**Биологические ритмы**

Многие биологические процессы в природе протекают ритмично, т.е. разные состояния организма чередуются с достаточно четкой периодичностью. Примеры быстрых ритмов – сокращения сердца или дыхательные движения с периодом всего в несколько секунд. У других жизненно важных ритмов, например чередования бодрствования и сна, период составляет около суток. Если биологические ритмы синхронизированы с наступлением приливов и отливов (каждые 12,4 часа) или только одной из этих фаз (каждые 24,8 часа), их называют приливными. У лунных биологических ритмов период соответствует продолжительности лунного месяца, а у годичных – года. Сердечные сокращения и другие формы быстрой ритмичной активности, не коррелирующей с естественными изменениями в окружающей среде, обычно изучаются физиологией и в этой статье рассмотрены не будут.

Биологические ритмы интересны тем, что во многих случаях сохраняются даже при постоянстве условий среды. Такие ритмы называют эндогенными, т.е. «идущими изнутри»: хотя обычно они и коррелируют с ритмичными изменениями внешних условий, например чередованием дня и ночи, их нельзя считать прямой реакцией на эти изменения. Эндогенные биологические ритмы обнаружены у всех организмов, кроме бактерий. Внутренний механизм, поддерживающий эндогенный ритм, т.е. позволяющий организму не только чувствовать течение времени, но и измерять его промежутки, называется биологическими часами.

Работа биологических часов сейчас хорошо изучена, однако внутренние процессы, лежащие в ее основе, остаются загадкой. В 1950-х годах советский химик Б.Белоусов доказал, что даже в однородной смеси некоторые химические реакции могут периодически ускоряться и замедляться. Аналогичным образом, спиртовое брожение в дрожжевых клетках то активируется, то подавляется с периодичностью ок. 30 секунд. Каким-то образом эти клетки взаимодействуют друг с другом, так что их ритмы синхронизируются и вся дрожжевая суспензия дважды в минуту «пульсирует».

Считается, что такова природа всех биологических часов: химические реакции в каждой клетке организма протекают ритмично, клетки «подстраиваются» друг под друга, т.е. синхронизируют свою работу, и в результате пульсируют одновременно. Эти синхронизированные действия можно сравнить с периодическими колебаниями часового маятника.

Циркадианные ритмы. Большой интерес представляют биологические ритмы с периодом около суток. Они так и называются – околосуточными, циркадианными или циркадными – от лат. circa – около и dies – день.

Биологические процессы с циркадианной периодичностью весьма разнообразны. Например, три вида светящихся грибов усиливают и ослабляют свое свечение каждые 24 часа, даже если искусственно держать их при постоянном свете или в полной темноте. Ежесуточно изменяется свечение одноклеточной морской водоросли Gonyaulax. У высших растений в циркадианном ритме протекают различные метаболические процессы, в частности фотосинтез и дыхание. У черенков лимона с 24-часовой периодичностью колеблется интенсивность транспирации. Особенно наглядные примеры – ежесуточные движения листьев и раскрывания-закрывания цветков.

Разнообразные циркадианные ритмы известны и у животных. Примером может служить близкое к актиниям кишечнополостное – морское перо (Cavernularia obesa), представляющее собой колонию из множества крошечных полипов. Морское перо живет на песчаном мелководье, втягиваясь в песок днем и разворачиваясь по ночам, чтобы питаться фитопланктоном. Этот ритм сохраняется в лаборатории при неизменных условиях освещения.

Четко работают биологические часы у насекомых. Например, пчелы знают, когда раскрываются определенные цветки, и навещают их ежедневно в одно и то же время. Пчелы также быстро усваивают, в какое время им выставляют на пасеке сахарный сироп.

У человека не только сон, но и многие другие функции подчинены суточному ритму. Примеры тому – повышение и понижение кровяного давления и выделения калия и натрия почками, колебания времени рефлекса, потливости ладоней и т.д. Особенно заметны изменения температуры тела: ночью она примерно на 1 С ниже, чем днем. Биологические ритмы у человека формируются постепенно в ходе индивидуального развития. У новорожденного они довольно неустойчивы – периоды сна, питания и т.д. чередуются бессистемно. Регулярная смена периодов сна и бодрствования на основе 24–25 часового цикла начинает происходить только с 15-недельного возраста.

