

УДК 612.119:612.017.1-.06

Петрушкина Н. П., Звягина Е. В.

Уральский государственный университет
физической культуры
Россия, Челябинск
zv-aev@mail.ru

РОЛЬ МЕЛАТОНИНА В ВОССТАНОВЛЕНИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СПОРТСМЕНОВ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

Аннотация. Источниками опубликованных работ, посвященных роли мелатонина в системе сохранения здоровья являются основные базы, аккумулирующие работы отечественных и зарубежных авторов: Elibrary, PubMed, Scopus, Google Scholar. При подготовке обзора предпочтение отдавалось полнотекстовым источникам. Мелатонин регулирует работу висцеральных систем, изменяя активность вегетативной нервной системы и участвует в гуморальной регуляции основных функций организма. Широкий спектр фармакологической активности и низкая токсичность позволяют внедрять мелатонин в спортивно-медицинскую и спортивно-фармакологическую практику в виде препаратов и диетических добавок. Показаниями к применению мелатонина в спорте высших достижений является профилактика и лечение нарушений циркадных ритмов при смене часовых поясов, лечения рас-

стройств сна, повышение умственной и физической работоспособности, уменьшение выраженности стрессовых и депрессивных состояний. Проведенный анализ литературных источников показал, что необходимо продолжение и углубление исследований антиоксидантных, нейропротекторных, противовоспалительных свойств и возможности применения мелатонина в спорте как средства профилактики и коррекции перенапряжения сердечно-сосудистой, центральной нервной и иммунной систем. Это открывает путь не только к формированию качеств, связанных со спортивным результатом, но и к улучшению качества жизни спортсменов.

Ключевые слова: мелатонин, спорт, восстановление, циркадные ритмы, оксидативный стресс, иммунитет, сон, спортивная фармакология.

Petrushkina N. P., Zvyagina E. V.
Ural State University of Physical Education
Russia, Chelyabinsk
zv-aev@mail.ru

THE ROLE OF MELATONIN IN RECOVERING THE FUNCTIONAL STATE OF ATHLETES (LITERATURE REVIEW)

Abstract. The sources of published works on the role of melatonin in health maintenance are the main databases accumulating the work of Russian and international authors: Elizabeth, PubMed, Scopus, and Google Scholar. When preparing this review, preference was given to full-text sources. Melatonin regulates the functioning of visceral systems, altering the activity of the autonomic nervous system, and is also involved in the humoral regulation of basic bodily functions. Its broad spectrum of pharmacological activity and low toxicity allow it to be incorporated into sports medicine and sports pharmacology practices as medications and dietary supplements. Indications for the use of melatonin in high-performance sports include the prevention and treatment of cir-

cadian rhythm disturbances due to jet lag, sleep disorders, improving mental and physical performance, and reducing the severity of stress and depression. A literature review revealed the need for continued and in-depth research into the antioxidant, neuroprotective, and anti-inflammatory properties of melatonin, as well as its potential use in sports as a means of preventing and correcting stress on the cardiovascular, central nervous, and immune systems. This opens the way not only to developing qualities associated with athletic performance but also to improving athletes' quality of life.

Keywords: *Melatonin, sports, recovery, circadian rhythms, oxidative stress, immunity, sleep, sports pharmacology.*

Актуальность. Мелатонин был выделен и описан в 1958 году дерматологом А.Б. Лернером, который исследовал эпифизы крупного рогатого скота. Синтетический мелатонин впервые стал доступен в США только в 90-х годах прошлого века как пищевая добавка, то есть это вещество имеет короткую фармакологическую историю, и его биологические эффекты окончательно не раскрыты [21].

Долгое время мелатонину не уделяли должного внимания, что связано с различиями его концентрации в крови и спинномозговой жидкости. Представление о физиологических концентрациях мелатонина было основано на его содержании в крови, которое даже в ночное время не выходит из наномолярных диапазонов, в то время как концентрации мелатонина в спинномозговой жидкости и митохондриях приближаются к фармакологическим [17]. В практику спортивной подготовки мелатонин пришел гораздо позже [6; 14; 18].

Мелатонин является производным биогенного амина – серотонина, который синтезируется из аминокислоты – триптофана и под влиянием N-ацетилтрансферазы превращается в мелатонин [4]. Активность ферментов, участвующих в этом превращении, подавляется освещением, поэтому биосинтез мелатонина происходит в темноте. Секреторные клетки эпифиза – пинеалоциты – ночью синтезируют *мелатонин*,

а днем – *серотонин*. Световые сигналы из супрахиазматического ядра гипоталамуса передаются в эпифиз и под влиянием этих сигналов увеличивается синтез и высвобождение норадреналина из симпатических окончаний.

