

# ДИАГНОСТИКА И МОНИТОРИНГ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ СПОРТСМЕНОВ ПРИ НАРУШЕНИЯХ ЦИРКАДНЫХ РИТМОВ

А.С. Самойлов<sup>1</sup>, А.Б. Кожокару\*<sup>1,2</sup>, М.С.Ключников<sup>1</sup>, Н.В. Рылова<sup>1</sup>,  
С.Е. Назарян<sup>1</sup>, О.О. Скачкова<sup>1</sup>, Е.С. Вакулина<sup>1</sup>, Л.В. Хакимгузина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации - Федеральный медицинский биофизический центр им А.И. Бурназяна», Москва,

<sup>2</sup>ФГБУ ДПО «Центральная государственная медицинская академия» УД Президента РФ, Москва

## DIAGNOSTICS AND MONITORING OF FUNCTIONAL CONDITION OF PROFESSIONAL TOP-CLASS ATHLETES WITH CIRCADIAN RHYTHM DISTURBANCES

A.S. Samojlov<sup>1</sup>, A.B. Kozhokaru\*<sup>1,2</sup>, M.S.Kljuchnikov<sup>1</sup>, N.V. Rylova<sup>1</sup>,  
S.E. Nazarjan<sup>1</sup>, O.O. Skachkova<sup>1</sup>, E.C. Vakulina<sup>1</sup>, L.V. Hakimguzina<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia,

<sup>2</sup>Central State Medical Academy of Department of Presidential Affairs, Moscow, Russia

\*E-mail: angela.neural@gmail.com

### Аннотация

В настоящее время широко изучаются нарушения сна у высокопрофессиональных спортсменов. В связи с чем, целью данного обзора литературы явилось обобщение имеющихся литературных данных о распространенности, клинических особенностях и диагностических критериях нарушений циркадных ритмов у спортсменов. **Методы:** поиск опубликованных данных проводился в электронных базах Medline (Pubmed), Scopus, Web of Science и eLibrary. **Результаты:** проанализированы механизм сна и циркадианный ритм, нарушение циркадианного ритма, хронобиология нарушений циркадных ритмов с применением лабораторных технологий у спортсменов, инструментальная диагностика нарушений циркадного ритма, мониторинг нарушений циркадного ритма и variability сердечного ритма, а также оценка нарушений циркадных ритмов у спортсменов с помощью анкет-опросников. **Выводы:** измерение фаз циркадной системы и соблюдение правильных сроков проведения вмешательств в реальной жизни у профессиональных спортсменов затруднено. Для выявления имеющихся нарушений циркадных ритмов у спортсменов и понимания тактики последующей коррекции требуется проведение дальнейших исследований с целью оптимизации диагностических и лечебных мероприятий, а также улучшения профессиональных результатов спортсменов.

**Ключевые слова:** спортсмены, профессиональный спорт, нарушение циркадного ритма, нарушение сна, десинхроз.

### Abstract

Currently, there is a wide scientific interest to sleep disturbances in highly qualified athlete. **Purpose.** To summarize published data on the prevalence, clinical features and diagnostic criteria of circadian rhythm disturbances in professional athletes. **Methods:** The literature search was made in electronic databases Medline (Pubmed), Scopus, Web of Science and eLibrary. **Results:** The researchers have analyzed sleep mechanisms and the circadian rhythm, its disorders, chronobiology of circadian rhythm disorders in athletes using laboratory technologies; instrumental diagnostics of circadian rhythm disorders, their monitoring and heart rate variability. The assessment of circadian rhythm disturbances in athletes was also made using questionnaires. **Conclusion:** To measure circadian system phases and to follow time requirements in real-life conditions in professional athletes is a challenging task. Further researches are needed to elucidate the most common circadian rhythm disturbances in athletes, to understand the tactics for further correction strategies so as to optimize diagnostic and care directions aiming to improve athletes' professional functioning.

**Key words:** athletes, top-class sports, disturbances of the circadian rhythms, insomnia, desynchronization.

*Ссылка для цитирования: Самойлов А.С., Кожокару А.Б., Ключников М.С., Рылова Н.В., Назарян С.Е., Скачкова О.О., Вакулина Е.С., Хакимгузина Л.В. Диагностика и мониторинг функционального состояния высококвалифицированных спортсменов при нарушениях циркадных ритмов. Кремлевская медицина. Клинический вестник. 2021; 1: 15-25.*

Сон — особое, генетически детерминированное состояние организма человека и других теплокровных животных, характеризующееся закономерной последовательной сменой циклов, фаз и стадий [1, 2].

У людей сон можно охарактеризовать на основе двух соответствующих фаз: 1) быстрого сна, БДГ-фаза (от БДГ — «быстрые движения глаз» или фаза парадоксального сна) (REM-

фаза, от англ. REM — rapid eye movement) и медленного сна или сна с медленным движением глаз (NREM-фаза, от англ. NREM - non rapid eye movement) [3].

NREM-сон был разделен на четыре стадии в стандартизации А. Rechtschaffen и соавт. [4]. В обновленной версии 2007 г. Американской академии медицины сна (AASM) количество сократилось до трех [5]. В течение ночи NREM сон чередуется циклически, с большей продолжительностью медленного (NREM) сна в первую треть ночи и увеличением периодов быстрого (REM) сна во второй половине ночи [6, 7].

Наряду с физиологическим восстановлением и психологическим благополучием консолидация памяти - это функция сна, которая особенно важна для спортсменов с точки зрения обучения процедурным навыкам [8]. Данный факт подтверждается недавним обзором, в котором было проанализировано влияние недостатка сна на выполнение упражнений, физиологические реакции на упражнения и когнитивные функции [9].

Сон все больше привлекает внимание ученых в области спортивной деятельности и практикующих врачей как важный элемент в оптимизации спортивных результатов и восстановлении жизнедеятельности [10, 11].

На самом деле критическая важность сна - восстанавливающий эффект в повседневной жизни, являющийся неотъемлемой частью восстановительных процессов для профессиональных спортсменов [12]. Например, высокий физический и психологический стресс, возникающий в ходе обычных тренировок и соревнований спортсмена, требует соответствующего времени на восстановление, чтобы облегчить адаптивные процессы [13].

При этом необходимо учитывать роль сна (количество и качество) в метаболической [14], гормональной и когнитивной регенерации, как в повседневной, так и в соревновательной деятельности [15].

Соответственно целью данного обзора литературы явилось обобщение имеющихся возможностей диагностики и мониторинга функционального состояния высококвалифицированных спортсменов при нарушениях циркадианных ритмов по данным литературы.

### Нарушения циркадного ритма и десинхроноз

В последние годы интерес к изучению нарушений циркадного ритма и десинхроноза увеличился также и в среде спортивной медицины [16]. Ученые, врачи и тренеры исследуют влияние нарушений сна на функциональные и когнитивные

показатели спортсменов с целью коррекции тренировочных планов при длительных перелетах и соревнованиях, в том числе в другой временной зоне. Также изучаются эффекты сна на здоровье спортсменов после тренировок, соревнований и перелетов. В своих работах исследователи отмечают, что каждая функция или навык спортсмена, будь то ловкость, скорость реакции или выносливость, имеет «оптимальные» рамки для тренировок [17, 18].

