеллекта с помощью шкалы Векслера (детский вариант, WISC, последний пересмотр) [13]. Шкала состоит из 12 субтестов, которые определяют показатели вербального (1–6) и невербального (7–12) интеллекта: 1) «Осведомленность», 2) «Понятливость», 3) «Арифметический», 4) «Сходство», 5) «Словарный», 6) «Повторение цифр», 7) «Недостающие детали», 8) «Последовательные картинки», 9) «Кубики Кооса», 10) «Складывание фигур», 11) «Шифровка», 12) «Лабиринты». Субтесты могут быть также объединены в пять групп [14]: индекс вербального восприятия — 1–5; зрительно-пространственный индекс — 9, 10; индекс гибкости мышления — 3, 7, 12; индекс рабочей памяти — 6, 8; индекс скорости обработки информации — 11. Выполнение каждого субтеста оценивали в баллах, которые переводили в шкальные оценки по нормативным таблицам в соответствии с возрастной группой испытуемого для анализа конечных данных. На заключительном этапе обработки данных вычисляли показатель общего интеллекта [15]. Таким образом, тест Векслера содержит задания, которые

измеряют уровень развития психических процессов, а именно мышления, внимания и памяти [16]. Критерием высокого уровня развития интеллекта считали значение показателя общего интеллекта  $\geq 120$  баллов, критерием среднего уровня интеллекта — от 90 до 119 баллов.

На втором этапе всем участникам проведено нейрофизиологическое исследование с использованием системы для амбулаторной регистрации ЭЭГ и полисомнограмм «Нейрон-Спектр-СМ» («Нейрософт», Иваново, Россия) в течение 7–8 ч ночного сна. Запись 8-канальной ЭЭГ производили с помощью чашечковых электродов, размещенных на поверхности головы по международной системе 10–20 [17] в соответствии со стандартным референтным ушным монтажом: F3-A1, F4-A2, C3-A1, C4-A2, O1-A1, O2-A2, Cz-A1, Fz-A2. Импеданс под электродами не превышал 10 кОм. Все ЭЭГ-сигналы подвергались цифровой фильтрации в диапазоне 0,1–70 Гц при частоте дискретизации 256 Гц. Для оценки фаз сна дополнительно накладывали электроды на внешние верхние углы каждого глаза — электроокулография и подбородок — электромиография. Сигналы электроокулографии и электромиографии фильтровали в полосе пропускания 0,5–100 и 10–100 Гц соответственно. Оценку исследования и интерпретацию полученных результатов выполняли в соответствии с правилами Американской академии медицины сна [18].

Идентификацию и оценку паттернов ЦА проводил квалифицированный нейрофизиолог вручную в центрально-затылочных отведениях во время II стадии ФМС, используя критерии, разработанные Terzano и соавт. [19]. Относительные пропорции медленноволновой активности и быстрых ЭЭГ-ритмов легли в основу разделения фазы А паттерна ЦА на подтипы А1, А2 и А3 [20]. Подтип А1 состоит преимущественно из медленных волн (синхронность ЭЭГ, доля быстрых волн не более 20 % фазы А), в подтипе А3 преобладает быстрая ЭЭГ-активность (десинхрония ЭЭГ, доля быстрых волн более 50 % фазы А). Подтип А2 представляет собой комбинацию медленных и быстрых ЭЭГ-ритмов, при этом на долю последних приходится 20–50 % фазы А. Были рассчитаны следующие параметры: общее время паттернов ЦА (общая продолжительность, мин), доля паттернов ЦА (процент от общего времени ФМС, принятого за 100 %, который занимают паттерны ЦА), а также доля каждого подтипа в фазе А паттерна ЦА (%).

СВ идентифицировались в отведении С4-А1 в виде узких волн конической формы частотой 11–16 Гц и длительностью  $>0,5$  с [21]. Рассчитывали общее количество СВ во II стадии

ФМС (ед.), количество СВ за 60 с сна (индекс СВ, ед./мин) и среднюю частоту СВ (Гц).

Статистическую обработку результатов исследования проводили с использованием пакета STATISTICA, версия 10.0 (StatSoft, США). Критерий Колмогорова – Смирнова применяли для проверки распределения (нормального или ненормального) переменных и при необходимости использовали параметрические или непараметрические методы. Для описания количественных показателей рассчитывали средние арифметические: среднее арифметическое ( $M$ ) и стандартное отклонение ( $SD$ ), медианы (25-й; 75-й процентиль). Для оценки различий между группами по непрерывным переменным вычисляли параметрический  $t$ -критерий Стьюдента и непараметрический критерий Манна – Уитни ( $U$ ). Корреляционный анализ выполняли с помощью метода ранговой корреляции Спирмена. Различия считали статистически значимыми при  $p < 0,05$ .

## Результаты

Участниками данного исследования стали 48 подростков: 22 (45,8%) мальчика и 26 (54,2%) девочек. По итогам оценки уровня развития интеллекта было сформировано две группы: основная — 20 подростков с высоким уровнем развития интеллекта (средний возраст —  $14,5 \pm 0,3$  года, средний IQ —  $137,0 \pm 12,7$ ); контрольная группа — 28 подростков со средним уровнем развития интеллекта (средний возраст —  $14,7 \pm 0,1$  года, средний IQ —  $110,9 \pm 10,4$ ). При сравнении по половозрастным характеристикам группы были сопоставимы. Результаты исследования с помощью теста Векслера представлены в табл. 1.