Установлены 3 вида рецепторов мелатонина. МТ1 и МТ2 рецепторы связаны с G-белками мембраны. МТ3 рецепторы относятся к семейству хинон-редуктаз. Основные эффекты мелатонина связаны с действием на мембранные рецепторы именно МТ1 и МТ2.

У человека рецепторы МТ найдены и в клетках многих органов: мозга, сетчатки глаза, сердечно-сосудистой системы, печени, желчного пузыря, кишечника, почек, иммунной системы, жировой ткани, простаты, эпителиальных клетках молочных желез, яичников, миометрия и кожи.

Важно отметить, что мелатонин образуется не только в эпифизе, но и экстрапинеально: печень, почки, надпочечники, желчный пузырь, яичники, эндометрий, тимус, а также в лейкоцитах, тромбоцитах и в эндотелии. Эти экстрапинеальные клетки относятся к диффузной нейроэндокринной системе, которая участвует в процессах адаптации и поддержки гомеостатического равновесия, в частности, при физических нагрузках [18]. До сих пор неизвестно является ли этот синтез фотонезависимым, однако биологические эффекты экстрапинеального мелатонина не имеют генерализованного характера, а реализуются местно.

Мелатонин обладает амфифильными свойствами, т.е. растворяется и в жирах, и в воде, поэтому проходит через все клеточные мембраны и тканевые барьеры. Благодаря этим свойствам он изменяет внутриклеточные процессы за счет взаимодействия с ядерными и мембранными рецепторами, а также минуя систему рецепторов и сигнальных молекул [10; 13].

Известно, что мелатонин – основной компонент пейсмейкерных систем организма и обязательный компонент формирования циркадных ритмов. Он изменяет уровень секреции других гормонов и биологически активных веществ, концентрация которых зависит от времени суток. Повышение концентрации мелатонина в крови с наступлением темноты снижает у человека температуру тела, уменьшает эмоциональную напряженность, индуцирует сон, а также незначительно угнетает функцию половых желез, что отражается в задержке пролиферации опухолевых клеток молочной и предстательной желез.

Общий эффект мелатонина центрально опосредован через механизмы контроля вегетативной нервной системы. Очевидно, что эти эффекты связаны со способностью мелатонина уменьшать активность симпатической нервной системы. Под влиянием мелатонина повышается содержание тормозного медиатора γ -аминомасляной кислоты в центральной нервной системе и серотонина – в среднем мозге и гипоталамусе. Благодаря этому мелатонин восстанавливает ритм сна, облегчает засыпание, нормализует естественный циркадный цикл, устраняет дневную сонливость.

Нарушение ритма секреции мелатонина происходит при перелете через несколько часовых поясов, вызывая развитие десинхроноза и дизадаптационные нарушения [4; 23]. В связи с этим в фармакологических программах поддержки тренировочного процесса спортсменов мелатонин периодически используется для адаптации при смене климатически-часовых поясов [15; 23].

В организме человека в течение суток синтезируется 30 мкг мелатонина; при этом его концентрация в сыворотке крови ночью в 30 раз больше, чем днем, а самая

высокая активность наблюдается в два часа ночи [14]. Мелатонин имеет чрезвычайно широкий спектр проявлений фармакологической активности, полезных для обеспечения нормального функционирования организма. Общий эффект мелатонина может быть центрально опосредован через механизмы контроля вегетативной нервной системы.

Мелатонин влияет на систему кровообращения, снижает систолическое и диастолическое артериальное давление, благодаря повышению тонуса блуждающего нерва и уменьшению уровня циркулирующего норадреналина. Доказано, что мелатонин ослабляет суточные колебания мозгового кровообращения и уменьшает риск гипоперфузии [3; 11]. Действие мелатонина на кровеносные сосуды комплексное, так как имеющиеся в сосудах МТ1 и МТ2-рецепторы участвуют в регуляции просвета сосудов. МТ1-рецепторы в большей мере ответственны за вазоконстрикцию, сжимают сосуды и повышают давление. МТ2-рецепторы в основном вызывают вазодилатацию, расслабляют сосуды и снижают давление. Сосудорасширяющее действие мелатонина поддерживается снижением внутреннего артериального пульсирующего индекса, который отражает состояние сосудистой стенки и сосудистое сопротивление.

