

Граблина Яна Александровна, студентка,
Уральский Государственный Медицинский Университет
Grablina Yana Aleksandrovna, student,
Ural State Medical University

**ХРОНОФИЗИОЛОГИЯ ДЕТСКОГО ВОЗРАСТА:
ЦИРКАДНЫЕ РИТМЫ КОРТИЗОЛА И МЕЛАТОНИНА
КАК ОСНОВА СОМАТИЧЕСКОГО И ПСИХИЧЕСКОГО ЗДОРОВЬЯ
CHRONOPHYSIOLOGY OF CHILDHOOD: CIRCADIAN
RHYTHMS OF CORTISOL AND MELATONIN AS A BASIS
FOR SOMATIC AND MENTAL HEALTH**

Аннотация. Данная работа посвящена исследованию хронофизиологических аспектов развития детского организма, а именно становлению циркадных ритмов кортизола и мелатонина в онтогенезе и их значению для соматического и психического здоровья. Рассматривается эволюция временной организации от хаотичного ультрадианного ритма новорожденного, характеризующегося незрелостью эпифиза и отсутствием собственной продукции мелатонина, до стабильного циркадного профиля школьника с четким утренним пиком кортизола и высокой амплитудой ночной секреции мелатонина.

Особое внимание уделяется критическим периодам формирования ритмов, включая младенчество и пубертатный сдвиг фазы сна. Основной фокус работы направлен на анализ деструктивного воздействия экранного времени и излучения синего спектра светодиодных устройств на эпифиз.

Подробно рассматривается механизм подавления секреции мелатонина, что ведет к каскадным нарушениям: дисфункции иммунной системы (снижение активности натуральных киллеров), сокращению фазы глубокого сна и, как следствие, уменьшению выработки гормона роста, а также патологическому изменению ритма кортизола с формированием вечерней гиперкортизолемии. Последнее рассматривается как ключевое патогенетическое звено в развитии тревожно-депрессивных расстройств у подростков. В заключении аннотации подчеркивается необходимость внедрения принципов хроноэкологии и гигиены сна в педиатрическую практику для профилактики нарушений, вызванных цифровой средой.

Abstract. This paper examines the chronophysiological aspects of child development, specifically the development of circadian rhythms of cortisol and melatonin during ontogenesis and their significance for physical and mental health. It examines the evolution of temporal organization from the chaotic ultradian rhythm of a newborn, characterized by an immature pineal gland and the absence of melatonin production, to the stable circadian profile of a schoolchild with a distinct morning cortisol peak and high amplitude of nocturnal melatonin secretion.

Particular attention is paid to critical periods of rhythm formation, including infancy and the sleep phase shift associated with puberty. The primary focus of the paper is on analyzing the destructive effects of screen time and blue-spectrum radiation from LED devices on the pineal gland. The mechanism of melatonin suppression, which leads to cascading disorders, is examined in detail: immune system dysfunction (decreased natural killer cell activity), shortened deep sleep and, consequently, decreased growth hormone production, as well as pathological changes in the cortisol rhythm with the development of evening hypercortisolemia. The latter is considered a key pathogenetic link in the development of anxiety and depressive disorders in adolescents. The conclusion of the abstract emphasizes the need to implement the principles of chronoecology and sleep hygiene in pediatric practice to prevent disorders caused by the digital environment.



Ключевые слова: Циркадные ритмы, психическое здоровье, экранное время.

Keywords: Circadian rhythms, mental health, screen time.

Хронофизиология детского возраста представляет собой одно из наиболее актуальных направлений современной педиатрии и нейробиологии, поскольку изучает временную организацию физиологических процессов в период интенсивного роста и созревания организма. Центральное место в этой дисциплине занимает исследование циркадных ритмов – эндогенных колебаний биологических процессов с периодом около 24 часов, которые синхронизируют жизнедеятельность организма с циклом смена дня и ночи. Два ключевых гормона – кортизол и мелатонин – выступают главными исполнительными элементами этой системы, обеспечивая попеременно состояние активного бодрствования и глубокого восстановительного сна. Формирование устойчивого баланса между ними в детстве закладывает фундамент соматического и психического здоровья, тогда как его нарушение, особенно под влиянием экранного излучения, становится фактором риска иммунных, эндокринных и аффективных расстройств, приобретающих в последние десятилетия характер неинфекционной эпидемии.