Как видно из таблицы, значимые различия были выявлены по 4 из 5 показателей (индексов), отражающих уровень развития определенных когнитивных функций, и показателю

Таблица 1 / Table 1

**Сравнительная характеристика результатов теста Векслера у школьников с разным уровнем развития интеллекта**  
Comparative characteristics of the Wechsler-Intelligence test's results in schoolchildren with different levels of intelligence development

Показатель	Подростки с высоким уровнем развития интеллекта ( $n = 20$ )	Подростки со средним уровнем развития интеллекта ( $n = 28$ )	$p$
ИВВ	$49,4 \pm 6,3$	$38,2 \pm 3,5$	$<0,001$
ЗПИ	$23,6 \pm 2,4$	$21,5 \pm 1,2$	0,06
ИГМ	$32,6 \pm 4,7$	$26,2 \pm 3,5$	$<0,01$
ИРП	$19,2 \pm 1,2$	$15,3 \pm 1,3$	0,01
ИСО	$13,1 \pm 2,8$	$10,5 \pm 3,2$	0,03
ПВИ	$73,5 \pm 9,3$	$60,6 \pm 9,1$	$<0,001$
ПНИ	$67,1 \pm 8,4$	$49,4 \pm 7,3$	$<0,001$
ПОИ	$137,0 \pm 12,7$	$110,9 \pm 10,4$	$<0,001$

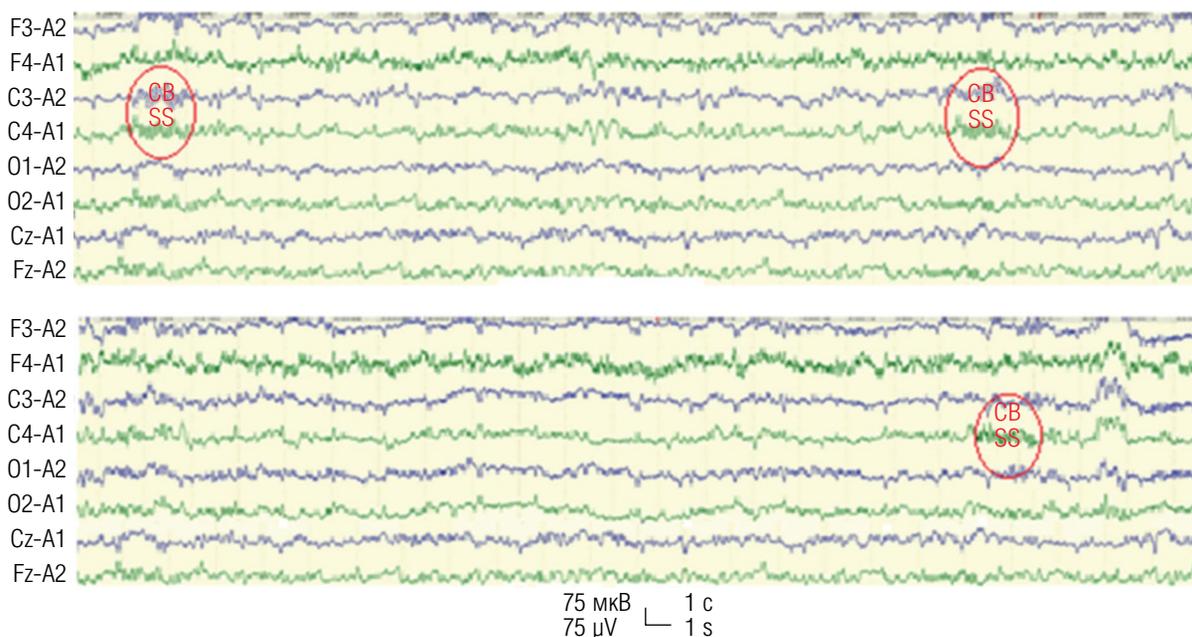
Примечание: ИВВ — индекс вербального восприятия; ЗПИ — зрительно-пространственный индекс; ИГМ — индекс гибкости мышления; ИРП — индекс рабочей памяти; ИСО — индекс скорости обработки информации; ПВИ — показатель вербального интеллекта; ПНИ — показатель невербального интеллекта; ПОИ — показатель общего интеллекта.