В медицинской практике список показаний для применения мелатонина доказан констатацией эффективности в комбинированной терапии сердечно-сосудистых заболеваний (антиангинальный, кардиопротекторный и вазодилататорный эффекты, ингибирование циклооксигеназы-1), а также и в профилактике дисфункции миокарда (гипертрофическая кардиомиопатия как одно из проявлений «спортивного сердца») [12; 15].

Важным для формирования адекватного психологического состояния как одного из важнейших компонентов высокого спортивного результата является выраженность стресса. Антистрессовый эффект мелатонина реализуется через улучшение настроения и психического состояния. В случае длительной стрессовой ситуации происходит первичный спад эпифизарной активности в резистентной фазе стресса с последующим резким ее подъемом в дальнейшем.

Мелатонин обладает выраженным нейропротекторным действием, что реализуется через его антиоксидантные свойства. Количество свободных радикалов, образующихся в центральной нервной системе, выше, чем в других органах, что связано с повышенным потреблением кислорода клетками головного мозга, а также относительным локальным дефицитом ферментов антирадикальной защиты [23].

Проблема усугубляется ограниченной способностью нервных клеток к митозу. Мелатонин не только защищает нейроны от гибели во время оксидативного стресса, но и способствует замене клеток путем стимуляции предшественников клеточной пролиферации нейронов [17]. Специфика тренировочного и соревновательного процесса определяется широким спектром проявления ментальных способностей (игровые и сложно-координационные виды спорта, единоборства) [24; 25]. В связи с этим влияние мелатонина на нервную систему трудно переоценить.

Фотобиомодуляция, точкой приложения которой является воздействие в том числе и на эпифиз, находит применение при лечении нейродегенеративных заболеваний. При изучении биохимических механизмов установлено, что главными фоторецепторами лазерного излучения являются митохондрии. Увеличение продукции АТФ, активных форм кислорода, увеличение уровня внутриклеточного кальция и высвобождение оксида азота играют важную роль в активации генов, обладающих

антиапоптозными, антиоксидантными и другими свойствами. [12]. Мелатонин находит свое место в лечении патологии нервной системы, вызывая противопаркинсонический, ноотропный, нейровасодилаторный, нейропротекторный и др. эффекты. Влияя на патологические состояния, ассоциированные с воспалительными процессами, он выступает как ненаркотический анальгетик, антагонист фактора некроза опухоли.

Влияние мелатонина на эндокринную систему, связано с тем фактом, что он ингибирует на различных уровнях гипоталамо-гипофизарно-гонадную систему [2]. Пульсирующая секреция гонадотропин-рилизинг-гормона в гипоталамусе способствует контролю секреции лютеинизирующего гормона и фолликулстимулирующего гормона, что, в свою очередь, регулирует функциональную активность гонад. Под действием мелатонина снижается секреция и других тропных гормонов передней доли гипофиза (кортикотропина, тиротропина и соматотропина).

Мелатонин оказывает седативное действие и снижает чувство тревожности и участвует в механизмах, обеспечивающих лучшую переносимость стрессовых, в том числе спортивных нагрузок (угнетает выброс адренкортикотропного гормона в гипофизе, уменьшая в результате концентрацию кортизола, вырабатываемого надпочечниками).

Ингибирование мелатонином тиреоидной паренхимы наблюдается на всех этапах ее функциональной активности. Мелатонин снижает выработку тиреотропного гормона гипофиза, тем самым снижает функции щитовидной железы.

Изменяя эндокринную функцию поджелудочной железы, мелатонин оказывает влияние на обмен веществ, и прежде всего, углеводов. В-клетки островков Лангерганса поджелудочной железы имеют МТ1-рецепторы. Действие мелатонина с помощью G-белков мембраны высвобождает инозитол-1,4,5-трифосфат (ИФ3), ингибируя выработку цАМФ способствует выходу инсулина. На поверхности мембран В- и а-клеток поджелудочной железы были идентифицированы специфические мелатониновые рецепторы МТ1 и МТ2. При этом в В-клетках в большей степени представлены рецепторы МТ2, а в а-клетках МТ1.

Мелатонин регулирует секрецию инсулина и действие инсулина [9]. Выброс мелатонина вызывает снижение толерантности к глюкозе вечером, ночью и ранним утром. Отсроченными эффектами мелатонина у человека являются индукция дневной чувствительности к инсулину, повышение чувствительности поджелудочной железы к глюкозе, индуцированная инкретинами секреция инсулина.

