

УДК 612.017.2:507

В. П. Пишак¹, д-р мед. наук, проф.,
М. И. Кривчанская¹, канд. мед. наук,
О. В. Пишак², д-р мед. наук, проф.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ХРОНОПЕРИОДИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

¹ Буковинский государственный медицинский университет, Черновцы, Украина,

² Черновицкий национальный университет имени Ю. Федьковича,
Черновцы, Украина

УДК 612.017.2:507

В. П. Пишак¹, М. И. Кривчанская¹, О. В. Пишак²

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ХРОНОПЕРИОДИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

¹ Буковинский государственный медицинский университет, Черновцы, Украина,

² Черновицкий национальный университет имени Ю. Федьковича, Черновцы, Украина

Абиотические экологические факторы (свет, температура) являются решающими, первичными периодическими сигналами в формировании хронобиологических систем. В периодических процессах в организме особое место принадлежит мелатонину. Его рецепторы чувствительны к периодическим сигналам среды, которые синхронизируют ритмы живых существ.

Ключевые слова: первичные периодические сигналы, циркадианные ритмы, хронопериод.

UDC 612.017.2:507

V. P. Pishak¹, M. I. Krivchanskaya¹, O. V. Pishak²

CHRONOPERIODIC SYSTEM FUNCTIONING ECOLOGIC CONSTITUENTS

¹ The Bukovinian State Medical University, Chernovtsy, Ukraine,

² Yuriy Fedkovich Chernovtsy National University, Chernovtsy, Ukraine

Abiotic environmental factors (light, temperature) are decisive primary periodic signals in the formation of chronobiological systems. In batch processes in the body a special place belongs to melatonin. Its receptors are sensitive to the periodic signals of environment that synchronize rhythms of living beings.

Key words: primary periodic signals, circadian rhythms, chronological period.

Вступлення

Живые системы характеризуются биоритмическими свойствами. Часть биоритмов локализована в структурах субклеточного уровня, другие координируют деятельность клеток и органов, третьи служат интегративным звеном между особью и популяцией. Экологические закономерности формирования биологических ритмов отражают взаимодействие живого с факторами окружающей среды.

Рассматривая биосферу как область жизни, пространства и времени, неживой и живой природы В. И. Вернадский писал: «Живые организмы являются функцией биосферы и теснейшим образом материально и энергетически с ней связаны, служат огромной геологической силой, ее определяющей» [4].

Синхронизация эндокринной активности с соответствующим воздействием окружающей сре-

ды имеет жизненную важность для организмов в естественных условиях.

В последние годы пристальное внимание исследователей привлекают вопросы трансформации в шишковидной железе нервного сигнала в сигнал-гормон. И это примечательно тем, что индуцирующим фактором, а правильное вести речь о факторах, выступают экологические составляющие. Оно и неудивительно: шишковидная железа в эволюционном развитии трансформировалась из органа воспринимающего световые воздействия (у рыб, земноводных, пресмыкающихся) в нейроэндокринную железу (у птиц и млекопитающих). Помимо этого, в структуре данного органа функционируют генетические компоненты, причастные к хронопериодической системе, — «часовые» гены: *Period* (*mPer1*, *mPer2*, *mPer3*), *Cryptochrome* (*mCry1*, *mCry2*), *Bmal1*, *Clock*, *CK1* [20]. Показано, что часть из них участвует в молекулярных механизмах, контролирую-

щих циркадианные ритмы у млекопитающих [16]. Доказана генетическая детерминированность индивидуальных особенностей циркадианной организации.

В классификации биологических ритмов различают экологические (адаптивные) ритмы, которые совпадают с естественным ритмом окружающей среды. В соответствии с периодом выделяют: циркадианные (околосуточные 24 ч), приливные (около 24,8 и 12,4 ч), лунные (около 29,5 сут.) и годовые (сезонные или годовые около 12 мес.) [11].

Исходя из общих экологических представлений, можно утверждать, что приспособительная роль биоритмов очевидна: они позволяют координировать процессы жизнедеятельности организма в соответствии с периодически изменяющимися условиями среды обитания. Экологические ритмы служат организму биологическими часами [5; 6]. Воздействуя на работу шишковидной железы путем изменения частоты, силы, направленности внешних факторов можно регулировать продукцию гормона шишковидной железы — мелатонина.

Без синхронизации мелатонином животное утрачивает адаптивную приспособленность, что опасно для выживания. В соответствии с концепцией о сенсорно-гормональной системе, в шишковидной железе сигналы окружающей среды преобразуются в секрецию гормонов (рис. 1).