Таблица 2 / Table 2

**Сравнительный анализ ЭЭГ-паттернов сна у школьников исследуемых групп**  
Comparative analysis of EEG sleep patterns in schoolchildren of investigated groups

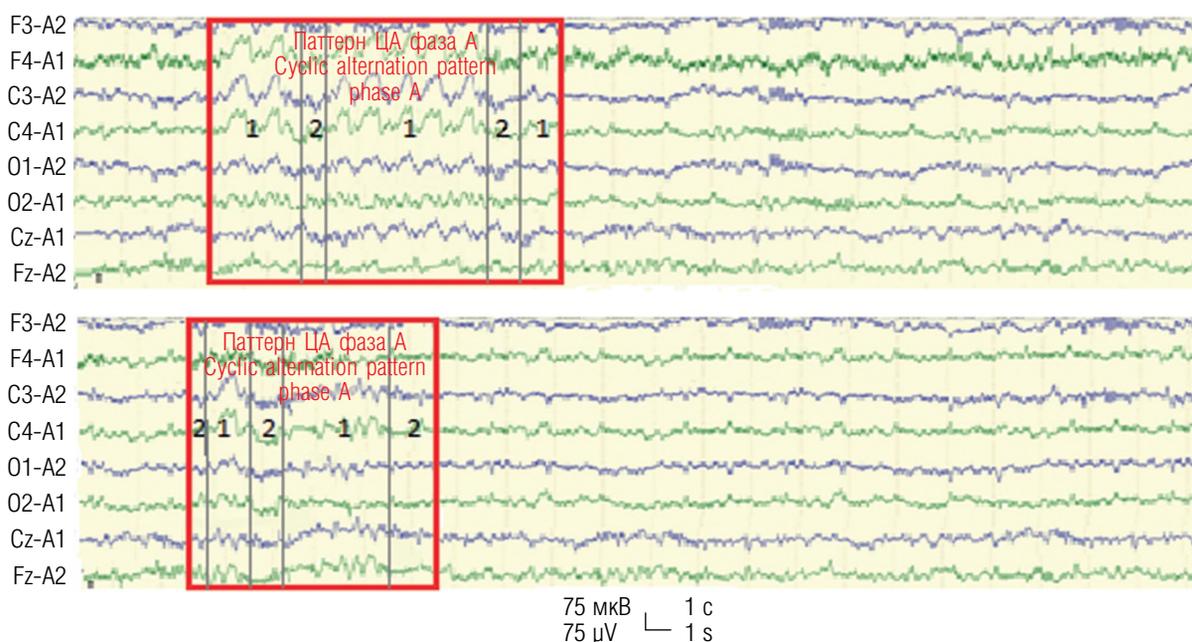
Показатель	Подростки с высоким уровнем развития интеллекта ( $n = 20$ )	Подростки со средним уровнем развития интеллекта ( $n = 28$ )	$p$
Общее время паттернов ЦА, мин	$147,9 \pm 3,3$	$128,7 \pm 3,1$	$<0,001$
Доля паттернов ЦА, %	$58,6 \pm 2,4$	$44,1 \pm 5,3$	$<0,001$
Доля А1, %	$71,4 \pm 9,2$	$60,2 \pm 8,5$	$<0,001$
Доля А2, %	$20,4 \pm 5,7$	$27,6 \pm 6,1$	0,02
Доля А3, %	$8,3 \pm 3,5$	$12,2 \pm 5,2$	0,01
Количество СВ, ед.	$312 \pm 67$	$244 \pm 56$	0,01
Средняя частота СВ, Гц	$12,1 \pm 0,5$	$13,5 \pm 0,4$	0,08
Индекс СВ, ед./мин	1,6 (1,3; 1,9)	0,9 (0,8; 1,1)	0,04

Примечание: ЭЭГ — электроэнцефалография; ЦА — циклические альтернации; А1 — подтип А1 фазы А паттерна ЦА; А2 — подтип А2 фазы А паттерна ЦА; А3 — подтип А3 фазы А паттерна ЦА; СВ — «сонные веретена».



**Рис. 1.** Примеры визуального определения «сонных веретен» (CB) на электроэнцефалограмме сна у школьников с высоким (верхний трек) и средним (нижний трек) уровнем интеллекта. Продемонстрирован увеличенный индекс сонных веретен у высокоинтеллектуальных школьников (2 ед./мин против 1 ед./мин у «обычных» подростков)

**Fig. 1.** Examples of visual identification of “sleep spindles” (SS) on the sleep EEG in schoolchildren with high (top) and average (bottom) levels of intelligence. Increased “sleep spindles” index in gifted schoolchildren was demonstrated (2 event/min versus 1 event/min in “ordinary” adolescents)



**Рис. 2.** Примеры визуального определения паттерна циклических альтернаций (ЦА) на электроэнцефалограмме сна у школьников с высоким (верхний трек) и средним (нижний трек) уровнем интеллекта. 1 — медленноволновая активность; 2 — быстроволновая активность. У высокоинтеллектуальных подростков представлен паттерн циклических альтернаций подтипа А1 (83 % медленноволновая и 17 % быстроволновая активность). У «среднестатистических» школьников представлен паттерн циклических альтернаций подтипа А2 (60 % медленноволновая и 40 % быстроволновая активность)

**Fig. 2.** Examples of visual determination of the cyclic alternation pattern on the sleep EEG in schoolchildren with high (top) and average (lower track) levels of intelligence. 1 — slow wave activity; 2 — fast wave activity. Gifted adolescents have a cyclic alternation pattern A1 subtype (83% slow wave activity and 17% fast wave activity). The “ordinary” schoolchildren have a cyclic alternation pattern A2 subtype (60% slow wave activity and 40% fast wave activity)