Проксимальный отсроченный эффект мелатонина изучен на В-клетках поджелудочной железы: он влияет на жизненный цикл, функцию и циркадианный ритм В-клеток, сенсibiliзирует их к глюкагоноподобному пептиду I (ГПП-1), что приводит к увеличению секреции инсулина. Таким образом, благодаря мелатонину в течение суток изменяется характер углеводного обмена.

Фаза бодрствования (когда уровень мелатонина снижен) связана с повышением секреции инсулина, чувствительности клеток к инсулину и толерантности к глюкозе и инсулинзависимого поглощения глюкозы клетками. В эту фазу происходит гликолиз в печени и мышцах, синтез гликогена, блокируется глюконеогенез в печени.

В то же время для фазы сна (когда уровень мелатонина возрастает) характерны отсутствие поступления пищи и использование накопленной днем энергии для поддержания жизни. Эта фаза суточного цикла характеризуется снижением уровня глю-

козы и инкретинов, резистентностью к инсулину, усилением глюконеогенеза и гликогенолиза в печени. Немедленными эффектами секреции мелатонина в ночное время являются выживание В-клеток, сохранение их массы и функции. Одновременно за счет своих отсроченных эффектов мелатонин подготавливает увеличение чувствительности к инсулину и сенсбилизацию рецепторов к ГПП-1 в дневное время.

Что касается влияния мелатонина на процессы диссимиляции и ассимиляции (катаболизма и анаболизма), то следует отметить, что мелатонин играет важную роль в регуляции энергетических затрат и массы тела [9]. С возрастом доля висцерального жира увеличивается, а секреция мелатонина с возрастом уменьшается. В экспериментах было доказано, что при ежедневном употреблении мелатонина крысами среднего возраста уровень мелатонина в их плазме восстанавливается до уровня в плазме крови молодых особей, а прирост висцерального жира заметно замедляется [1; 5]. К примеру, мелатонин способен предотвратить увеличение жировых отложений, вызванных овариэктомией у крыс. Вероятно, этот эффект мелатонина частично опосредован через МТ2-рецепторы в жировой ткани.

Снижение продукции мелатонина под действием светового излучения во время ночных смен влияет на энергетический метаболизм у этих рабочих, оказывая негативное действие на их здоровье. Показано, что избыточная масса и ожирение более распространены среди работников в ночную смену, чем работников, выходящих в день [7]. Кроме того, посменная и работа в ночное время связаны с повышенным риском развития других метаболических расстройств, таких как инсулинорезистентность, сахарный диабет, дислипидемия и метаболический синдром [1; 7; 15]. Введение мелатонина в период короткого светового дня приводит к большей экспрессии МП1, увеличению липолиза, снижению потребления пищи и уменьшению сезонного ожирения. В медицине мелатонин применяется при лечении нарушений обмена веществ (анорексигенный, предупреждающий увеличение массы жировой ткани, стимулятор синтеза инсулина, участвующего в процессах образования энергетических субстратов).

Имеет мелатонин и иммуотропные свойства, тесно связанные с регуляцией нейроэндокринных механизмов, что и делает его применение целесообразным при коррекции десинхронозов [26], а также и для профилактики вторичных иммунодефицитов, особенно свойственных спортсменам высокой квалификации на этапе непосредственной подготовки к соревнованиям [6; 8]. Еще один очень "полезный" для интенсивных физических нагрузок эффект мелатонина – актопротекторный (актопротекторы – это стимуляторы физической работоспособности, препятствующие развитию утомления без увеличения потребления кислорода). Актопротекторы предупреждают появление негативных последствий гипоксии, возникающей при интенсивных физических нагрузках, а также при недостаточном содержании кислорода во вдыхаемом воздухе (тренировки в среднегорье) и адаптации к новым условиям внешней среды (в том числе, в ходе климато-часовой адаптации) [19].

Известны антиоксидантные свойства мелатонина. Он снижает выраженность проявлений оксидативного стресса после тренировочных занятий и в ходе соревнований, улучшает сон и ускоряет восстановление, что имеет важное значение в силовых видах спорта [24]. Гормон повышает эффективность переноса электронов по митохондриальной дыхательной цепи, тем самым снижая отток электронов и свободных радикалов.

Мелатонин как антиоксидант необходим для обезвреживания активных форм кислорода; является самым мощным из известных на сегодня эндогенных поглотителей («перехватчиков») свободных радикалов. Он замедляет процессы апоптоза путем протекции ДНК и дезактивации радикалов, а также увеличивает продолжительность жизни живых организмов [22]. Мелатонин стимулирует активность ферментов, участвующих в антиоксидантной защите, способствует синтезу глутатиона, снижая продукцию радикалов пероксинитрита.