Онтогенез циркадной системы человека начинается задолго до рождения, однако собственная автономная ритмичность у плода отсутствует. Внутритробно будущий ребенок существует в ритме матери, получая через плаценту и кровоток сигналы о смене дня и ночи посредством колебаний концентрации материнских гормонов, в первую очередь мелатонина и кортизола. Мелатонин матери легко проникает через плацентарный барьер, и его ночной пик служит для плода первичным химическим маркером темного времени суток, постепенно синхронизируя работу его незрелых внутренних часов. Кортизол матери, напротив, достигает максимума в утренние часы, задавая противоположную фазу активности. Таким образом, еще до рождения закладывается основа для будущего противопоставления фаз покоя и бодрствования. После появления на свет начинается длительный, растянутый на годы процесс созревания супрахиазматического ядра гипоталамуса – главного водителя ритма, а также его афферентных и эфферентных связей с сетчаткой глаза и эпифизом [1].

Период новорожденности характеризуется хаотичным, так называемым ультрадианным ритмом: циклы сна и бодрствования длятся всего по 3-4 часа и определяются исключительно витальными потребностями – чувством голода, дискомфортом от мокрых пеленок или коликами. Секреция кортизола в это время имеет низкую амплитуду и не демонстрирует четкого суточного пика, что связано с незрелостью гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси. Собственный мелатонин практически не вырабатывается из-за функциональной незрелости шишковидной железы, которая еще не способна к ритмической активности. В этот критический период исключительную роль играет грудное молоко: оно содержит ночной мелатонин матери, концентрация которого в вечерних и ночных кормлениях выше, чем в дневных. Этот экзогенный мелатонин, поступающий с молоком, выполняет роль хронобиотика, помогая младенцу синхронизировать свои разрозненные ритмы и постепенно формируя у него предпочтение сна в темное время суток. Дети на искусственном вскармливании, лишённые этого фактора, часто демонстрируют более медленное становление циркадных ритмов.

Примерно к 2-3 месяцам жизни в эпифизе начинается слабая, но уже собственная секреция мелатонина, которая усиливается в ночные часы. Одновременно с этим кора надпочечников начинает продуцировать кортизол с намечающимся утренним акрофазой. К концу первого года жизни формируется отчетливый утренний пик кортизола, который обеспечивает плавный и физиологичный переход от сна к бодрствованию, а ночная секреция мелатонина достигает уровня, достаточного для поддержания длительного ночного сна. Этот



период знаменует собой консолидацию сна в ночной отрезок времени и постепенное исчезновение дневных снов с переходом на один-два дневных сна [2,3].

В раннем и дошкольном возрасте происходит интенсивное закрепление и стабилизация циркадного паттерна. Ночная секреция мелатонина становится максимальной за всю жизнь человека – у детей дошкольного возраста амплитуда ночного пика мелатонина выше, чем у взрослых, что обеспечивает исключительную глубину и восстановительную силу детского сна. Формируется устойчивый кортизоловый ответ на пробуждение – резкий подъем уровня гормона в первые 30-40 минут после утреннего пробуждения, который подготавливает сердечно-сосудистую и нервную системы к дневной активности, мобилизует глюкозу и улучшает когнитивные функции. Этот период является критическим с точки зрения хроноэкологии: любые сбои режима, недостаток полной темноты в вечернее время или отсутствие яркого света утром могут нарушить хрупкую синхронизацию, что в дальнейшем проявится трудностями засыпания, ночными страхами или гиперактивностью днем.

К моменту поступления в школу циркадная система достигает зрелого, хорошо скоординированного функционирования: ритмы кортизола и мелатонина четко очерчены, что обеспечивает высокую дневную работоспособность, способность к концентрации внимания и полноценное ночное восстановление. Младший школьник легко засыпает вечером и просыпается утром при условии соблюдения гигиенических норм освещения. Однако с началом пубертата происходит естественный и неизбежный сдвиг циркадного предпочтения – так называемый «отложенный сон» или фазовый сдвиг. Под влиянием половых гормонов чувствительность супрахиазматического ядра к свету изменяется, и эпифиз начинает секретировать мелатонин позже вечером, примерно на 1-2 часа. Возникает объективная биологическая потребность подростка засыпать и просыпаться позже. Однако социальные требования – раннее начало школьных занятий – вступают в жесткий конфликт с биологией. Подросток вынужден ложиться спать, не чувствуя сонливости, а просыпаться, когда мелатонин еще не достиг своего утреннего минимума. Это само по себе создает предпосылки для хронического недосыпания и так называемого социального джетлага, что делает подростков крайне уязвимыми к дополнительным десинхронизирующим факторам.