Световое воздействие от сетчатки глаза по ретиногипоталамическому тракту достигает супрахиазматических ядер гипоталамуса. Далее нервный сигнал распространяется на периферию к верхнему шейному симпатическому ганглию. Затем снова возвращается в центральную нервную систему и направляется к шишковидной железе, где трансформируется в сигнал-гормон, при этом происходит угнетение секреции [16].

В данном обзоре мы остановимся на характеристике только некоторых абиотических факторов (свет, температура и сезон) как главных компонентов хронопериодической системы, несколько не умаляя роль других составляющих.

Свет

Свет является одним из основных экологических факторов. Его издавна считают наиболее постоянным, стабильным, не испытывающим многомерных изменений и состоящим из различных компонентов: освещенность, фотопериод, спектральный состав света, угол нахождения Солнца над горизонтом в ночной период. Свет регулирует периоды активности, размножения, миграции, линьки и другие биологические явления у животных [12].

Освещенность характеризуется следующими действующими составляющими: продолжительность, направленность, характер (длина волны светового потока) и степень поляризации. Про-

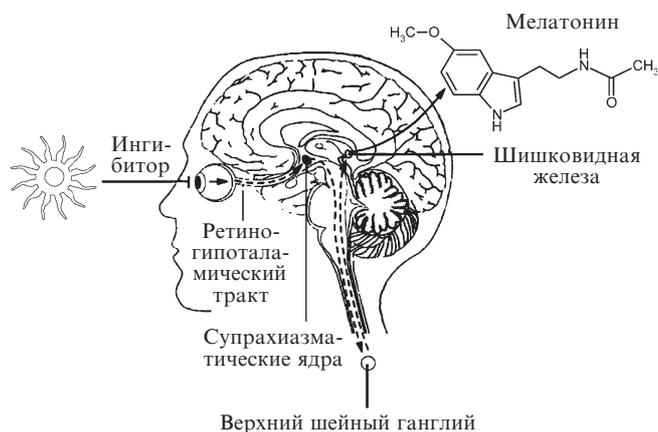


Рис. 1. Тормозящий эффект световых импульсов на синтез мелатонина в шишковидной железе

должительность действия света — величина, не подверженная сильной изменчивости. Известно, что ось Земли наклонена к плоскости эклиптики под углом $66^{\circ}33'$. Этот наклон является причиной неодинаковой продолжительности дня и ночи. В период равноденствия (21 марта и 23 сентября) день и ночь имеют одинаковую продолжительность на всем земном шаре, что и составляет основу фотопериода.

Фотопериодическая реакция лежит в основе многих биологических явлений, обеспечивая или прямое определяющее действие, или выполняя сигнальные функции.

Фотопериодические реакции имеют астрономическое происхождение и потому характеризуются высокой стабильностью.

Фотопериодизм признается в качестве главного синхронизатора циркадианной системы.

Свет является одним из главных внешних регуляторов выработки мелатонина и, следовательно, биологических ритмов. При этом основным реализующим фактором суточных ритмов является именно мелатонин, имеющий собственные рецепторы во множестве структур организма.

Функциональное состояние шишковидной железы зависит от интенсивности и спектра видимого света. Так, облучение эпифиза когерентным светом длительностью 10 мин способствовало увеличению в размерах комплекса Гольджи, гладкого эндоплазматического ретикулума, количества митохондрий и липидных капель [19].

Длительное пребывание хомячков в условиях освещения синим светом (19 нед.) существенно повышало синтез мелатонина, 5-метокситриптофана и 5-метоксииндолуксусной кислоты. Красный свет, наоборот, угнетал продукцию мелатонина (рис. 2) [18].

Освещенная белым светом шишковидная железа продуцирует значительно меньше мелатонина. Но животные, оперированные при красном свете, синтезируют гормон эпифиза в том же количестве, что и интактные животные. Такие особенности влияния белого освещения позволяют

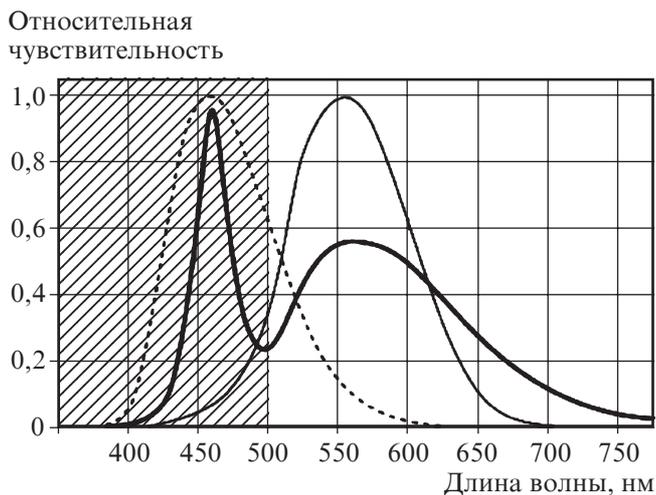


Рис. 2. Особенности кривой синтеза мелатонина под влиянием световых волн различной длины

предполагать, что последние нарушают образование мелатонина неретинальным путем.