Кроме косвенного антиоксидантного действия, мелатонин нейтрализует свободные радикалы, а также образует активные нетоксичные метаболиты (цикло-гидрокси-мелатонин, N1-ацетил-N2-формил-5-метоксикинурамин, N1-ацетил-5-метоксикинурамин). Некоторые из механизмов действия мелатонина, например, стимуляция активности ферментов антиоксидантной защиты, являются опосредованными через рецепторы, другие же не связаны с воздействием на рецепторы [20]. Антиоксидантные свойства мелатонина делают его эффективным компонентом программы предотвращения гибели клеток в результате некроза или апоптоза под влиянием различных ксенобиотиков [16; 17].

Таким образом, мелатонин регулирует работу висцеральных систем, изменяя активность вегетативной нервной системы. Кроме того, он участвует и в гуморальной регуляции основных функций организма. Широкий спектр фармакологической активности и низкая токсичность позволяют внедрять мелатонин в спортивно-медицинскую и спортивно-фармакологическую практику в виде препаратов и диетических добавок.

Показаниями к применению мелатонина в современном спорте высших достижений является профилактика и лечение нарушений циркадного ритма при смене часовых поясов, лечения расстройств сна, повышение умственной и физической работоспособности, уменьшение выраженности стрессовых и депрессивных состояний.

Проведенный анализ литературных источников показал, что перспективными направлениями продолжения исследований является изучение антиоксидантных, нейропротекторных, противовоспалительных свойств и возможности применения мелатонина в спорте как средства профилактики и коррекции перенапряжения сердечно-сосудистой, центральной нервной и иммунной систем. Это открывает путь не только к формированию качеств, связанных со спортивным результатом, но и к улучшению качества жизни спортсменов.

Список литературы

1. Андреева, Е. Н. Мелатониновый статус у пациенток с ожирением и дисфункцией яичников в репродуктивном возрасте / Е. Н. Андреева, О. Р. Григорян, Ю. С. Абсатарова, Е. В. Шереметьева, Р. К. Михеев // Проблемы эндокринологии. – 2022. – Т. 68. – № 1. – С. 94–100. – DOI: <https://doi.org/10.14341/probl12849>.
2. Арушанян, Э. Б. Противовоспалительная активность мелатонина и глюкокортикоидные гормоны / Э. Б. Арушанян // Медицинский вестник Северного Кавказа. – 2013. – № 4. – С. 99–104.
3. Бабаева, Р. Ю. Влияние гипоксии на динамику изменения уровня мелатонина в крови / Р. Ю. Бабаева, Г. С. Фатуллаева // НАУ. – 2021. – № 65-2. – С. 6–7.

4. Бакишев, В. И. Мелатонин – место в системе нейрогуморальной регуляции у человека / В. И. Бакишев, Н. М. Коломоец // Клиническая медицина. – 2011. – Т. 89. – № 2. – С. 8–13.

5. Бурчаков Д.И. Суточный ритм секреции и метаболические эффекты мелатонина / Д.И. Бурчаков // Ожирение и метаболизм. – 2015. – № 1. – С. 46–51. – DOI: 10.14341/ОМЕТ2015146-51.

6. Гаврилова, Е. А. Стрессорный иммунодефицит у спортсменов / Е.А. Гаврилова. – М.: Сов. спорт, 2009. – 192 с.

7. Горбачев, Н. А. Возможности применения препаратов мелатонина при расстройствах сна / Н. А. Горбачев, М. Г. Полуэктов // Медицинский совет. – 2023. – № 3 (17). – С. 120–124. – DOI: <https://doi.org/10.21518/ms2023-047>.

8. Гунина, Л. М. Медико-биологическое обеспечение подготовки хоккеистов / Л. М. Гунина, Ю. Д. Винничук, Н. А. Горчакова, Н. Л. Высочина; под общ. ред. Л.М. Гуниной. – К.: ВПЦ «Экспресс», 2013. – 319 с.

9. Конюхова, Н. В. Контроль гормонального баланса для снижения веса: практические рекомендации по нормализации уровней инсулина, лептина, грелина, кортизола и мелатонина / Н. В. Конюхова // Вестник науки. – 2023. – № 5 (62). – С. 891–908.

10. Куклина, Е. М. Механизмы взаимодействия мелатонина с лимфоцитами / Е. М. Куклина, Н. С. Глебездина // Вестник ПГУ. Биология. – 2023. – № 2. – С. 195–204.