Хотя есть доказательства, что лишение сна (>24 ч) снижает физическое и когнитивное функционирование, маловероятно, что такое полное лишение сна встречается у спортсменов [19].

Более реалистичными (в контексте спорта) являются ситуации нарушения сна, когда изменяется время отхода ко сну, что приводит к снижению количества или качества сна. В таких условиях уменьшение времени сна на 2-4 ч оказывает неоднозначное влияние на физическую работоспособность или восстановление; например, максимальные физические нагрузки и общая двигательная активность могут поддерживаться, в то время как спортивно-специфическое выполнение может быть негативным [20].

С другой стороны, малое количество и/или плохое качество сна, по-видимому, характерно для многих спортсменов, хотя это может быть связано с тренировками в контексте соревнований. Типичными факторами, влияющими на сон, являются расписание тренировок и соревнований, в то время как ухудшение времени засыпания может быть следствием повышенного возбуждения перед соревнованиями или из-за использования электронных устройств перед сном [21].

Недавние исследования подчеркивают важность сна для соревнований, указывая на взаимосвязь между плохим качеством и недостатком сна во время соревнований [22], между продолжительностью сна и результативностью соревнований [23] соответственно.

L. Gupta и соавт. (2017) опубликовали обзор, в котором проанализировали работы, посвященные оценке сна у спортсменов. Найденные исследования были классифицированы на три группы в зависимости от их содержания: 1) структура/характер сна, 2) качество сна и симптоматика бессонницы, 3) связь между аспектами профессионального спорта и исходами сна (sleep outcomes). Авторами были идентифицированы три группы факторов риска нарушений сна у профессиональных спортсменов, связанные с тренировками, путешествиями и соревнованиями [12].

По данным различных авторов, у профессио-

нальных спортсменов наблюдается высокая распространённость симптомов бессонницы, характеризующейся более длительным латентным периодом и фрагментацией сна, сном, не восстанавливающим силы, и чрезмерной дневной усталостью. Эти симптомы переменны у представителей различных видов спорта.

Так, например, анкетное исследование, проведенное R. Swinbourne и соавт. (2016), показало, что из 175 профессиональных или высококвалифицированных спортсменов, занимающихся командными видами спорта, у 50% наблюдались нарушения сна с клинически значимым преобладанием дневной сонливости у 28% спортсменов. Кроме того, у 38% выявлены признаки obstructive апноэ во сне [24]. Более того, из 67 профессиональных гимнасток 67.2% сообщили о том, что страдают от дневной сонливости, 77.6% указали на плохое качество сна [23]. Среди 107 профессиональных хоккеистов 22% сообщили о проблемах со сном в межсезонье, тогда как 46% страдали от нарушений сна во время соревновательного сезона [25].

В недавнем исследовании C.D. Mah и соавт. (2019) продемонстрировали прямую корреляцию между показателями прыжков и количеством сна. Авторы установили, что сокращение длительности сна с 7 ч в сутки до 4 ч в течение трёх дней ведёт к снижению высоты прыжка у профессиональных взрослых велосипедистов на 2 см (с  $0.44 \pm 0.09$  до  $0.42 \pm 0.10$  м). Следовательно, недостаток сна ведёт к снижению функциональных возможностей организма и, возможно, подавлению анаэробного энергетического трансфера. Далее учёные, используя систему трёхмерного захвата движения (3D motion capture), показали, что после экспериментального снижения длительности сна увеличивается подвижность бедренного и коленного суставов в сагитальном и фронтальном направлениях ( $\Delta 15.5$  и  $\Delta 11.0$  соответственно). Таким образом, нарушения режима сна ведут к отклонению от привычных паттернов движения спортсменов, что может привести не только к ухудшению результатов, но и к травмам [26].

Однако, поскольку большинство этих выводов основано на субъективных оценках, следует ставить больше клинических диагнозов расстройств сна в популяции профессиональных спортсменов для оценки взаимосвязи между сном и спортивным, а также когнитивным функционированием.

В отечественной и зарубежной литературе исследования, направленные на оценку изучения десинхроноза, ограничены.

В более ранних исследованиях R. Manfredini и соавт. (1998) указывали, что зимние и летние Олимпийские игры в 1998 и 2000 гг. в Японии и Австралии соответственно, подразумевали для многих спортсменов, особенно европейских команд, смену нескольких часовых поясов. Изучение хронобиологии может являться полезным методом определения оптимального времени для проведения тренировок и соревнований и позволит повысить личную продуктивность и облегчить возможные нарушения, связанные с синдромом смены часовых поясов [27].

Количество исследований, изучающих влияние смены часовых поясов у высокопрофессиональных спортсменов, и показавших их косвенное влияние на производительность как следствие изменения настроения и возбуждения, возникающих при сокращении продолжительности сна, ограничено [28].

В 2013 г. R.S. Smith и соавт. продемонстрировали, что изменение времени сна всего на 3 ч существенно повлияло на производительность и результаты американской команды футболистов. В данном исследовании изучались результаты командных вечерних и дневных игр восточного и западного побережья. Авторы отметили устойчивое преимущество команды западного побережья над командами восточного побережья в вечерних играх, без значительного преимущества с дневных играх [29].

#### Механизм сна и циркадианный ритм

Механизм сна поддерживается двумя внутренними биологическими механизмами: циркадианным ритмом и гомеостазом, взаимодействующими между собой и регулируемыми длительностью периодов сна и бодрствования [30].

Циркадианные ритмы управляют широким спектром функций, суточных колебаний в бодрствовании и во время сна: температуры тела, метаболизма, сердечно-сосудистой системы, выработки гормонов (мелатонина, кортизола и гормона роста) [31]; а также экзогенные механизмы, включая воздействие дневного цикла свет-темнота [30]. Суточные ритмы генерируются клетками на уровне тканей, синхронизация которых иерархически осуществляется эндокринной и нервной системами.

Они контролируют время наступления сна, вызывают сонливость по ночам и тенденцию просыпаться утром без будильника. По сути это биологические часы, работающие 24 ч. Циркадные ритмы синхронизируются с сигналами окружающей среды (свет, температура) о фактическом времени суток, но продолжают функциони-

ровать даже при отсутствии сигналов. Одним из наиболее эффективных внешних сигналов, поддерживающих 24-часовой цикл, является свет. Воздействие света в ранние утренние часы способствует опережению ритма и более раннему засыпанию, а в поздние вечерние часы — задержке ритма и более позднему засыпанию.

Гомеостаз сна и бодрствования отслеживает потребность организма во сне. Цикл сон-бодрствование регулируется серией циркадных процессов, работающих в определенном ритме, что обеспечивает моменты консолидированного сна ночью и длительные периоды бодрствования в течение дня.

Основной задачей хронобиологии является выявление и коррекция десинхроноза как одного из патогенетических факторов развития многих распространенных заболеваний [32, 33].