Таблица 3 / Table 3

Корреляционный анализ ЭЭГ-паттернов сна с показателями теста Векслера у школьников с разным уровнем интеллекта (высокий интеллект/средний интеллект)  
Correlation analyses of EEG sleep patterns with the Wechsler-Intelligence test's results in schoolchildren with different intelligence levels (high intelligence / medium intelligence)

Показатель	ИВВ	ЗПИ	ИГМ	ИРП	ИСО	ПВИ	ПНИ	ПОИ
	<i>r</i>	<i>r</i>	<i>r</i>	<i>r</i>	<i>r</i>	<i>r</i>	<i>r</i>	<i>r</i>
Время паттернов ЦА	0,35/ 0,14	0,23/ 0,11	0,31/0,16	0,16/ 0,17	0,32/ 0,22	0,22/ 0,13	0,28/ 0,18	0,18/ 0,15
Доля паттернов ЦА	0,12/ 0,13	0,12/ 0,15	<b>0,48</b> / 0,16	0,17/ 0,18	0,35/ 0,22	0,19/ 0,14	0,38/ 0,25	0,22/ 0,25
Доля А1	<b>0,48</b> / 0,25	<b>0,40</b> / 0,27	<b>0,46</b> / 0,33	<b>0,65</b> / 0,32	0,18/ 0,14	0,34/ 0,26	0,23/ 0,24	0,31/ 0,34
Доля А2	-0,28/ 0,24	-0,21/ <b>0,47</b>	-0,22/ 0,17	-0,37/ 0,31	-0,32/ 0,31	-0,36/ 0,22	-0,21/ 0,16	-0,34/ 0,22
Доля А3	-0,25/ 0,15	-0,27/ 0,25	-0,34/ 0,27	-0,28/ 0,24	-0,23/ 0,24	-0,30/ 0,25	-0,38/ 0,23	-0,25/ 0,22
Количество СВ	0,25/0,17	0,29/ 0,22	0,21/ 0,16	0,37/ 0,25	0,31/ 0,28	0,36/ 0,26	0,25/ 0,23	0,37/ 0,24
Средняя частота СВ	-0,23/ 0,27	-0,39/ 0,32	-0,29/ 0,26	-0,35/ 0,23	-0,36/ 0,31	-0,29/ 0,18	-0,31/ 0,26	<b>-0,53</b> / 0,30
Индекс СВ	<b>0,61</b> / 0,31	0,37/ 0,28	0,39/ 0,31	<b>0,72</b> / 0,21	<b>0,51</b> / 0,19	0,32/ 0,26	0,21/ 0,17	0,36/ 0,23

Примечание: ЦА — циклические альтернации; А1 — подтип А1 фазы А паттерна ЦА; А2 — подтип А2 фазы А паттерна ЦА; А3 — подтип А3 фазы А паттерна ЦА; СВ — «сонные веретена»; ИВВ — индекс вербального восприятия; ЗПИ — зрительно-пространственный индекс; ИГМ — индекс гибкости мышления; ИРП — индекс рабочей памяти; ИСО — индекс скорости обработки информации; ПВИ — показатель вербального интеллекта; ПНИ — показатель невербального интеллекта; ПОИ — показатель общего интеллекта; *r* — коэффициент корреляции.

общего интеллекта как группирующему признаку. Относительное сходство между группами выявлено лишь по способности учеников понимать и оценивать зрительно-пространственные отношения по величине зрительно-пространственного индекса ( $p = 0,06$ ).

В табл. 2 показан сравнительный анализ характеристик паттернов ЦА и СВ для обеих групп. Продемонстрированы изменения паттерна ЭЭГ во время сна у интеллектуально одаренных подростков в виде значимого увеличения общего времени и частоты паттернов ЦА (преимущественно за счет преобладания паттернов ЦА подтипа А1,  $p < 0,001$ ), уменьшения доли подтипов А2 и А3, а также повышения общего количества и индекса СВ в ФМС ( $p = 0,01$  и  $p = 0,04$  соответственно) по сравнению с их «обычными» сверстниками.

На рис. 1 и 2 показаны обнаруженные нами графоэлементы ЭЭГ сна у подростков с различным уровнем интеллекта.

Затем нами была изучена взаимосвязь между некоторыми паттернами ЭЭГ сна и показателями теста Векслера на основании расчета коэффициентов ранговой корреляции Спирмена (табл. 3).

Из таблицы видно, что доля паттернов ЦА в ФМС и доля подтипа А1 у одаренных подростков достоверно коррелировали со способностью к невербальному мышлению ( $r = 0,48$ ,  $p < 0,01$  и  $r = 0,46$ ,  $p < 0,01$  соответственно), а доля подтипа А2 — с общим и невербальным интеллектом, невербальными визуально-пространственными способностями, рабочей памятью и вербальным восприятием ( $r = 0,41$ ,  $p < 0,05$ ;  $r = 0,67$ ,  $p < 0,001$ ;  $r = 0,40$ ,  $p < 0,05$ ;  $r = 0,65$ ,  $p < 0,001$  и  $r = 0,48$ ,  $p < 0,05$  соответственно). Индекс СВ в ФМС положительно коррелировал с вербальным восприятием и рабочей памятью, со скоростью обработки информации и общим интеллектом ( $r = 0,61$ ,  $p < 0,001$ ;  $0,72$ ,  $p < 0,001$ ;  $0,51$ ,  $p < 0,01$ ; и  $0,69$ ,  $p < 0,001$  соответственно), а средняя частота СВ показала значимую отрицательную корреляцию только с уровнем общего интеллекта ( $r = -0,53$ ,  $p < 0,01$ ) у школьников с высоким уровнем развития интеллекта. В группе школьников с «обычным» интеллектом также были обнаружены значимые корреляционные взаимосвязи паттернов ЭЭГ сна с когнитивными доменами, но в меньшей степени. Так, только доля подтипа А2 и индекс СВ положительно