Сильное действие ультрафиолетовых лучей снижает потребление кислорода водными организмами. С этой частью спектра связана пигментация тела насекомых.

Благоприятные световые и температурные условия способствуют активности большей части насекомых, однако их вылет преимущественно наблюдается на заходе солнца, а не по утрам. Это свидетельствует, что на факторы среды накладывается внутренний ритм.

Современные исследования показывают, что синтез метаболизма ДНК и РНК тесно связаны с функционированием внутренних (циркадианных) часов.

Сглаженный фотопериод, особенно по световому типу, является одним из факторов развития десинхроноза, возможности адаптации циркадианной системы к которому у живых организмов наименее развиты [7].

Воздействие света ночью укорачивает продолжительность менструального цикла у женщин с периодом цикла более 33 дней [2].

Изучение влияния изменений светового режима в Антарктиде на циркадианные ритмы организма человека показало, что причиной депрессии является изменение освещенности как времязадателя (zeitgeber).

Мелатонин служит «биохимическим ключом» биологических часов, синхронизирующим биологические ритмы, будучи адаптогеном, посредником между внутренним статусом организма и внешней средой [10].

Воздействуя на работу шишковидной железы путем применения внешних факторов, можно регулировать синтез мелатонина.

У крыс, содержащихся в условиях круглосуточного освещения с 14-месячного возраста, отмечена синхронность изменений активности антиоксидантных ферментов — супероксиддисму-

тазы и каталазы. У животных, находившихся при постоянном освещении с месячного возраста, половое созревание происходило позже, а средняя и максимальная продолжительность жизни были ниже, чем у 14-месячных крыс [12].

Фотопериодический характер имеет цикличность половой деятельности животных, цикличность их размножения. Путем увеличения продолжительности светового дня можно активизировать гонады, привести животных в состояние полового возбуждения.

Соотношение периодов освещения и темноты и изменение на протяжении суток интенсивности освещенности влияют на активность животных. У многих видов продолжительность суточной активности изменяется в соответствии с временами года.

Многочисленные планктонные организмы ночью держатся на поверхности, а днем в силу своей чувствительности к свету перемещаются в глубинные слои воды, превышающие 100 м [1].

Температура

Органический мир нашей планеты существует в широком диапазоне температур, что обусловлено эволюционными и историческими факторами, и как следствие — экологическими условиями эволюционного развития.

Температурная экологическая компонента чрезвычайно важна в жизни живых существ. Она носит очень отчетливый характер, но в отличие от фотопериодических реакций не имеет такой высокой стабильности и крайне неустойчива, легко поддается измерению и количественной оценке в пространстве и времени. Температура оказывает на живые существа как прямое, так и косвенное влияние.

Циклические изменения абиотических параметров среды, в частности температуры, становятся для гомойотермных животных сигналами, «датчиками времени», обеспечивающими синхронизацию периодов активности животных с ритмами биоценоза [8]. Температура, как и освещенность, приливы и отливы, относится к первичным периодическим факторам. Температура наряду с продолжительностью дня служит стимулом к миграции у теплокровных животных. У пойкилотермных животных от температуры зависят скорость развития и число поколений в году. Этот экологический фактор сказывается на количестве потребляемой пищи, влияет на плодовитость, половую активность и др.

Температура выполняет в жизни растений и животных важную роль прежде всего потому, что от нее зависят уровень и интенсивность обмена веществ, фотосинтез, транспирация и другие биохимические и физиологические процессы, а также хронопериодические реакции.

Кроме того, температура влияет на скорость и интенсивность физико-химических процессов в тканях и клетках организма. Для характеристики последних применимо правило Вант-Гоффа, согласно которому скорость обмена веществ возрастает в 2–3 раза на каждые 10 °С повышения температуры или, наоборот, падает при соответствующем ее снижении. Таким образом, скорость обмена веществ закономерно изменяется адекватно динамике температуры. В данном обзоре не рассматриваются формирование и совершенствование специальных механизмов терморегуляции при переходе от пойкилотермных организмов (все беспозвоночные и низшие позвоночные) к гомойотермным (почти все птицы и млекопитающие).