### Нарушение циркадианного ритма

Нарушение циркадианного ритма может быть генетическим или приобретенным [34]. Длительное рассогласование циркадиантных ритмов организма связано с различными патологиями — от нарушения обмена веществ, ожирения, диабета, сердечно-сосудистых заболеваний до злокачественных опухолей. Генетические нарушения возникают в результате мутации генов часов, ответственных за генерацию клеточного циркадианного ритма. Часовые гены регулируют пролиферацию клеток, обмен веществ, ремонт ДНК и апоптоз, неудивительно, что полиморфизмы в этих генах (включая PER1 и PER2) были связаны с раком у людей. Мутации гена CLOCK участвуют в развитии ожирения и могут играть ключевую роль в возникновении метаболического синдрома, диабета 2-го типа и сердечно-сосудистых заболеваний, алкоголизма и наркоманий [35].

В норме между ритмическими процессами внутри организма либо между биоритмами и средовыми задающими ритм факторами существуют установившиеся фазовые соотношения, рассогласование которых получило название десинхроноза [36].

Десинхроноз, по данным Б.С. Алякринского (1972), — это нарушение естественного хода биологических ритмов, их взаимной согласованности и обязательный компонент общего адаптационного синдрома [37].

Е.В. Костенко и соавт. (2013) предлагают другое определение: десинхроноз — патологическое состояние организма, возникающее под действием экстремального фактора и характеризующееся десинхронизацией (нарушением) биоритмов [33].

Существует несколько классификаций десинхроноза. Согласно наиболее общепринятой классификации, он подразделяется на два вида: внутренний (эндогенный) и внешний (экзогенный). Эндогенный возникает при нарушении согласования ритмов внутри организма, как правило, в результате функциональных или органических поражений структур центральной нервной системы, обусловленных заболеваниями (менингит, инсульт, новообразования головного мозга). Экзогенный обусловлен расстройством синхронизации внутренних ритмов с внешними воздействиями [32, 33].

Выделяют также острый и хронический десинхроноз. Острый возникает при внезапном рассогласовании в действии на организм внешних и внутренних водителей ритма. Хронический десинхроноз — результат стабильной, затянувшейся во времени дизритмии. Ряд авторов описывают также явный и скрытый десинхронозы. Явный имеет манифестные соматические и психические нарушения, скрытый протекает бессимптомно, незаметно для пациента [32, 37, 38].

Помимо вышеописанного, существует также классификация нарушений биологических ритмов по генезу: к десинхронозам центрального генеза относят трансмеридианный (или изоляционный). При этом биологические ритмы остаются прежними, в то время как изменяется окружение. К периферическим десинхронозам относят индуцированный (химическими, физическими либо инфекционными факторами) и патологический [38].

Расстройства циркадного ритма представляют собой нарушения сна, которые влияют на время сна и возникают из-за изменения паттерна нарушений сна/бодрствования, которые могут быть вызваны либо дисфункцией в системе биологических часов, либо несоответствием между эндогенным осциллятором и внешними сигналами. В результате данного несоответствия люди могут засыпать в нетрадиционные моменты времени в течение дня либо не могут заснуть или проснуться в «нормальное» время для работы, учебы и других социальных обязательств.

В настоящее время Международная классификация нарушения сна (International Classification of Sleep Disorders - ICSD) в категорию нарушений циркадного ритма сна включает нижеуказанные расстройства [40, 41].

Расстройства циркадного ритма можно разделить на две группы на основе механизмов их возникновения:

1. Первая категория состоит из расстройств, при которых был изменен эндогенный осцил-

лятор, известных как расстройства внутреннего типа (*синдром задержки фазы сна, синдром опережения фазы сна, нарушение ритма нерегулярного сна и бодрствования*).

2. Вторая категория состоит из расстройств, при которых внешняя среда и эндогенные биоритмы не совпадают, их называют расстройствами внешнего типа (*расстройство сна при посменной работе, синдром смены часовых поясов, синдром не-24-часового цикла сна и бодрствования*).

Первый систематический обзор по управленческим стратегиям спортсменов с усталостью и сменой часовых поясов был опубликован Janse van Rensburg DCC и соавт 2020 г. В обзор были включены 22 статьи по усталости от длительного перелета: 14 рандомизированных контролируемых исследований (РКИ) и 8 не-РКИ. По запросу «синдром смены часового пояса» было обнаружено только 12 исследований у спортсменов (6 РКИ и 6 не-РКИ). В общей сложности (спортсмены и здоровая популяция) в обзор были включены 11 нефармакологических исследований (600 участников, группа вмешательства — 290 человек; 4 не-РКИ и 7 РКИ) и 11 фармакологических исследований (1202 участника, группа вмешательства — 870 человек; 4 не-РКИ и 7 РКИ). Среди нефармакологических исследований в 7 исследованиях оценивались фактические путешествия и в четырех — симулированные путешествия. Среди фармакологических исследований восемь оценивали фактические путешествия и три использовали симуляцию путешествий. По данным авторов, изученные исследования, ориентированные на профессиональных спортсменов, имели небольшой размер выборки и представляли различные спортивные направления (например, марафонцы, футболисты, пловцы), что усложняло интерпретацию результатов. Между лабораторными и полевыми исследованиями существовали огромные различия в методологии, демографических характеристиках субъектов (возраст и пол) и оценке результатов, что затрудняло сравнение результатов [42]. По данным авторов несоответствие циркадной системы с новым местным временем может ухудшить когнитивные и физические способности.

Учитывая требования соревнований большинства профессиональных видов спорта, регулярные внутренние (внутри страны) и дальние (международные) путешествия (перелеты) являются необходимостью. В то время как соревнование само по себе является стрессовым фактором, приводящим к нарушению паттерна сна, сопутствующие поездки, в части случаев с быстрой сменой часовых поясов еще больше влияют на

его качество и продолжительность. Также следует отметить, что в поездках сон может быть прерванным или с ранними пробуждениями, в длительном сидячем положении, что также может препятствовать естественному наступлению сна и привести к его нарушениям [43].

Быстрое перемещение через несколько часовых поясов становится причиной десинхронизации циркадных ритмов, с последующим кульминативными трудностями засыпания по новому местному времени и с возможным ухудшением результатов до тех пор, пока не будет достигнута коррекция биоритмов до местного времени [44].

Системе циркадных ритмов человека требуется время для того, чтобы отрегулировать свою работу, поэтому симптомы смены часовых поясов, такие как нарушение сна, дневная усталость, желудочно-кишечные расстройства и снижение работоспособности, сохраняются. Литература о смене часовых поясов сосредоточена в основном на вмешательствах с определенной характеристикой фазового ответа, способной вызвать циркадный фазовый сдвиг. Немногие исследования описывают эффективные вмешательства для устранения (т.е. обратного сдвига фаз) симптомов смены часов поясов.