11. Раваева, М. Ю. Роль мелатонина в регуляции микрогемодинамики / М. Ю. Раваева, Е. Н. Чуян, Л. В. Павлова // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. – 2017. – № 4. – С. 196–202.

12. Рапопорт, С. И. Мелатонин в клинической практике / С.И. Рапопорт // Вестник РУДН. Серия: Медицина. – 2012. – № 7. – С. 191–192.

13. Романчук, Н. П. Мелатонин: нейрофизиологические и нейроэндокринные аспекты / Н.П. Романчук, В.Ф. Пятин // Бюллетень науки и практики. – 2019. – Т. 5. – № 7. – С. 71–85. – DOI: <https://doi.org/10.33619/2414-2948/44/08>.

14. Фармакология спорта / С.А. Олейник, Л.М. Гунина (ред.). – К.: Олимп. лит-ра, 2010. – 640 с.

15. Цыган, В. Н. Новый взгляд на протективную роль мелатонина при полиморбидной сердечно-сосудистой патологии / В. Н. Цыган, М. А. Антюхин, А. С. Парцерняк // Российские биомедицинские исследования. – 2023. – Т. 8. – № 3. – С. 50–60. – DOI: <https://doi.org/10.56871/RBR.2023.32.88.007>.

16. Bicer M. Interactive effects of melatonin, exercise and diabetes on liver glycogen levels / M. Bicer, M. Akil, M.C. Avunduk // Endokrynol. Pol. – 2011. – Vol. 62. – N 3. – P. 252–256.

17. Bonnefont-Rousselot D. Melatonin: action as antioxidant and potential applications in human disease and aging / D. Bonnefont-Rousselot, F. Collin // Toxicology. – 2010. – Vol. 278. – N 1. – P. 55–67.

18. Dumont M. Melatonin production and light exposure of rotating night workers / M. Dumont, V. Lanctôt, R. Cadieux-Viau, J. Paquet // Chronobiol. Int. – 2012. – Vol. 29. – N 2. – P. 203–210.

19. Jędrejko K. Mexidol, Cytoflavin, and succinic acid derivatives as antihypoxic, anti-ischemic metabolic modulators, and ergogenic aids in athletes and consideration of their potential as performance enhancing drugs / K. Jędrejko, O. Catlin, T. Stewart,

B. Muszyńska // *Drug Test Anal.* – 2024. – Vol. 16. – N 12. – P. 1436–1467. – DOI: 10.1002/dta.3655.

20. Karakaş A. The effects of the intraamygdalar melatonin injections on the anxiety like behavior and the spatial memory performance in male Wistar rats / A. Karakaş, H. Coşkun, A. Kaya, A. Küçük // *Behav. Brain Res.* – 2011. – Vol. 222. – N 1. – P. 141–150.

21. Kryger M.H. The Past and Future of Sleep Medicine / M.H. Kryger, R.J. Thomas // *Sleep Med Clin.* – 2025. – Vol. 20. – N 1. – P. 1–17. – DOI: 10.1016/j.jsmc.2024.10.012.

22. Lee H. Effects of exercise with or without light exposure on sleep quality and hormone responses / H. Lee, S. Kim, D. Kim // *J. Exerc. Nutrition Biochem.* – 2014. – Vol. 18. – N 3. – P. 293–299.

23. Ochoa J.J. Melatonin supplementation ameliorates oxidative stress and inflammatory signaling induced by strenuous exercise in adult human males / J.J. Ochoa, J. Díaz-Castro, N. Kajarabille, C. García, I.M. Guisado, C. De Teresa, R. Guisado // *J. Pineal Res.* – 2011. – Vol. 51. – N 4. – P. 373–380.

24. Oliynyk S. Ergogenic aids as a means for increasing athlete working capacity in the high altitude environment / S. Oliynyk, V. Shevchenko // *Int. J. of Appl. Sports Sci.* – 2009. – Vol. 21. – N 1. – P. 61–73.

25. Reiter R.J. Neurotoxins: free radical mechanisms and melatonin protection / R.J. Reiter, L.C. Manchester, D.X. Tan // *Curr. Neuropharmacol.* – 2010. – Vol. 8. – N 3. – P. 194–210.

26. Vigoré L. Psychoneuroendocrine modulation of regulatory T-lymphocyte system: in vivo and in vitro effects of the pineal immunomodulating hormone melatonin / L. Vigoré, G. Messina, F. Brivio, L. Fumagalli, F. Rovelli, G. Di Fede, P. Lissoni // *In Vivo.* – 2010. – Vol. 24. – N 5. – P. 787–789.