Корреляция и «настройка». Хотя биологические ритмы и эндогенны, они соответствуют изменениям внешних условий, в частности смене дня и ночи. Эта корреляция обусловлена т.н. «захватыванием». Например, циркадианные движения листьев у растений сохраняются в полной темноте лишь несколько суток, хотя другие цикличные процессы могут продолжать повторяться сотни раз несмотря на постоянство внешних условий. Когда выдерживаемые в темноте листья фасоли, наконец, прекратили расправляться и опускаться, достаточно короткой вспышки света, чтобы этот ритм восстановился и продержался еще несколько суток. У циркадианных ритмов животных и растений времязадающим стимулом обычно служит изменение освещенности – на рассвете и вечером. Если такой сигнал повторяется периодически и с частотой, близкой к свойственной данному эндогенному ритму, происходит точная синхронизация внутренних процессов организма с внешними условиями. Биологические часы «захватываются» окружающей периодичностью.

Изменяя наружный ритм по фазе, например включая свет на ночь и поддерживая днем темноту, можно «перевести» биологические часы так же, как обычные, хотя такая перестройка требует некоторого времени. Когда человек переезжает в другой часовой пояс, его ритм сна-бодрствования меняется со скоростью два-три часа в сутки, т.е. к разнице в 6 часов он приспосабливается только через два-три дня.

В определенных пределах можно перенастроить биологические часы и на цикл, отличающийся от 24 часов, т.е. заставить их идти с другой скоростью. Например, у людей, долгое время живших в пещерах с искусственным чередованием светлых и темных периодов, сумма которых существенно отличалась от 24 часов, ритм сна и других циркадианных функций подстраивался к новой продолжительности «суток», составлявшей от 22 до 27 часов, однако сильнее изменить его было уже невозможно. То же самое относится и к другим высшим организмам, хотя многие растения могут приспосабливаться к «суткам», продолжительность которых составляет целую часть обычных, например 12 или 8 часов.

Приливные и лунные ритмы. У прибрежных морских животных часто наблюдаются приливные ритмы, т.е. периодические изменения активности, синхронизированные с подъемом и спадом воды. Приливы обусловлены лунным притяжением, и в большинстве регионов планеты происходит два прилива и два отлива в течение лунных суток (периода времени между двумя последовательными восходами Луны.) Поскольку Луна движется вокруг Земли в том же направлении, что и наша планета вокруг собственной оси, лунные сутки примерно на 50 минут длиннее солнечных, т.е. приливы наступают каждые 12,4 часа. Такой же период у приливных ритмов. Например, рак-отшельник прячется от света в отлив и выходит из тени в прилив; с наступлением прилива устрицы приоткрывают свои раковины, разворачивают щупальцы актинии и т.п. Многие животные, в том числе некоторые рыбы, в прилив потребляют больше кислорода. С подъемом и спадом воды синхронизированы изменения окраски манящих крабов.

Многие приливные ритмы сохраняются, иногда в течение нескольких недель, даже если держать животных в аквариуме. Значит, по сути своей они эндогенные, хотя в природе «захватываются» и подкрепляются изменениями во внешней среде.

У некоторых морских животных размножение коррелирует с фазами Луны и происходит обычно один раз (реже – дважды) на протяжении лунного месяца. Польза такой периодичности для вида очевидна: если яйца и сперма выбрасываются в воду всеми особями одновременно, шансы на оплодотворение достаточно высоки. Этот ритм эндогенный и, как считается, задается «пересечением» 24-часового циркадианного ритма с приливным, период которого 12,4 или 24,8 часа. Такое «пересечение» (совпадение) происходят с интервалами 14–15 и 29–30 суток, что соответствует лунному циклу.

Лучше всего известен и, вероятно, наиболее заметен среди приливных и лунных ритмов тот, что связан с размножением груниона – морской рыбы, мечущей икру на пляжах Калифорнии. В течение каждого лунного месяца наблюдаются два особенно высоких – сизигийных – прилива, когда Луна находится на одной оси с Землей и Солнцем (между ними или с противоположной от светила стороны). Во время такого прилива грунион нерестится, закапывая икринки в песок у самого края воды. В течение двух недель они развиваются практически на суше, куда не могут добраться морские хищники. В следующий сизигийный прилив, когда вода покрывает буквально нашпигованный ими песок, из всех икринок за несколько секунд вылупляются мальки, тут же уплывающие в море. Очевидно, что такая стратегия размножения возможна, только если взрослые грунионы чувствуют время наступления сизигийных приливов.

Менструальный цикл у женщин длится четыре недели, хотя не обязательно синхронизирован с фазами луны. Тем не менее, как показывают эксперименты, и в этом случае можно говорить о лунном ритме. Сроки менструаций легко сдвинуть, использовав, например, специальную программу искусственного освещения; однако они будут наступать с периодичностью, очень близкой к 29,5 суток, т.е. к лунному месяцу.