#### **Хронобиология нарушений циркадных ритмов с применением лабораторных технологий у спортсменов**

Циркадианные ритмы регулируются уровнем мелатонина, кортикотропного гормона (АКТГ) и пролактина, кортизола, ТТГ, в меньшей степени тестостерона, эстрадиола и прогестерона.

Мелатонин играет ключевую роль в нескольких процессах и рассматривается как центральное «реле», передающее информацию о циклах смены света и темноты. У млекопитающих мелатонин также необходим для регуляции репродуктивного поведения и сна. Васопрессин также является важнейшим аутокринным регулятором и водителем ритма [45].

Первым нейротрансммитером, участие которого в регуляции циркадианных ритмов было предположено, является ацетилхолин. Его высвобождение характеризуется определенным циркадианным ритмом и максимально в фазе активности организма [46].

Адренкортикотропный гормон (АКТГ) характеризуется сходным паттерном высвобождения клетками гипофиза [47]. Процесс его выделения подавляется воздействием света и, по видимому, напрямую зависит от супрахиазматического ядра (СХЯ) и его связей с паравентрикулярным ядром [47].

Среди глюкокортикоидных гормонов наиболее подробно описана циркадианная ритмика секреции кортизола. Синдром смены часовых поясов и десинхронизация сна повышают уровень кортизола у человека [48].

Глюкокортикоиды и кортизол могут регулировать экспрессию зависимых от времени суток генов в печени, почках и жировой ткани [49]. Секреция инсулина сильно зависит от времени суток, а дефицит генов CLOCK и BMAL1 определяет развитие гипoinsулинемии [50], в то время как потеря генов PER и CRY приводит к гиперинсулинемии [51].

Кислотопродуцирующие клетки желудка выделяют грелин до наступления времени приема пищи, не зависимо от воздействия света, в соответствии с собственным внутренним циркадианным механизмом [52].

Частая смена часовых поясов и сменный график работы приводят к нарушениям циркадного ритма, что может способствовать изменению секреции определенных гормонов, включая пролактин [53]. Концентрация этого гормона в плазме максимальна во время сна и минимальна в дневные часы [54]. Результаты исследований демонстрируют, что нарушения циркадного ритма, связанные с работой в ночную смену, могут, помимо прочего, приводить к уменьшению концентрации (секреции) пролактина в ночное время [55].

Секреция тестостерона также варьирует в течение суток, однако в отличие от мелатонина и кортизола не зависит от циркадных ритмов, т.е., не связана со сменой дня и ночи и контролем супрахиазматического ядра, но напрямую зависит от сна. Полная депривация сна приводит к снижению уровня тестостерона в плазме крови у мужчин, в то время как ограничение сна вызывает сходное изменение уровня тестостерона только если затрагивает первую половину ночи. Тестостерон влияет на время засыпания; увеличение уровня тестостерона в период пубертата ведет к более позднему засыпанию, но не влияет на общую продолжительность сна [56].

В исследовании Q. Gao и соавт. (2016) было показано, что депривация темноты приводит к усилению секреции фолликулостимулирующего гормона и эстрадиола, а также снижению уровня прогестерона как в крови матери, так и плода у экспериментальных животных. Депривация темноты приводит к изменению уровня как прогестерона, так и эстрадиола. Изменения уровней этих гормонов в крови могут отражать влияние депривации темноты на функцию плаценты, учитывая, что часть эстрадиола и прогестерона

в крови секретируется плацентой. Проведенное исследование позволяет предположить, что нарушение циклов воздействия света на организм может приводить к эндокринной дисфункции плаценты, что может негативно влиять на течение беременности и развитие плода *in utero* [57].

На мышинной модели метаболического синдрома с гипoadипонектиемией у животных наблюдалось снижение двигательной циркадианной активности в сочетании с повышением активности в период световой фазы. Кроме того, отмечалось смещение экспрессии циркадианных генов в печени и скелетных мышцах.

Кортизол и ТТГ поддерживают поверхностные стадии NREM-фазы сна, уровень кортизола изменяется в течение дня, его увеличение отмечается в период пробуждения, с пиком в течение часа после пробуждения, уровень ТТГ изменяется во время суток;

В более ранних исследованиях Y. Kudo и соавт. (1999) была проанализирована корреляция гормональных и температурных ритмов при изменениях циркадных ритмов. Десяти здоровым (в возрасте от 21 до 23 лет.) женщинам проводилась суточная депривация сна с оценкой времени засыпания в режиме сверхкороткого сна-бодрствования. Во время эксперимента оценивались время засыпания, ректальная температура и 24-часовой сывороточный гормональный профиль (мелатонин, кортизол и ТТГ).

Циркадианный ритм склонности ко сну демонстрирует два явных пика (после обеда и ночной пик) и одно снижение (период ночного сна). Временные рамки периода ночного сна и ночного пика коррелировали только с температурой и ритмом секреции мелатонина ( $p < 0,05$ ), в то время как послеобеденный пик преимущественно коррелировал с привычным временем бодрствования и ритмом секреции мелатонина.

Полученные результаты указывают на то, что циркадианный ритм склонности ко сну определяется не только циркадианным водителем ритма, но и привычками человека.

#### **Инструментальная диагностика нарушений циркадного ритма у спортсменов**

Количество исследований, подтверждающих значимость сна в высокопроизводительных видах спорта, неуклонно растет [9, 15].

Идентификация циклов сна и диагностика нарушений сна, как правило, ограничиваются оценкой полисомнографического исследования. Исследование качества и структуры сна с помощью стационарной полисомнографии (ПСГ) - единственный и основной инструмент, позволя-

ющий оценить и изучить физиологические параметры, такие как: общее время сна (мин), эффективность сна (%), латенция ко NREM-сну (мин), латенция к REM-сну (мин); соотношение NREM- и REM-фаз сна, стадий сна (1, 2, 3, 4 ст) NREM-фазы сна, время бодрствования во время сна, количество пробуждений (реакции ЭЭГ активации), их причины, нарушения дыхания и сердечного ритма, а также изучение движений нижних конечностей во время сна.

Несмотря на то что моделируемое путешествие в лаборатории и фактическое путешествие нежелательно напрямую сравнивать, в то же время лабораторные исследования предоставляют ценную информацию, которую возможно использовать для разработки исследований в полевых (приемлемых) условиях. Применение стандартной полисомнографии в рутинной практике для оценки и регулярного наблюдения за спортсменами имеет свои ограничения и сложности в связи с трудоемкостью исследования и зачастую является неприемлемым в тренировочных условиях, учитывая требования к поездкам у большинства спортсменов, а возможно, и по экономическим соображениям [15].

Посещение лаборатории с целью диагностики сна, например, сон в незнакомой обстановке, прикрепление к многочисленным электродам, может быть нецелесообразным для большинства спортсменов, и несколько нелогично оптимизировать восстановление или подготовку к соревнованиям. Таким образом, данный метод указывает на ограниченную валидность и вызывает опасения относительно точности лабораторной репрезентативной оценки для «нормального» сна в естественных условиях. Следовательно, альтернативными методами исследования нарушения сна у спортсменов являются субъективная оценка сна и актиграфия [28].