Колебание температурного режима в комплексе с другими экологическими факторами способствует изменению суточного ритма жизни.

Высокие температуры прерывают диапаузу, а низкие, наоборот, — способствуют их возникновению. Однако это возможно только в пределах соответствующего фотопериода. Считается, что высокие температуры способны оказывать свое действие только во время темновой фазы, причем их эффект отличается от действия света.

Роль температурного фактора сказывается на процессах размножения. Установлена отчетливая зависимость хода сперматогенеза и овогенеза от температуры среды. Для развития многих растений и животных необходима не просто оптимальная температура, но и ее переменная — хронопериодичность (инкубация яиц, линька, развитие волосяного покрова и др.).

При снижении температуры внешней среды у некоторых животных смещается двигательная активность на дневные часы суток, повышение температуры — на ночные.

Таким образом, температура выполняет роль биологического синхронизатора, имеющего исключительное значение для адаптации организма к постоянно меняющимся условиям окружающей среды.

Сезонные биологические ритмы, определяемые фотопериодом

Эти ритмы обеспечивают синхронизацию циклов индивидуального развития с соответствующими сезонами. Закономерное изменение продолжительности светового дня в различные сезоны года обуславливает время начала диапаузы многих видов членистоногих.

Фотопериод — это главный фактор, вызывающий диапаузу. Он позволяет животному войти в состояние покоя до наступления неблагоприятного сезона. Другие факторы, например температура, недостаточны для синхронизации циклов развития в соответствии с сезонами, поскольку их изменения не носят определенного во времени регулярного характера. Хотя в отдельных случаях влияние температуры может частично маскировать действие фотопериода.

С продвижением к северу на каждые 5° широты продолжительность дня, необходимая для выхода насекомого *Aconycta rumicis* из диапаузы, удлиняется примерно на 1,5 ч [13].

Причины диапаузы нельзя сводить только к продолжительности дня, более существенным является чередование света и темноты. Фотопериод может изменять также морфологию насекомых. Таким образом, фотопериодизм — основной фактор сезонной активности членистоногих. Более того, многие явления в сезонной жизни растений, динамика их роста и развития тоже относятся к фотопериодическим реакциям.

Миграция перелетных птиц и связанные с этим процессы линьки, оперения, накопления жира под кожей и на внутренних органах зиждется на фотопериодической основе — сокращении продолжительности дня.

Установлены сезонные ритмы синтеза мелатонина — повышение в осенне-зимний и понижение в весенне-летний периоды [3; 9].

Различиями в длине светового дня обусловлены известные сезонные колебания уровней синтеза и секреции мелатонина у животных разных видов и человека [14]. Так, концентрация этого гормона зимой запаздывает в сравнении с летним периодом на 1 ч 46 мин.

Сезонные ритмы колебания уровня мелатонина существуют не только у млекопитающих с сезонным циклом размножения, но и у человека.

Продолжительная секреция мелатонина стимулирует репродуктивную физиологию и поведение овец, размножающихся осенью, но тормозит репродуктивную функцию и поведение грызунов, размножающихся весной.

Длительные наблюдения за растениями и животными позволяют высказать предположение, что сезонные ритмы появляются на более ранних этапах эволюционного развития. Так, измерение на протяжении 13 мес. активности мелатонина у примитивных многоклеточных животных (колониальная актиния *Renilla Köllikeri*) выявило четкий сезонный ритм: уровень мелатонина весной и летом в 4–5 раз был выше, чем осенью и зимой. Причем весенний подъем совпадал с началом полового созревания. Суточного ритма мелатонина при этом не выявлено.

Таким образом, свет и температура как важнейшие абиотические экологические факторы оказывают прямое влияние на живые организмы, формируют биологические ритмы. Одновременно они являются определяющими в характеристике сезонных ритмов и периодическими сигналами в хронопериодической системе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров В. В. Электрокинетические поля гидробионтов. Биоритмы локомоторной активности. Связь с геомагнетизмом / В. В. Александров // Биофизика. – 1995. – Т. 40, № 4. – С. 771–777.