коррелировали со зрительно-пространственными способностями и рабочей памятью ( $r = 0,47$  и  $r = 0,43$ ,  $p < 0,05$  для обоих показателей).

## Обсуждение

Известно, что одаренные дети — это особый контингент общества, который характеризуется ускоренным психическим развитием, что часто влечет за собой трудности социальной адаптации в окружении «обычных» сверстников, затрудняет процессы самореализации и личностного роста, приводя к высокому нервно-психическому напряжению и риску развития психосоматической патологии [22, 23]. Механизмом, позволяющим адаптировать организм такого ребенка к повышенным психоэмоциональным нагрузкам, может служить нейропластичность, которая отражается в изменении его биоэлектрической активности, проявляющемся в преобладании спектральной мощности ритмов ЭЭГ в низкочастотных диапазонах с усилением внутрислошарных когерентных связей при решении сложных когнитивных задач [24]. В современных исследованиях показана важность психонейрофизиологического подхода для оценки адекватности формирования когнитивных функций и интеллектуальных способностей в детской и подростковой популяциях. Особенно актуальным, но недостаточно освещенным в мировой и не представленным в отечественной литературе остается вопрос специфических ЭЭГ-паттернов сна при высоком уровне развития интеллекта. Так, специфическими маркерами синаптической пластичности, созревания головного мозга и когнитивного функционирования у детей являются СВ и паттерны ЦА, регистрируемые на ЭЭГ во время сна [8, 9, 11, 12]. При этом указанные работы были выполнены на выборках детей преимущественно допубертатного возраста (младше 12 лет) с «обычным» интеллектуальным развитием ( $IQ = 105–117$ ). Проведенное нами исследование среди высокоинтеллектуальных подростков (средний  $IQ = 137$ ) продемонстрировало значимые изменения микроструктуры сна, а также разную плотность и направленность корреляционных связей между некоторыми ЭЭГ-паттернами сна (частота паттернов ЦА в ФМС, доля подтипов А1 и А2 фазы А паттерна ЦА, индекс и средняя частота СВ) и показателями теста Векслера (его вербальным и невербальным компонентами) в зависимости от уровня интеллекта. Полученные результаты в целом согласуются с существующими наработками, но следует отметить, что возраст 14–15 лет, в котором находились участники нашего исследования, считается критическим с точки зрения возрастной физиологии. Именно в этот период

происходят различные физиологические и психологические изменения, подростки сталкиваются с множеством проблем и нагрузок, в числе которых и интеллектуальные, активно идет процесс становления функции регуляторных систем организма [25], активных не только в состоянии бодрствования, но и во время сна. В этот период могут возникнуть различные соматические и психические нарушения, имеющие тенденцию к хронизации, особенно у такой «уязвимой» категории подростков, как одаренные.

## Заключение

Учитывая уже известные сведения и результаты, полученные в настоящем исследовании, мы предполагаем, что особенности микроструктуры сна у высокоинтеллектуальных школьников можно рассматривать в качестве нейрофизиологических критериев нейрокогнитивного развития, а также специфических маркеров нейропластичности при интенсификации обучения у детей и подростков. При этом актуальными задачами ученых остаются поиск нейрофизиологических маркеров различных видов детской одаренности во время сна; разработка и внедрение в образовательный процесс новых научно-обоснованных методов управления процессами консолидации памяти и технологий здоровьесбережения, направленных на укрепление психического и соматического здоровья одаренных школьников.

## Дополнительная информация

**Финансирование.** Исследование выполнено в рамках темы государственного задания «Закономерности формирования психосоматических расстройств в детском и подростковом возрасте».

**Соблюдение этических норм.** Выполнение исследования одобрено протоколом комитета по биомедицинской этике ФГБНУ «Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека» (№ 2 от 22.02.2018).

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Вклад авторов.** *О.Н. Бердина* — концепция и дизайн исследования, подбор литературы, сбор и обработка материалов, анализ полученных данных, написание текста; *И.М. Мадаева* — концепция и дизайн исследования, анализ полученных данных; *В.М. Поляков* — концепция и дизайн исследования, анализ полученных данных; *Л.В. Рычкова* — концепция и дизайн исследования.

Данная работа выполнена с использованием оборудования ЦКП «Центр разработки прогрессивных персонализированных технологий здоровья» ФГБНУ НЦ ПЗСРЧ, Иркутск.