Также следует отметить, что спортсмены обычно неохотно изменяют или дополняют свой распорядок дня, что может приводить также к усложнению и ограничениям в исследовательских целях [42].

#### **Мониторинг нарушений циркадного ритма у спортсменов**

Мониторинг возникающих нарушений становится необходимым при потребностях в поездках, сопровождаемых симптомами смены часовых поясов и нарушением привычек сна.

С развитием девайс-устройств, оценивающих паттерны сна, одним из альтернативных методов исследования нарушений сна у спортсменов могут являться актиграфия, позволяющая луч-

ше понять и оценить поведение спортсменов во сне в приемлемых (естественных) условиях [58, 59]. Применение актиграфии занимает прочные позиции в сомнологии [60-62]. Это метод длительной (в течение нескольких суток или даже месяцев) регистрации двигательной активности пациента с помощью носимого датчика. Чаще всего он имеет форму наручных часов и носится на запястье. Программное обеспечение позволяет выделять периоды высокой и низкой двигательной активности, соответствующие периодам сна и бодрствования пациента.

В то время как недавние практические данные о достоверности и надежности имеющихся устройств подтверждают их устойчивость к анализу переменных сна, все же есть некоторые ограничения в применяемых алгоритмах (подсчетах), оценивающих параметры сна, связанные с неправильным обращением, техническими ошибками, что приводит к недостоверной трактовке получаемых данных и способствует низкой валидации [58, 59, 63].

#### **Мониторинг variability сердечного ритма у спортсменов**

Оценка variability сердечного ритма (ВСР) отражает изменения времени между последовательными сердцебиениями, известного как R-R — интервал или междударный интервал. Стоит отметить, что ВСР можно измерить за сверхкороткий период (1 мин) и в любом положении и/или в различном функциональном состоянии (бодрствовании и во сне).

ВСР предоставляет важную информацию о функционировании автономной нервной системы (АНС). Оценка ВСР представляет собой анализ variability интервалов между сердцебиениями, длительностью в миллисекунды. ВСР все шире используется в качестве метода клинического исследования утомления, особенно у спортсменов. Как непрямой показатель регуляции сердечного ритма со стороны автономной нервной системы, ВСР коррелирует с различными состояниями утомления и является мощным биомаркером, позволяющим отслеживать такие изменения [64, 65].

Увеличение связанных с действием блуждающего нерва показателей ВСР в покое и после физической нагрузки и акселерации ЧСС обнаруживается при положительной адаптации к тренировке, позволяя повысить достигаемые результаты. В то же время увеличение ВСР после нагрузки может наблюдаться и в ответ на чрезмерное перенапряжение, что указывает на необходимость использования дополнительных показате-

лей толерантности к тренировочной нагрузке для определения, являются ли вызванные тренировкой изменения параметров результатом положительной или отрицательной адаптации. Чрезмерное перенапряжение преимущественно не влияет на ВСР в покое, хотя это может быть следствием особенностей методологии исследования, что требует проведения дальнейшего анализа. Акселерация ЧСС уменьшается при чрезмерном перенапряжении при тренировке, что может являться потенциальным индикатором утомления в результате тренировки [64, 65].

Увеличение ВСР указывает на положительную адаптацию/лучшее состояние восстановления, тогда как уменьшение ВСР отражает стресс и худшее состояние восстановления.

Наряду со способностью ВСР прогнозировать сердечно-сосудистые заболевания у высококвалифицированных спортсменов в недавних исследованиях О. Kiss и соавт. (2016) продемонстрировали возможность применения ВСР для анализа интенсивности тренировочной нагрузки [66].

В другом исследовании Y. Sekiguchi и соавт. (2019) показали, что, несмотря на то, что на сон влияет степень тренированности спортсмена, взаимосвязь с ЧСС в покое и ВСР остается неясной. Целью данного исследования стало сравнение изменений и взаимосвязей между ЧСС в покое, ВСР и характеристиками сна у спортсменов Национальной студенческой спортивной ассоциации в течение сезона. В исследовании принимали участие 10 спортсменок. ЧСС в покое в конце сезона, особенно на 10-12-й неделе, продемонстрировала значимый рост по сравнению с началом сезона, на 2-4 — нед. Более высокая ЧСС в покое ( $r = 0.55$ ) и низкая ВСР ( $r = -0.62$ ) были преимущественно связаны с увеличением доли медленноволнового сна. Полученные данные указывают на то, что при нарушении физиологического состояния, означающем повышение потребности в восстановлении, доля медленноволнового сна увеличивается для обеспечения этой потребности. По этой причине важно соблюдать стратегии гигиены сна для обеспечения достаточной продолжительности медленноволнового сна в случае потребности в физиологическом восстановлении организма [67].

#### **Оценка нарушений циркадных ритмов у спортсменов с помощью анкет-опросников**

Другим альтернативным методом исследования нарушения сна у спортсменов являются субъективная оценка сна, используемая также для диагностики и мониторинга нарушений циркадных ритмов. Возможно применение и запол-

нение анкет, что направлено на оценку инсомний, которые могут быть использованы: А) для определения стратегии диагностического поиска, Б) для субъективного анализа нарушений сна испытуемого.

Наиболее распространенными опросниками являются индекс тяжести инсомнии, Питтсбургский индекс качества сна, индекс тяжести бессонницы, Эпфодрская шкала сонливости, которые позволяют оценить тяжесть нарушения сна. Характер сна можно оценить при использовании опросников по утреннему/вечернему состоянию (MEQ) и мюнхенскому (ChronoType), оба из которых имеют довольно сильную корреляцию с точным указанием фазы продвинутого или отложенного сна.

#### **Заключение**

Сон является универсальной потребностью человека, но его потребность и реализация строго индивидуальны для каждого человека, в том числе высокопрофессионального спортсмена.

Учитывая индивидуальные различия потребности во сне, реакций на тренировочные стимулы и на отсутствие сна, необходимо индивидуально подходить к вмешательствам, направленным на нормализацию сна.

Поэтому в спорте высших достижений важны диагностика и регулярный мониторинг сна поведения во сне (объективная и субъективная оценка), а также анализ параметров тренировки и реакции восстановления на стресс [9].

Вышеуказанные методы и направления позволяют анализировать нарушения (вследствие путешествия или заболевания) и оценить эффективность применяемой терапии, а также дают возможность оценить прогноз и реализацию процедур восстановления.

Кроме того, желательно применение обратной связи, которая позволит спортсменам лучше понять важность регулярного сна и повысить осведомленность о взаимосвязи стресса от тренировок и достаточного восстановления организма.

Анализ имеющихся исследований в области спортивной медицины, проведенных за последние десятилетия, демонстрирует, что изменение циркадных ритмов оказывает значительное влияние на функциональное состояние и готовность высококвалифицированных спортсменов на этапах учебно-тренировочной и соревновательной деятельности.