2. Анисимов В. Н. Мелатонин: роль в организме, применение в клинике / В. Н. Анисимов. – СПб. : Система, 2007. – 40 с.
3. Бондаренко Л. А. Мелатонин и пролактин: суточные и сезонные ритмы / Л. А. Бондаренко, П. М. Песоцкая // Физиологический журнал. – 1987. – № 4. – С. 98–101.
4. Вернадский В. И. Пространство и время в неживой и живой природе / В. И. Вернадский // Философские мысли натуралиста. – М. : Наука, 1988. – С. 210–296.
5. Влияние приливных изменений силы тяжести на периодичность экспрессии рецепторов Т-лимфоцитов *in vitro* / Ф. Ю. Гариб, Г. И. Бортникова, А. П. Ризопулу, Х. А. Ташпулатов // Биофизика. – 1995. – Т. 40, № 4. – С. 834–838.
6. Гелиогеофизические факторы и их воздействие на циклические процессы в биосфере / Ф. И. Комаров, Т. К. Брус, С. И. Рапопорт [и др.]. – М. : ВИНТИ, 1989. – 174 с.
7. Губин Д. Г. Общие закономерности динамики хроноинфраструктуры физиологических показателей в онтогенезе человека : автореф. дис. ... д-ра мед. наук : спец. 03.00.13 «Физиология» / Д. Г. Губин. – М., 2002. – 33 с.
8. Деряпа Н. Р. Проблемы медицинской биоритмологии / Н. Р. Деряпа, М. А. Мошкин, В. С. Посный. – М. : Медицина, 1985. – 208 с.
9. Комаров Ф. И. Мелатонин: язвенная болезнь и сезоны / Ф. И. Комаров, С. И. Рапопорт, Н. К. Малиновская // Клиническая медицина. – 2003. – № 9. – С. 17–19.
10. Мелатонин в комплексном лечении больных сердечно-сосудистыми заболеваниями / Р. М. Заславская, А. Н. Шакирова, Г. В. Лилица, Э. А. Щербань. – М. : Медпрактика, 2005. – 320 с.
11. Семак И. В. Физиологические и биохимические механизмы регуляции циркадных ритмов / И. В. Семак, В. А. Кульчицкий // Труды Белорус. гос. ун-та. – Минск, 2007. – Ч. 1, Т. 2. – С. 17–37.
12. Физиологические адаптации крыс к воздействию света / Е. А. Хижин, В. А. Илюха, И. А. Виноградова [и др.] // Проблемы старения и долголетия. – 2012. – Т. 21. – Приложение. – С. 45–46.
13. Яхонтов В. В. Экология насекомых / В. В. Яхонтов. – 2-е изд. – М. : Высшая школа, 1969. – 488 с.
14. Arendt J. Melatonin and mammalian pineal gland / J. Arendt. – London : Chapman@Hall, 1995. – 127 p.
15. Arendt J. Melatonin: characteristics, concern and prospect / J. Arendt // J. Biol. Rhythms. – 2005. – Vol. 20. – P. 291–303.
16. Circadian sleep-wake rhythm disturbances in end-stage renal disease / В. С. Р. Koch, J. E. Nagtegaal, G. A. Kerkhof, P. M. ter Wee // Nature Reviews Nephrology. – 2009. – Vol. 5. – С. 407–416.
17. Phase-dependent responses of *Per1* and *Per2* genes to a light-stimulus in the suprachiasmatic nucleus of the rat / S. Miyake, Y. Summi, L. Yan [et al.] // Neurosci. Lett. – 2000. – Vol. 294, N 1. – P. 41–44.
18. The influence of light of different wavelengths on the methylating capacity of the pineal gland of male golden hamsters in relation to reproduction / J. Benthem, A. C. M. Steinen, M. C. M. Sommer [et al.] // J. Neural. Transmiss. – 1989. – Vol. 78, N 2. – P. 145–148.
19. Ultrastructure variations in the rat pineal gland after irradiation with coherent light / J. Correa, F. Sancher del Campo, M. Herrera, A. Puchades // Anat. Anz. – 1989. – Vol. 164, N 2. – P. 917–918.
20. Zylka M. J. Molecular analysis of mammalian timeless // M. J. Zylka, L. P. Shearman, J. D. Levine // Neuron. – 1998. – Vol. 21. – P. 1115–1122.

*Передплачуйте
і читайте
журнал*

ІНТЕГРАТИВНА АНТРОПОЛОГІЯ

У ВИПУСКАХ ЖУРНАЛУ:

**Передплата приймається
у будь-якому
передплатному пункті**

Передплатний індекс 08210

- ◆ Методологія інтегративних процесів
- ◆ Генетичні аспекти біології та медицини
- ◆ Патологічні стани і сучасні технології
- ◆ Філософські проблеми геронтології та гериатрії
- ◆ Дискусії