## Список литературы

- Madaeva I., Berdina O., Rychkova L., Bugun O. Sleep spindle characteristics in overweight adolescents with obstructive sleep apnea syndrome // *Sleep Biol. Rhythms*. 2017. Vol. 15, No. 3. P. 251–257. DOI: 10.1007/s41105-017-0104-z
- Raven F., van der Zee E.A., Meerlo P., Havekes R. The role of sleep in regulating structural plasticity and synaptic strength: Implications for memory and cognitive function // *Sleep Med. Rev*. 2018. Vol. 39. P. 3–11. DOI: 10.1016/j.smr.2017.05.002
- Hossain M.S., Fujino T. Plasmalogens enhance spatial memory by increasing synaptic plasticity // *Medical Academic Journal*. 2019. Vol. 19, No. 1S. P. 15. DOI: 10.17816/MAJ191S115
- Холодная М.А. Психология интеллекта. Парадоксы исследования. Санкт-Петербург: Питер, 2002.
- Thatcher R.W., North D., Biver C. EEG and intelligence: Relations between EEG coherence, EEG phase delay and power // *Clin. Neurophysiol*. 2005. Vol. 116, No. 9. P. 2129–2141. DOI: 10.1016/j.clinph.2005.04.026
- Бердина О.Н., Рычкова Л.В., Мадаева И.М. Особенности структурной организации сна у школьников с высокими интеллектуальными способностями // *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2018. Т. 118, № 7. С. 78–81. DOI: 10.17116/jnevro20181187178
- Geiger A., Huber R., Kurth S. et al. The sleep EEG as a marker of intellectual ability in school age children // *Sleep*. 2011. Vol. 34, No. 2. P. 181–189. DOI: 10.1093/sleep/34.2.181
- Gorgoni M., D'Atri A., Scarpelli S. et al. Sleep electroencephalography and brain maturation: developmental trajectories and the relation with cognitive functioning // *Sleep Med*. 2020. Vol. 66. P. 33–50. DOI: 10.1016/j.sleep.2019.06.025
- Bruni O., Kohler M., Novelli L. et al. The role of NREM sleep instability in child cognitive performance // *Sleep*. 2012. Vol. 35, No. 5. P. 649–656. DOI: 10.5665/sleep.1824
- Seibt J., Richard C.J., Sigl-Glückner J. et al. Cortical dendritic activity correlates with spindle-rich oscillations during sleep in rodents // *Nat. Commun*. 2017. Vol. 8, No. 1. P. 684. DOI: 10.1038/s41467-017-00735-w
- Hahn M., Joehner A.-K., Roell J. et al. Developmental changes of sleep spindles and their impact on sleep-dependent memory consolidation and general cognitive abilities: A longitudinal approach // *Dev. Sci*. 2019. Vol. 22, No. 1. P. e12706. DOI: 10.1111/desc.12706
- Parrino L., Ferri R., Bruni O., Terzano M.G. Cyclic alternating pattern (CAP): The marker of sleep instability // *Sleep Med. Rev*. 2012. Vol. 16, No. 1. P. 27–45. DOI: 10.1016/j.smr.2011.02.003
- Бурлачук Л.Ф. Психодиагностика: учебник для вузов. Санкт-Петербург: Питер, 2006.
- Styck K.M., Watkins M.W. Structural validity of the WISC-IV for students with learning disabilities // *J. Learn Disabil*. 2016. Vol. 49, No. 2. P. 216–224. DOI: 10.1177/0022219414539565
- Строгова С.Е. Оценка памяти и внимания по субшкалам «теста Векслера» (детский вариант) при психической патологии // *Психологическая диагностика*. 2017. Т. 14, № 2. С. 22–30.
- Владимирова С.Г. Шкала Давида Векслера: настоящее и будущее в решении проблемы измерения интеллекта // *Ярославский педагогический вестник*. 2016. № 2. С. 122–126.
- Klem G.H., Lüders H.O., Jasper H.H., Elger C. The ten-twenty electrode system of the International Federation. The International Federation of Clinical Neurophysiology // *Electroencephalogr // Clin. Neurophysiol. Suppl*. 1999. Vol. 52. P. 3–6.
- Berry R.B., Brooks R., Gamaldo C.E. et al. The AASM Manual for the scoring of sleep and associated events: rules, terminology and technical specifications. Version 2.2. Darien, Illinois: American Academy of Sleep Medicine, 2015.
- Terzano M.G., Parrino L., Smerieri A.R. et al. Atlas, rules, and recording techniques for the scoring of cyclic alternating pattern (CAP) in human sleep // *Sleep Med*. 2001. Vol. 2, No. 6. P. 537–553. DOI: 10.1016/s1389-9457(01)00149-6
- Bruni O., Novelli L., Finotti E. et al. All-night EEG power spectral analysis of the cyclic alternating pattern at different ages // *Clin. Neurophysiol*. 2009. Vol. 120, No. 2. P. 248–256. DOI: 10.1016/j.clinph.2008.11.001
- Brockmann P., Damiani F., Pincheira E. et al. Sleep spindle activity in children with obstructive sleep apnea as a marker of neurocognitive performance: a pilot study // *Eur. J. Paediatr. Neurol*. 2018. Vol. 22, No. 3. P. 434–439. DOI: 10.1016/j.ejpn.2018.02.003
- Прохорова И.С., Соловьева И.В. Исследование особенностей социально-психологической адаптации интеллектуально одаренных учащихся // *Мир науки, культуры, образования*. 2017. № 3(64). С. 264–266.
- Kolesnikova L., Dzyatkovskaya E., Rychkova L., Polyakov V. New approaches to identifying children of psychosomatic disorders risk group // *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2015. Vol. 214. P. 882–889. DOI: 10.1016/j.sbspro.2015.11.745
- Кац Е.Б. Психофизиологические и психологические особенности учащихся с признаками одаренности: дис. ... канд. психол. наук. Ростов-на-Дону, 2010.
- Social determinants of health and well-being among young people. Health Behavior in School-aged Children (HBSC) study: international report from the 2009/2010 survey [Электронный ресурс] // WHO. Health Policy for Children and Adolescents. No. 6. Режим доступа: [https://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0003/163857/Social-determinants-of-health-and-well-being-among-young-people.pdf](https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0003/163857/Social-determinants-of-health-and-well-being-among-young-people.pdf). Дата обращения: 16.11.2021.