Главным таким дополнительным фактором в XXI веке стало неконтролируемое экранное время и, в частности, воздействие синего света светодиодных излучателей. Современные дисплеи смартфонов, планшетов, компьютеров и телевизоров используют светодиоды с пиком излучения в коротковолновом синем диапазоне (460-480 нанометров). С точки зрения эволюции, этот спектр характерен для утреннего и дневного неба и служит для организма самым мощным сигналом бодрствования. Свет этого спектра воздействует на особые, недавно открытые ганглионарные клетки сетчатки, содержащие фотопигмент меланопсин. Эти клетки не участвуют в формировании зрительного образа, но напрямую связаны с супрахиазматическим ядром гипоталамуса. При попадании синего света они посылают мощный активирующий сигнал, который для мозга равнозначен команде: «сейчас день, нужно быть активным». Это приводит к немедленному подавлению активности эпифиза и блокировке синтеза мелатонина [1,3,4].

Многочисленные исследования показывают, что даже умеренная яркость экрана, используемого в вечерние часы за 1-2 часа до сна, способна подавить продукцию мелатонина на 50–70% и сдвинуть начало его секреции на 1,5-2,5 часа. Следствием этого становится десинхроноз – рассогласование внутренних ритмов, при котором все ткани и органы продолжают функционировать в режиме бодрствования, тогда как внешнее время уже требует перехода ко сну. Особенно опасно то, что дети и подростки часто используют гаджеты в постели перед сном, и даже короткие сеансы просмотра видео или социальных сетей разрушительно действуют на их хронофизиологию. При этом когнитивная и эмоциональная



вовлеченность в контент дополнительно активирует стрессовые системы, повышая уровень кортизола и адреналина, что еще больше усугубляет бессонницу.

Снижение мелатонина и нарушение циркадной структуры сна имеют каскадные, системные последствия для всего организма. Будучи мощнейшим эндогенным антиоксидантом и иммуномодулятором, мелатонин регулирует активность ключевых звеньев иммунной системы. Он стимулирует пролиферацию и активность натуральных киллеров – клеток, отвечающих за первую линию противовирусной и противоопухолевой защиты, регулирует продукцию провоспалительных цитокинов и способствует созреванию Т-лимфоцитов. Его дефицит, вызванный световым загрязнением ночью, ослабляет иммунный надзор, что частично объясняет статистически значимый рост частоты инфекционных заболеваний, более тяжелое их течение и увеличение доли аллергических и аутоиммунных реакций среди детей и подростков, проводящих много времени за гаджетами в ущерб полноценному сну [5,6].

Далее, критически важным последствием является нарушение секреции гормона роста. Соматотропный гормон, или гормон роста, секретируется гипофизом импульсно, и его самый мощный и продолжительный пик приходится на фазу глубокого медленного сна, которая наступает примерно через 40-60 минут после засыпания и доминирует в первую половину ночи. Именно во время этого глубокого сна, когда организм максимально расслаблен, а мозг минимально активен, происходит основное восстановление тканей, синтез белков, обновление клеток и, что особенно важно для детей, линейный рост костей. Подавление мелатонина и, как следствие, трудности засыпания и фрагментация сна сокращают или полностью нивелируют фазу глубокого сна. Ребенок может провести в постели достаточное количество часов, но структурно его сон будет неполноценным, преимущественно поверхностным. Это напрямую сказывается на выработке гормона роста, что может вести к задержке физического развития, снижению мышечной массы и нарушению метаболических процессов, включая склонность к накоплению жировой ткани.

Нарушения в работе гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси, ведомой кортизолом, не менее опасны и имеют прямое отношение к взрывному росту тревожных и депрессивных расстройств в подростковой среде. В норме кортизол подчиняется строгому циркадному ритму: его уровень достигает максимума в утренние часы (около 8-9 утра), обеспечивая энергию и мотивацию для активности, а к вечеру плавно снижается до минимальных значений, позволяя мозгу и телу расслабиться. Вечернее использование экранов, создавая избыточную сенсорную и эмоциональную стимуляцию и одновременно подавляя мелатонин, приводит к патологическому повышению вечернего кортизола. Мозг подростка, и без того склонный к гиперреактивности эмоциональных центров, не получает сигнала к завершению дня и переходу в состояние покоя. Хронически высокий вечерний кортизол истощает резервные возможности надпочечников, нарушает нейропластичность в гиппокампе – центре памяти и эмоционального контроля, и снижает уровень нейротрофического фактора мозга, который необходим для выживания и роста нейронов. Формируется порочный круг: тревога, подавленность и сниженное настроение толкают подростка к «залипанию» в телефоне или компьютере в ночные часы в поисках быстрого дофаминового подкрепления, а синий свет и вызванный им высокий кортизол еще сильнее подавляют мелатонин, усугубляя бессонницу, ангедонию и снижая стрессоустойчивость. Это состояние является прямым патогенетическим путем к развитию депрессивных расстройств, причем их течение на фоне хронического десинхроноза часто более тяжелое и резистентное к терапии [7].