References

1. Andreeva, E. N. Melatoninovy`j status u pacientok s ozhireniem i disfunkciej yaichnikov v reproduktivnom vozraste / E. N. Andreeva, O. R. Grigoryan, Yu. S. Absatarova, E. V. Sheremet`eva, R. K. Mixeev // *Problemy` e`ndokrinologii.* – 2022. – T. 68. – № 1. – S. 94–100. – DOI: <https://doi.org/10.14341/probl12849>.

2. Arushanyan, E`. B. Protivovospalitel`naya aktivnost` melatonina i glyukokortikoidny`e gormony` / E`. B. Arushanyan // *Medicinskij vestnik Severnogo Kavkaza.* – 2013. – № 4. – S. 99–104.

3. Babaeva, R. Yu. Vliyanie gipoksii na dinamiku izmeneniya urovnya melatonina v krovi / R. Yu. Babaeva, G. S. Fatullaeva // *NAU.* – 2021. – № 65-2. – S. 6–7.

4. Bakishev, V. I. Melatonin – mesto v sisteme nejrogumoral`noj regulyacii u cheloveka / V. I. Bakishev, N. M. Kolomoecz // *Klinicheskaya medicina.* – 2011. – T. 89. – № 2. – S. 8–13.

5. Burchakov D.I. Sutochny`j ritm sekrecii i metabolicheskie e`ffekty` melatonina / D.I. Burchakov // *Ozhirenie i metabolizm.* – 2015. – № 1. – S. 46–51. – DOI: 10.14341/OMET2015146-51.

6. Gavrilova, E. A. Stressorny`j immunodeficit u sportsmenov / E.A. Gavrilova. – M.: Sov. sport, 2009. – 192 s.

7. Gorbachev, N. A. Vozmozhnosti primeneniya preparatov melatonina pri rasstrojst-vax sna / N. A. Gorbachev, M. G. Polue`ktov // *Medicinskij sovet*. – 2023. – № 3 (17). – S. 120–124. – DOI: <https://doi.org/10.21518/ms2023-047>.

8. Gunina, L. M. Mediko-biologicheskoe obespechenie podgotovki xokkeistov / L. M. Gunina, Yu. D. Vinnichuk, N. A. Gorchakova, N. L. Vy`sochina; pod obshh. red. L.M. Guninoj. – K.: VPCz «E`kspress», 2013. – 319 s.

9. Konyuxova, N. V. Kontrol` gormonal`nogo balansa dlya snizheniya vesa: praktich-eskie rekomendacii po normalizacii urovnej insulina, leptina, grelina, kortizola i melatonina / N. V. Konyuxova // *Vestnik nauki*. – 2023. – № 5 (62). – S. 891–908.

10. Kuklina, E. M. Mexanizmy` vzaimodejstviya melatonina s limfocitami / E. M. Kuklina, N. S. Glebezdina // *Vestnik PGU. Biologiya*. – 2023. – № 2. – S. 195–204.

11. Ravaeva, M. Yu. Rol` melatonina v reguljacii mikrogemodinamiki / M. Yu. Ravaeva, E. N. Chuyan, L. V. Pavlova // *Ucheny`e zapiski Kry`mskogo federal`nogo uni-versiteta imeni V.I. Vernadskogo. Biologiya. Ximiya*. – 2017. – № 4. – S. 196–202.

12. Rapoport, S. I. Melatonin v klinicheskoj praktike / S.I. Rapoport // *Vestnik RUDN. Seriya: Medicina*. – 2012. – № 7. – S. 191–192.

13. Romanchuk, N. P. Melatonin: nejrofiziologicheskie i nejroe`ndokrinny`e aspekty` / N.P. Romanchuk, V.F. Pyatin // *Byulleten` nauki i praktiki*. – 2019. – T. 5. – № 7. – S. 71–85. – DOI: <https://doi.org/10.33619/2414-2948/44/08>.

14. *Farmakologiya sporta* / S.A. Olejnik, L.M. Gunina (red.). – K.: Olimp. lit-ra, 2010. – 640 s.

15. Cygan, V. N. Novy`j vzglyad na protektivnuyu rol` melatonina pri polimorbidnoj serdechno-sosudistoj patologii / V. N. Cygan, M. A. Antyxin, A. S. Parcernyak // *Rossijs-kie biomedicinskie issledovaniya*. – 2023. – T. 8. – № 3. – S. 50–60. – DOI: <https://doi.org/10.56871/RBR.2023.32.88.007>.