## References

- Madaeva I, Berdina O, Rychkova L, Bugun O. Sleep spindle characteristics in overweight adolescents with obstructive sleep apnea syndrome. *Sleep Biol Rhythms*. 2017;15(3):251–257. DOI: 10.1007/s41105-017-0104-z
- Raven F, van der Zee EA, Meerlo P, Havekes R. The role of sleep in regulating structural plasticity and synaptic strength: Implications for memory and cognitive function. *Sleep Med Rev*. 2018;39:3–11. DOI: 10.1016/j.smr.2017.05.002
- Hossain MS, Fujino T. Plasmalogens enhance spatial memory by increasing synaptic plasticity. *Medical Academic Journal*. 2019;19(1S):15. DOI: 10.17816/MAJ191S115

4. Kholodnaya MA. Psikhologiya intellekta. Paradoksy issledovaniya. Saint Petersburg: Piter; 2002. (In Russ.)
5. Thatcher RW, North D, Biver C. EEG and intelligence: Relations between EEG coherence, EEG phase delay and power. *Clin Neurophysiol.* 2005;116(9):2129–2141. DOI: 10.1016/j.clinph.2005.04.026
6. Berdina ON, Rychkova LV, Madaeva IM. Characteristics of sleep structure in schoolchildren with high intellectual abilities. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry.* 2018;118(7):78–81. (In Russ.). DOI: 10.17116/jnevro20181187178
7. Geiger A, Huber R, Kurth S, et al. The sleep EEG as a marker of intellectual ability in school age children. *Sleep.* 2011;34(2):181–189. DOI: 10.1093/sleep/34.2.181
8. Gorgoni M, D'Atri A, Scarpelli S, et al. Sleep electroencephalography and brain maturation: developmental trajectories and the relation with cognitive functioning. *Sleep Med.* 2020;66:33–50. DOI: 10.1016/j.sleep.2019.06.025
9. Bruni O, Kohler M, Novelli L, et al. The role of NREM sleep instability in child cognitive performance. *Sleep.* 2012;35(5):649–656. DOI: 10.5665/sleep.1824
10. Seibt J, Richard CJ, Sigl-Glöckner J, et al. Cortical dendritic activity correlates with spindle-rich oscillations during sleep in rodents. *Nat Commun.* 2017;8(1):684. DOI: 10.1038/s41467-017-00735-w
11. Hahn M, Joechner A-K, Roell J, et al. Developmental changes of sleep spindles and their impact on sleep-dependent memory consolidation and general cognitive abilities: A longitudinal approach. *Dev Sci.* 2019;22(1):e12706. DOI: 10.1111/desc.12706
12. Parrino L, Ferri R, Bruni O, Terzano MG. Cyclic alternating pattern (CAP): The marker of sleep instability. *Sleep Med Rev.* 2012;16(1):27–45. DOI: 10.1016/j.smrv.2011.02.003
13. Burlachuk LF. Psikhodiagnostika: uchebnik dlya vuzov. Saint Petersburg: Piter; 2006. (In Russ.)
14. Styck KM, Watkins MW. Structural validity of the WISC-IV for students with learning disabilities. *J Learn Disabil.* 2016;49(2):216–224. DOI: 10.1177/0022219414539565
15. Strogova SE. Evaluation of memory and attention by the subscales of the Wechsler test (children's version) for mental pathology. *Psychological Diagnostics.* 2017. Vol. 14, No. 2. P. 22–30. (In Russ.)
16. Vladimirova SG. David Wechsler's scale: present and future in solving the problem of intelligence measurement. *Yaroslavl Pedagogical Bulletin.* 2016;2:122–126. (In Russ.)
17. Klem GH, Lüders HO, Jasper HH, Elger C. The ten-twenty electrode system of the International Federation. The International Federation of Clinical Neurophysiology. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol Suppl.* 1999;52:3–6.
18. Berry RB, Brooks R, Gamaldo CE, et al. The AASM Manual for the scoring of sleep and associated events: rules, terminology and technical specifications. Version 2.2. Darien, Illinois: American Academy of Sleep Medicine; 2015.
19. Terzano MG, Parrino L, Smerieri AR, et al. Atlas, rules, and recording techniques for the scoring of cyclic alternating pattern (CAP) in human sleep. *Sleep Med.* 2001;2(6):537–553. DOI: 10.1016/s1389-9457(01)00149-6
20. Bruni O, Novelli L, Finotti E, et al. All-night EEG power spectral analysis of the cyclic alternating pattern at different ages. *Clin Neurophysiol.* 2009;120(2):248–256. DOI: 10.1016/j.clinph.2008.11.001
21. Brockmann P, Damiani F, Pincheira E, et al. Sleep spindle activity in children with obstructive sleep apnea as a marker of neurocognitive performance: a pilot study. *Eur J Paediatr Neurol.* 2018;22(3):434–439. DOI: 10.1016/j.ejpn.2018.02.003
22. Prokhorova IS, Solov'eva IV. Investigation of the particular features of social-psychological adaptation of intellectual public students. *The World of Science, Culture and Education.* 2017;(3(64)):264–266. (In Russ.)
23. Kolesnikova L, Dzyatkovskaya E, Rychkova L, Polyakov V. New approaches to identifying children of psychosomatic disorders risk group. *Procedia – Social and Behavioral Sciences.* 2015;214:882–889. DOI: 10.1016/j.sbspro.2015.11.745
24. Kac EB. Psihofiziologicheskie i psihologicheskie osobennosti uchashhihsja s priznakami odarennosti [dissertation]. Rostov-na-Donu; 2010. (In Russ.)
25. Social determinants of health and well-being among young people. Health Behavior in School-aged Children (HBSC) study: international report from the 2009/2010 survey [Internet]. WHO. *Health Policy for Children and Adolescents.* No. 6. Available from: [https://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0003/163857/Social-determinants-of-health-and-well-being-among-young-people.pdf](https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0003/163857/Social-determinants-of-health-and-well-being-among-young-people.pdf). Accessed: Nov 16, 2021.