Также необходимо уделять внимание путешествующим спортсменам, а также сопровождающему их персоналу, с тем, чтобы оценить способ-



ность к быстрой адаптации в новом месте после длительных перелетов, изучение которой основано на хронобиологических принципах и понимании биоритмов. С целью обеспечения высокого результата необходимо активно планировать поездки и перелеты, а спортивные организации должны осознавать вероятность возникновения негативных последствий смены часовых поясов в отношении результатов спортсменов.

Также стоит отметить, что циркадные ритмы тренируемы, т.е. их можно изменить и к ним можно адаптироваться в зависимости от целей. Подобную «тренируемость» к изменениям длительности светового дня, возможно, ощутить при перелётах на дальние расстояния, а затем за пару дней полностью адаптироваться к новым условиям. Спортсмены могут быстро адаптироваться к многочисленным перелётам через несколько часовых поясов, и это особенно важно для таких стран, как Россия. Но у такой сравнительно легкой адаптации есть и обратная сторона — плохой распорядок дня и несоблюдение правил гигиены и режима сна, что отрицательно влияет на восстановление и спортивные результаты, а также способствует повышению травматизации.

Имеющиеся публикации в области хронобиологии указывают на смещение акцента направления хронобиологических исследований с изучением динамики функций организма и работоспособности в разное время суток, ритмов систем организма как индикаторов функционального состояния и адаптационных процессов. Методы хронокоррекции и оптимизации функционального состояния человека досконально не изучены и являются перспективными в плане дальнейшего развития хронобиологии как прикладной отрасли науки, так и в области спортивной медицины.

Будущие исследования должны быть нацелены на стандартизацию результатов и определения циркадных ритмов для сравнений между исследованиями и с последующей возможностью проведения метаанализа.

Таким образом, комплексная диагностика и мониторинг циркадианных ритмов и их нарушений у высококвалифицированных спортсменов позволяют персонализировать тактику медико-биологической коррекции и повысить функциональную готовность спортсменов сборных команд на учебно-тренировочных и соревновательных сборах. В дальнейшем рекомендуется использовать в клинической практике представленную информацию, включающую как диагностику и контроль качественно-количественных характеристик сна, так и определение регуляторных функций у профессиональных спортсме-

нов. Правильная диагностика способствует применению соответствующей терапевтической (медикаментозной или немедикаментозной) тактики с учетом правил Всемирного антидопингового агентства (ВАДА).

### Литература

1. Вейн А.М. и др. Церебральные сон-бодрствование циклы в организме человека после психоэмоционального стресса// Вестник Российской академии медицинских наук. - 2001. - № 5. - С. 20-23. [Vein A.M. et al. Cerebral sleep-wakefulness cycles in humans after psychoemotional stress//Vestnik Rossijskoj akademii medicinskih nauk. - 2001. - № 5. - P. 20-23. In Russian].
2. Полуэктов М.Г. Нарушения сна в практике невролога// Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика. - 2012. - V. 4(4). - P. 18-24. [Poluektov M. G. Sleep disorders in neurological practice// Nevrologija, nejropsihiatrija, psihosomatika. - 2012. - V. 4(4). - P. 18-24. In Russian].
3. Carskadon M.A. Sleep's effects on cognition and learning in adolescence// Prog Brain Res. - 2011. - V. 190. - P. 137-143. doi:10.1016/B978-0-444-53817-8.00008-6
4. Rechtschaffen A, Kales A. A Manual of Standardized Terminology, Techniques and Scoring System for Sleep Stages of Human Subjects// US Department of Health, Education and Welfare, Public Health Service. - Bethesda - 1968. - 216 P.
5. Anderer P. et al. Computer-assisted sleep classification according to the standard of the American Academy of Sleep Medicine: validation study of the AASM version of the Somnolyzer 24 - 7// Neuropsychobiology. - 2010. - V. 62. - №4. - P.250-264. doi:10.1159/000320864
6. Кожокару А.Б. и др. Нарушения сна и бодрствования при эпилепсии. Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. - 2020. - Т. 120. - № 9-2. - С. 68-73. [Kozhokaru A.B. et al. Sleep and wake disorders in epilepsy//Zhurnal neurologii i psihiatrii im. S.S. Korsakova. - 2020. - V. 120. - № 9-2. - P. 68-73. In Russian]. doi:10.17116/jnevro202012009268
7. Кожокару А.Б. и др. Взаимосвязь механизмов сна и эпилептогенеза// Альманах клинической медицины. - 2020. - Т.48. - № 1. - С. 44-55. [Kozhokaru A.B. et al. The relationship of sleep mechanisms and epileptogenesis//Al'manah klinicheskoy mediciny. - 2020. - V.48. - № 1. - P. 44-55. In Russian]. doi:10.18786/2072-0505-2020-48-006
8. Walker M.P., Stickgold R. It's practice, with sleep, that makes perfect: implications of sleep-dependent learning and plasticity for skill performance// Clin Sports Med. - 2005. - V. 24. - №2. - P. 301-305. doi:10.1016/j.csm.2004.11.002
9. Fullagar H.H. et al. Sleep and athletic performance: the effects of sleep loss on exercise performance, and physiological and cognitive responses to exercise// Sports Med. - 2015. - V.45. - №2. - P. 161-186. doi:10.1007/s40279-014-0260-0
10. Коробельникова Е.А. Сон и профессиональный спорт: взаимовлияние, проблемы и методы их коррекции (обзор литературы)// Медицинский алфавит. - 2020. - № 22. - С. 30-35. [Korobeinikova E.A. Sleep and professional sports: mutual influence, problems and methods of their correction (literature review)// Medicinskij alfavit. - 2020. - № 22. - P. 30-35. In Russian]. doi:10.33667/2078-5631-2020-22-30-34
11. Kölling S. et al. Sleep-Related Issues for Recovery and Performance in Athletes// Int J Sports Physiol Perform. - 2019. - V.14. - №2. - P.144-148. doi:10.1123/ijsp.2017-0746
12. Gupta L. et al. Does elite sport degrade sleep quality? A: a systematic review// Sports Med. - 2017. - V.47. - P.1317-1333. doi:10.1007/s40279-016-0650-6
13. Slatery K. et al. The role of oxidative, inflammatory and neuroendocrinological systems during exercise stress in athletes:

- implications of antioxidant supplementation on physiological adaptation during intensified physical training// *Sports Med.* – 2015. – V. 45(4). – P. 453-471. doi:10.1007/s40279-014-0282-7
14. Дадаева В.А. и др. Сон и ожирение: механизмы взаимосвязи// *Рациональная фармакотерапия в кардиологии.* – 2020. – Т. 16. – № 4. – С. 564-570. [Dadaeva V.A. et al. Sleep and obesity: mechanisms of association// *Racional'naja farmakoterapija v kardiologii.* – 2020. – V. 16. – № 4. – P. 564-570. In Russian]. doi:10.20996/1819-6446-2020-08-10
15. Kölling S. et al. Sleep-Related Issues for Recovery and Performance in Athletes// *Int J Sports Physiol Perform.* – 2019. – V. 14. – №2. – P. 144-148. doi:10.1123/ijsp.2017-0746
16. Корягина Ю.В. и др. Десинхронизация в спорте: здоровье и физическая работоспособность// *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований.* – 2017. – №10-1. – С. 77-81. [Koryagina Yu.V. et al. Jetlag (circadian rhythm disorder) in sport: health and physical working performance// *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij.* – 2017. – №10-1. – P. 77-81. In Russian].
17. Петрова В.В. и др. Разработка и обоснование методов профилактики и коррекции десинхроноза у спортсменов// *Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры.* – 2019. – Т. 96. – №2-2. – С. 130. [Petrova V.V. et al. Development and substantiation of methods for the prevention and correction of desynchronization in athletes// *Voprosy kurortologii, fizioterapii i lechebnoj fizicheskoj kul'tury.* – 2019. – V. 96. – №2-2. – P. 130. In Russian].
18. Разинкин С.М. и др. Десинхроноз у спортсменов: влияние на функциональную готовность и оценка эффективности методов профилактики и коррекции (на примере спортсменов-хоккеистов)// *Саратовский научно-медицинский журнал.* – 2017. – Т. 13. – № 4. – С. 925-929. [Razinkin S.M. et al. Jetlag at sportsmen: influence on functional readiness and estimation of efficiency of methods of prevention and correction (the case of hockey players)// *Saratovskij nauchno-medicinskij zhurnal.* – 2017. – V. 13. – № 4. – P. 925-929. In Russian].
19. Vitale K.C. et al. Sleep Hygiene for Optimizing Recovery in Athletes: Review and Recommendations// *Int J Sports Med.* – 2019. – V. 40(8). – P. 535-543. doi:10.1055/a-0905-3103
20. Bonato M. et al. Effect of Acute Sleep Hygiene on Salivary Cortisol Level Following A Late Night Soccer-Specific Training Session// *J Sports Sci Med.* – 2020. – V. 19(1). – P. 235-236.
21. Knufinke M. et al. Self-reported sleep quantity, quality and sleep hygiene in elite athletes// *J Sleep Res.* – 2018. – V. 27(1). – P. 78-85. doi:10.1111/jsr.12509
22. Brandt R. et al. Perceived Sleep Quality, Mood States, and Their Relationship With Performance Among Brazilian Elite Athletes During a Competitive Period// *J Strength Cond Res.* – 2017. – V. 31(4). – P. 1033-1039. doi:10.1519/JSC.0000000000001551
23. Silva M.R., Paiva T. Poor precompetitive sleep habits, nutrients' deficiencies, inappropriate body composition and athletic performance in elite gymnasts// *Eur J Sport Sci.* – 2016. – V. 16(6). – P. 726-735. doi:10.1080/17461391.2015.1103316
24. Swinbourne R. et al. Prevalence of poor sleep quality, sleepiness and obstructive sleep apnoea risk factors in athletes// *Eur J Sport Sci.* – 2016. – №16(7). – P. 850-858. doi:10.1080/17461391.2015.1120781
25. Tuomilehto H. et al. Sleep of professional athletes: Underexploited potential to improve health and performance// *J Sports Sci.* – 2017. – V. 35(7). – P. 704-710. doi:10.1080/02640414.2016.1184300
26. Mah C.D. et al. Sleep restriction impairs maximal jump performance and joint coordination in elite athletes// *J Sports Sci.* – 2019. – V. 37(17). – P. 1981-1988. doi:10.1080/02640414.2019.1612504
27. Manfredini R. et al. Circadian rhythms, athletic performance, and jet lag// *Br J Sports Med.* – 1998. – V. 32(2). – P. 101-106. doi:10.1136/bjbm.32.2.101
28. Kölling S. et al. Sleep in sports: a short summary of alterations in sleep/wake patterns and the effects of sleep loss and jet-lag// *Dtsch Z Sportmed.* – 2016. – V. 67. – P. 35-38.
29. Smith R.S. et al. The impact of circadian misalignment on athletic performance in professional football players// *Sleep.* – 2013. – V. 36(12). – P. 1999-2001. doi:10.5665/sleep.3248
30. Dijk D.J., Archer S.N. Light, sleep, and circadian rhythms: together again// *PLoS Biol.* – 2009. – V. 7. – P. 1000145. doi:10.1371/journal.pbio.1000145
31. Kräuchi K. The thermophysiological cascade leading to sleep initiation in relation to phase of entrainment// *Sleep Med Rev.* – 2007. – V. 11. – P. 439-451. doi:10.1016/j.smrv.2007.07.001
32. Комаров Ф.И., Рапопорт С.И. Хронобиология и хрономедицина// М.: Триада-Х. – 2000. – 488 С. [Komarov F.I., Rapoport S.I. Chronobiology and chronomedicine// М.: Triada-H. – 2000. – 488 С. In Russian].
33. Костенко Е.В. и др. Десинхроноз как один из важнейших факторов возникновения и развития цереброваскулярных заболеваний// *Лечебное дело.* – 2013. – № 2. – С. 104-116. [Kostenko E.V. et al. Desynchronization as one of the most important factors in the onset and development of cerebrovascular diseases// *Lechebnoe delo.* – 2013. – № 2. – P. 104-116. In Russian].
34. Škrlec I. et al. Genetic variations in circadian rhythm genes and susceptibility for myocardial infarction// *Genet Mol Biol.* – 2018. – V. 41(2). – P. 403-409. doi:10.1590/1678-4685-GMB-2017-0147
35. Maiese K. Cognitive impairment with diabetes mellitus and metabolic disease: innovative insights with the mechanistic target of rapamycin and circadian clock gene pathways// *Expert Rev Clin Pharmacol.* – 2020. – V. 13(1). – P. 23-34. doi:10.1080/17512433.2020.1698288
36. Губин Д.Г. Молекулярные механизмы циркадианных ритмов и принципы развития десинхроноза// *Успехи физиологических наук.* – 2013. – Т. 44. – № 4. – С. 65-87. [Gubin D.G. Molecular basis of circadian rhythms and principles of circadian disruption// *Uspehi fiziologicheskikh nauk.* – 2013. – V. 44. – № 4. – P. 65-87. In Russian].
37. Алякринский Б.С. Проблемы скрытого десинхроноза// *Космич. биология и авиакосмич. медицина.* – 1972. – №1. – С. 32-37. [Aljakrinskij B.S. Latent desynchronization problems// *Kosmich. biologija i aviakosmich. medicina.* – 1972. – №1. – P. 32-37. In Russian].
38. Бреус Т.К., Чибисов С.М., Баевский Р.Н., Шебзухов К.В. Хроноструктура ритмов сердца и факторы внешней среды. Монография// М.: Изд-во Российского ун-та дружбы народов. Полиграф сервис. – 2002. – 232 С. [Breus T.K., Chibisov S.M., Baevskij R.N., Shebzuхов K.V. Chronostructure of heart rhythms and environmental factors. Monografija// М.: Izd-vo Rossijskogo un-ta druzhby narodov. Poligraf servis. – 2002. – 232 С. In Russian].
39. Губин Г. Д., Губин Д. Г. Классификация десинхронозов по причинному фактору и механизмам развития. Два принципа хронотерапии десинхроноза// *Фундаментальные исследования.* – 2004. – №1. – С. 50. [Gubin G. D., Gubin D. G. Classification of desynchronoses by the causal factor and mechanisms of development. Two principles of chronotherapy of desynchronization// *Fundamental'nye issledovanija.* – 2004. – №1. – P. 50. In Russian].
40. Sateia M.J. International classification of sleep disorders-third edition: highlights and modifications// *Chest.* – 2014. – V. 146(5). – P. 1387-1394. doi:10.1378/chest.14-0970
41. Ito E., Inoue Y. The International Classification of Sleep Disorders, third edition. American Academy of Sleep Medicine. Includes bibliographies and index// *Nihon Rinsho.* – 2015. – V. 73(6). – P. 916-23.
42. Janse van Rensburg D.C.C. et al. How to manage travel fatigue and jet lag in athletes? A systematic review of interventions//