Преодоление этих рисков требует комплексного, мультидисциплинарного подхода, основанного на принципах хроноэкологии и гигиены нервной системы ребенка. Ключевым



направлением является воспитание культуры обращения с цифровыми устройствами в семье. Это подразумевает строгое ограничение экранного времени в вечерние часы: за 1,5-2 часа до сна все гаджеты с яркими экранами должны быть исключены. Использование встроенных режимов «теплого света», снижающих долю синего спектра, и специальных очков с желтыми фильтрами может несколько смягчить вред, но не отменяет необходимости полного отказа от экранов перед сном. Однако не менее важно насыщение светом утренних часов: яркий естественный свет в первой половине дня, особенно в первые 30-60 минут после пробуждения, помогает «перезапустить» циркадную систему, закрепляя правильный ритм кортизола и подготавливая своевременный вечерний выброс мелатонина. Прогулки в утреннее время, активные игры на улице должны стать обязательным компонентом режима дня. Формирование устойчивых семейных ритуалов отхода ко сну, исключающих цифровые раздражители и включающих спокойное чтение, общение, теплую ванну, должно стать нормой воспитания с самого раннего возраста. Определенную поддержку может оказать диета, богатая триптофаном – предшественником серотонина и мелатонина, а также самим мелатонином. К продуктам, способствующим естественной коррекции ритмов, относятся вишня и вишневый сок, бананы, миндаль, молоко, индейка и овсяная крупа. Вопрос о применении фармакологических препаратов мелатонина у детей остается сложным и неоднозначным. Назначение экзогенного мелатонина должно быть строго обосновано, проводиться только по назначению врача и, как правило, в качестве временной меры при доказанных нарушениях, но не как постоянная замена гигиеническим мероприятиям, поскольку вмешательство в тонкие механизмы эндокринной регуляции в период развития требует предельной осторожности.

Таким образом, хронофизиологический подход позволяет принципиально по-новому взглянуть на здоровье и развитие детей в современных условиях. Путь от хаотичных, незрелых ритмов новорожденного к стабильному, хорошо скоординированному профилю кортизола и мелатонина у школьника представляет собой фундаментальную биологическую основу, на которой строятся иммунитет, физическое развитие и эмоциональная стабильность. Агрессивное и повсеместное воздействие синего света светодиодных экранов в вечернее время разрушает эту основу, действуя как мощный десинхронизатор и провоцируя каскад патологических реакций, затрагивающих эндокринную, иммунную и нервную системы. Защита циркадной системы ребенка, понимание ее хрупкости и уязвимости в разные возрастные периоды должны стать приоритетной задачей современной педиатрии, гигиенического воспитания и семейной культуры. Только синхронная, слаженная работа внутренних часов способна обеспечить гармоничный рост и развитие в условиях высокой технологической нагрузки, и именно сохранение этой синхронности является ключом к профилактике многих хронических заболеваний XXI века [8,9].

Список литературы:

1. Арушанян, Э. Б. Хронофармакология / Э. Б. Арушанян. – Ставрополь: Изд-во СтГМА, 2000. – 256 с.
2. Вейн, А. М. Сон человека. Физиология и патология / А. М. Вейн, К. Хехт. – Москва: Медицина, 1989. – 272 с.
3. Комаров, Ф. И. Хронобиология и хрономедицина / Ф. И. Комаров, С. И. Рапопорт. – Москва: Триада-Х, 2000. – 488 с.
4. Кельмансон, И. А. Сон и его нарушения у детей: от А до Я / И. А. Кельмансон. – Санкт-Петербург: СпецЛит, 2020. – 351 с.
5. Полуэктов, М. Г. Сомнология и медицина сна. Национальное руководство / под ред. М. Г. Полуэктова. – Москва: Медицина, 2016. – 640 с.



6. Hysing, M. Sleep and use of electronic devices in adolescence: results from a large population-based study / M. Hysing, S. Pallesen, K. M. Stormark [et al.] // *BMJ Open*. – 2015. – Vol. 5, № 1. – P. e006748.
7. Arendt, J. Melatonin and the Mammalian Pineal Gland / J. Arendt. – London: Chapman & Hall, 1995. – 330 p.
8. Cajochen, C. Evening exposure to a light-emitting diodes (LED)-backlit computer screen affects circadian physiology and cognitive performance / C. Cajochen, S. Frey, D. Anders [et al.] // *Journal of Applied Physiology*. – 2011. – Vol. 110, № 5. – P. 1432–1438.
9. Touitou, Y. Disruption of adolescents' circadian clock: The vicious circle of media use, exposure to light at night, sleep deprivation and risk of obesity / Y. Touitou, D. Touitou, A. Reinberg // *Journal of Physiology – Paris*. – 2016. – Vol. 110, № 4. – P. 461–466.