### Информация об авторах / Information about the authors

**Ольга Николаевна Бердина** — канд. мед. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории сомнологии и нейрофизиологии. ФГБНУ «Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека», Иркутск, Россия. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0930-6543>; eLibrary SPIN: 4280-7010; e-mail: [goodnight\\_84@mail.ru](mailto:goodnight_84@mail.ru)

**Ирина Михайловна Мадаева** — д-р мед. наук, главный научный сотрудник лаборатории сомнологии и нейрофизиологии. ФГБНУ «Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека», Иркутск, Россия. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3423-7260>; eLibrary SPIN: 9869-7793; e-mail: [nightchild@mail.ru](mailto:nightchild@mail.ru)

**Olga N. Berdina** — MD, Cand. Sci. (Med.), Leading Researcher of the Laboratory of Somnology and Neurophysiology. Scientific Centre for Family Health and Human Reproduction Problems, Irkutsk, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0930-6543>; eLibrary SPIN: 4280-7010; e-mail: [goodnight\\_84@mail.ru](mailto:goodnight_84@mail.ru)

**Irina M. Madaeva** — MD, Dr. Sci. (Med.), Head Researcher of the Laboratory of Somnology and Neurophysiology. Scientific Centre for Family Health and Human Reproduction Problems, Irkutsk, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3423-7260>; eLibrary SPIN: 9869-7793; e-mail: [nightchild@mail.ru](mailto:nightchild@mail.ru)

**Информация об авторах / Information about the authors**

*Владимир Матвеевич Поляков* — д-р биол. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории психонейросоматической патологии детского возраста. ФГБНУ «Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека», Иркутск, Россия. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6243-9391>; eLibrary SPIN: 2704-7719; e-mail: [polyakov@mail.ru](mailto:polyakov@mail.ru)

*Любовь Владимировна Рычкова* — д-р мед. наук, профессор, член-корр. РАН, директор. ФГБНУ «Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека», Иркутск, Россия. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5292-0907>; eLibrary SPIN: 1369-6575; e-mail: [iphrr@sbamsr.irk.ru](mailto:iphrr@sbamsr.irk.ru)

*Vladimir M. Polyakov* — Dr. Sci. (Biol.), Leading Researcher of the Laboratory of Psychoneurosomatic Pathology of Childhood. Scientific Centre for Family Health and Human Reproduction Problems, Irkutsk, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6243-9391>; eLibrary SPIN: 2704-7719; e-mail: [polyakov@mail.ru](mailto:polyakov@mail.ru)

*Lyubov V. Rychkova* — MD, Dr. Sci. (Med.), Professor, RAS Corresponding Member, director. Scientific Centre for Family Health and Human Reproduction Problems, Irkutsk, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5292-0907>; eLibrary SPIN: 1369-6575; e-mail: [iphrr@sbamsr.irk.ru](mailto:iphrr@sbamsr.irk.ru)

**✉ Контактное лицо / Corresponding author**

*Ольга Николаевна Бердина / Olga N. Verdina*  
Адрес: Россия, 664003, Иркутская область, г. Иркутск, ул. Тимирязева, д. 16  
Address: 16 Timiryazev Str., Irkutsk, Irkutsk region, 664003, Russia  
E-mail: [goodnight\\_84@mail.ru](mailto:goodnight_84@mail.ru)