16. Bicer M. Interactive effects of melatonin, exercise and diabetes on liver glycogen levels / M. Bicer, M. Akil, M.C. Avunduk // *Endokrynol. Pol.* – 2011. – Vol. 62. – N 3. – P. 252–256.

17. Bonnefont-Rousselot D. Melatonin: action as antioxidant and potential applica-tions in human disease and aging / D. Bonnefont-Rousselot, F. Collin // *Toxicology*. – 2010. – Vol. 278. – N 1. – P. 55–67.

18. Dumont M. Melatonin production and light exposure of rotating night workers / M. Dumont, V. Lanctôt, R. Cadieux-Viau, J. Paquet // *Chronobiol. Int.* – 2012. – Vol. 29. – N 2. – P. 203–210.

19. Jędrejko K. Mexidol, Cytoflavin, and succinic acid derivatives as antihypoxic, an-ti-ischemic metabolic modulators, and ergogenic aids in athletes and consideration of their potential as performance enhancing drugs / K. Jędrejko, O. Catlin, T. Stewart, B. Muszyńska // *Drug Test Anal.* – 2024. – Vol. 16. – N 12. – P. 1436–1467. – DOI: [10.1002/dta.3655](https://doi.org/10.1002/dta.3655).

20. Karakaş A. The effects of the intraamygdalar melatonin injections on the anxiety like behavior and the spatial memory performance in male Wistar rats / A. Karakaş, H. Coşkun, A. Kaya, A. Küçük // *Behav. Brain Res.* – 2011. – Vol. 222. – N 1. – P. 141–150.

21. Kryger M.H. The Past and Future of Sleep Medicine / M.H. Kryger, R.J. Thomas // *Sleep Med Clin.* – 2025. – Vol. 20. – N 1. – P. 1–17. – DOI: [10.1016/j.jsmc.2024.10.012](https://doi.org/10.1016/j.jsmc.2024.10.012).

22. Lee H. Effects of exercise with or without light exposure on sleep quality and hormone responses / H. Lee, S. Kim, D. Kim // *J. Exerc. Nutrition Biochem.* – 2014. – Vol. 18. – N 3. – P. 293–299.

23. Ochoa J.J. Melatonin supplementation ameliorates oxidative stress and inflammatory signaling induced by strenuous exercise in adult human males / J.J. Ochoa, J. Díaz-Castro, N. Kajarabille, C. García, I.M. Guisado, C. De Teresa, R. Guisado // *J. Pineal Res.* – 2011. – Vol. 51. – N 4. – P. 373–380.

24. Oliynyk S. Ergogenic aids as a means for increasing athlete working capacity in the high altitude environment / S. Oliynyk, V. Shevchenko // *Int. J. of Appl. Sports Sci.* – 2009. – Vol. 21. – N 1. – P. 61–73.

25. Reiter R.J. Neurotoxins: free radical mechanisms and melatonin protection / R.J. Reiter, L.C. Manchester, D.X. Tan // *Curr. Neuropharmacol.* – 2010. – Vol. 8. – N 3. – P. 194–210.

26. Vigoré L. Psychoneuroendocrine modulation of regulatory T-lymphocyte system: in vivo and in vitro effects of the pineal immunomodulating hormone melatonin / L. Vigoré, G. Messina, F. Brivio, L. Fumagalli, F. Rovelli, G. Di Fede, P. Lissoni // *In Vivo.* – 2010. – Vol. 24. – N 5. – P. 787–789.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Петрушкина Надежда Петровна

– доктор медицинских наук, зав.кафедрой физиологии, Уральский государственный университет физической культуры. Челябинск, Россия. 454091, г. Челябинск, ул. Орджоникидзе, 1. Телефон: 89068650253. Эл. почта: 25ppnn@mail.ru

Звягина Екатерина Владимировна

– кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры физиологии, ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет физической культуры». Челябинск, Россия. 454091, г. Челябинск, ул. Орджоникидзе, 1. Телефон: 89090756875. Эл. почта: zv-aev@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Nadezhda P. Petrushkina

– Doctor of Medical Sciences, Head of the Department of Physiology, Ural State University of Physical Culture. Chelyabinsk, Russia. 454091, Chelyabinsk, st. Ordzhonikidze, 1. Phone: 89068650253. Email. mail: 25ppnn@mail.ru

Ekaterina V. Zvyagina

– Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Physiology, Ural State University of Physical Culture. Chelyabinsk, Russia. 454091, Chelyabinsk, st. Ordzhonikidze, 1. Phone: 89090756875. Email. mail: zv-aev@mail.ru