- Br J Sports Med.* – 2020. – V. 54(16). – P. 960-968. doi:10.1136/bjsports-2019-101635
43. Waterhouse J. et al. The stress of travel// *J Sports Sci.* – 2004. – V. 22(10). – P. 946-966. doi:10.1080/02640410400000264
44. Waterhouse J. et al. Jet lag: trends and coping strategies// *Lancet.* – 2007. – V. 369(9567). – P. 1117-1129. doi:10.1016/S0140-6736(07)60529-7
45. Kalsbeek A. et al. In vivo measurement of a diurnal variation in vasopressin release in the rat suprachiasmatic nucleus// *Brain Res.* – 1995. – V. 682(1-2). – P. 75-82. doi:10.1016/0006-8993(95)00324-j
46. Hut R.A., Van der Zee E.A. The cholinergic system, circadian rhythmicity, and time memory// *Behav Brain Res.* – 2011. – V. 221(2). – P. 466-480. doi:10.1016/j.bbr.2010.11.039
47. Oster H. The genetic basis of circadian behavior// *Genes Brain Behav.* – 2006. – V.5. - №2. – P. 73-79. doi:10.1111/j.1601-183X.2006.00226.x
48. Dijk D.J. et al. Amplitude reduction and phase shifts of melatonin, cortisol and other circadian rhythms after a gradual advance of sleep and light exposure in humans// *PLoS One.* – 2012. – V. 7(2). – P. 30037. doi:10.1371/journal.pone.0030037
49. Pezük P. et al. Glucocorticoids as entraining signals for peripheral circadian oscillators// *Endocrinology.* – 2012. - №153(10). – P. 4775-4783. doi:10.1210/en.2012-1486
50. Sadacca L.A. et al. An intrinsic circadian clock of the pancreas is required for normal insulin release and glucose homeostasis in mice// *Diabetologia.* – 2011. - №54(1). – P. 120-124. doi:10.1007/s00125-010-1920-8
51. Barclay J.L., et al. High-fat diet-induced hyperinsulinemia and tissue-specific insulin resistance in Cry-deficient mice// *Am J Physiol Endocrinol Metab.* - 2013. – V. 304(10). – P. 1053-1063. doi:10.1152/ajpendo.00512.2012
52. LeSauter J. et al. Stomach ghrelin-secreting cells as food-entrainable circadian clocks// *Proc Natl Acad Sci U S A.* – 2009. – V. 106(32). – P. 13582-13587. doi:10.1073/pnas.0906426106
53. Sigurdson AJ, Ron E. Cosmic radiation exposure and cancer risk among flight crew. *Cancer Invest.* 2004;22(5):743–61, <https://doi.org/10.1081/cnv-200032767>.
54. Morris C.J. et al. Circadian system, sleep and endocrinology// *Mol Cell Endocrinol.* – 2012. – V.349(1). – P.91–104.
55. Suliman A.M., et al. Frequent mis-diagnosis and mismanagement of hyperprolactinemic patients before the introduction of macroprolactin screen–ing application of a new strict laboratory definition of macro-prolactinemia// *Clin Chem.* – 2003. – V.49(9). – P.1504–1509.
56. Wittert G. The relationship between sleep disorders and testosterone// *Curr Opin Endocrinol Diabetes Obes.* – 2014. – V.21(3). – P.239-243. doi:10.1097/MED.0000000000000069
57. Gao Q. et al. Disrupting the circadian photo-period alters the release of follicle-stimulating hormone, luteinizing hormone, progesterone, and estradiol in maternal and fetal sheep// *J Reprod Dev.* – 2016. – V.62(5). – P.487-493. doi:10.1262/jrd.2016-009
58. Fuller K.L. et al. Software thresholds alter the bias of actigraphy for monitoring sleep in team-sport athletes// *J Sci Med Sport.* – 2017. – V. 20(8). – P. 756-760. doi:10.1016/j.jsams.2016.11.021
59. Sargent C. et al. The validity of activity monitors for measuring sleep in elite athletes// *J Sci Med Sport.* – 2016. – V. 19(10). – P. 848-853. doi:10.1016/j.jsams.2015.12.007
60. Smith M.T. et al. Use of Actigraphy for the Evaluation of Sleep Disorders and Circadian Rhythm Sleep-Wake Disorders: An American Academy of Sleep Medicine Systematic Review, Meta-Analysis, and GRADE Assessment// *J Clin Sleep Med.* - 2018. – V. 14(7). – P.1209-1230. doi: 10.5664/jcs.m.7228
61. Walia H., Mehra R. Practical aspects of actigraphy and approaches in clinical and research domains// *Handb Clin Neurol.* – 2019. – V. 160. – P. 371-379. doi: 10.1016/B978-0-444-64032-1.00024-2.
62. Fekedulegn D. et al. Actigraphy-Based Assessment of Sleep Parameters// *Ann Work Expo Health.* – 2020. – V. 64(4). – P. 350-367. doi: 10.1093/annweh/wxaa007
63. Kölling S. et al. Comparing Subjective With Objective Sleep Parameters Via Multisensory Actigraphy in German Physical Education Students// *Behav Sleep Med.* – 2016. – V. 14(4) – P.389-405. doi:10.1080/15402002.2015.1017096.
64. Bellenger C.R. et al. Monitoring Athletic Training Status Through Autonomic Heart Rate Regulation: A Systematic Review and Meta-Analysis// *Sports Med.* – 2016. – V. 46(10). – P.1461-1486. doi:10.1007/s40279-016-0484-2.
65. Besson C. et al. Heart rate variability: methods, limitations and clinical examples// *Rev Med Suisse.* – 2020. – V. 16(701). – P.1432-1437.
66. Kiss O. et al. Detailed heart rate variability analysis in athletes// *Clin Auton Res.* – 2016. – V. 26(4):245-252. doi:10.1007/s10286-016-0360-z.
67. Sekiguchi Y. et al. Relationships between resting heart rate, heart rate variability and sleep characteristics among female collegiate cross-country athletes// *J Sleep Res.* – 2019. – V. 28(6). -P.12836. doi:10.1111/jsr.12836.