Низкочастотные ритмы. Биологические ритмы с периодами, намного превышающими один месяц, трудно объяснить на основе биохимических флуктуаций, которыми, вероятно, обусловлены ритмы циркадианные, и механизм их пока неизвестен. Среди таких ритмов наиболее очевидны годичные. Если деревья умеренного пояса пересадить в тропики, они некоторое время будут сохранять цикличность цветения, сбрасывания листьев и периода покоя. Рано или поздно эта ритмичность нарушится, продолжительность фаз цикла будет все более неопределенной и в конечном итоге исчезнет синхронизация биологических циклов не только разных экземпляров одного и того же вида, но даже разных ветвей одного дерева.

В тропических областях, где условия среды практически постоянны в течение всего года, местным растениям и животным часто свойственны долговременные биологические ритмы с периодом, отличным от 12 месяцев. Например, цветение может наступать каждые 8 или 18 месяцев. По-видимому, годичный ритм – это адаптация к условиям умеренной зоны.

Значение биологических часов. Биологические часы полезны организму прежде всего потому, что позволяют ему приспосабливать свою активность к периодическим изменениям в окружающей среде. Например, краб, избегающий света во время отлива, автоматически будет искать убежище, которое защитит его от чаек и других хищников, добывающих пищу на обнажившемся из-под воды субстрате. Чувство времени, присущее пчелам, координирует их вылет за пыльцой и нектаром с периодом раскрывания цветков. Аналогичным образом, циркадианный ритм подсказывает глубоководным морским животным, когда наступает ночь и можно подняться ближе к поверхности, где больше пищи.

Кроме того, биологические часы позволяют многим животным находить направление, пользуясь астрономическими ориентирами. Это возможно, только если известно одновременно положение небесного тела и время суток. Например, в Северном полушарии солнце в полдень находится точно на юге. В другие часы, чтобы определить южное направление, надо, зная положение солнца, сделать угловую поправку, зависящую от местного времени. Используя свои биологические часы, некоторые птицы, рыбы и многие насекомые регулярно выполняют такие «расчеты».

Не приходится сомневаться, что перелетным птицам, чтобы находить дорогу к мелким островам в океане, требуются навигационные способности. Вероятно, они используют свои биологические часы для определения не только направления, но и географических координат.

Проблемы, связанные с навигацией, встают не только перед птицами. Регулярные длительные миграции совершают тюлени, киты, рыбы и даже бабочки.

Практическое применение биологических ритмов. Рост и цветение растений зависят от взаимодействия между их биологическими ритмами и изменениями средовых факторов. Например, цветение стимулируется главным образом продолжительностью светлого и темного периодов суток на определенных стадиях развития растения. Это позволяет отбирать культуры, пригодные для тех или иных широт и климатических условий, а также выводить новые сорта. В то же время известны успешные попытки изменения биологических ритмов растений в нужном направлении. Например, птицемлечник аравийский (Ornithogallum arabicum), цветущий обычно в марте, можно заставить распускаться под Рождество – в декабре.

С распространением дальних воздушных путешествий многие столкнулись с феноменом десинхронизации. Пассажир реактивного самолета, быстро пересекающий несколько часовых поясов, обычно испытывает чувство усталости и дискомфорта, связанное с «переводом» своих биологических часов на местное время. Сходная десинхронизация наблюдается у людей, переходящих из одной рабочей смены в другую. Большинство отрицательных эффектов обусловлено при этом присутствием в организме человека не одних, а многих биологических часов. Обычно это незаметно, поскольку все они «захватываются» одним и тем же суточным ритмом смены дня и ночи. Однако при сдвиге его по фазе скорость перенастройки различных эндогенных часов неодинакова. В результате сон наступает, когда температура тела, скорость выделения почками калия и другие процессы в организме еще соответствуют уровню бодрствования. Такое рассогласование функций в период адаптации к новому режиму ведет к повышенной утомляемости.

Накапливается все больше данных, свидетельствующих о том, что длительные периоды десинхронизации, например при частых перелетах из одного часового пояса в другой, вредны для здоровья, однако насколько велик этот вред, пока не ясно. Когда сдвига по фазе избежать нельзя, десинхронизацию можно свести к минимуму, правильно подобрав скорость наступления сдвига.

Биологические ритмы имеют очевидное значение для медицины. Хорошо известно, например, что восприимчивость организма к различным вредным воздействиям колеблется в зависимости от времени суток. В опытах по введению мышам бактериального токсина показано, что в полночь его смертельная доза выше, чем в полдень. Аналогичным образом изменяется чувствительность этих животных к алкоголю и рентгеновскому облучению. Восприимчивость человека тоже колеблется, однако в противофазе: его организм беззащитнее всего в полночь. Ночью смертность прооперированных больных втрое выше, чем днем. Это коррелирует с колебаниями температуры тела, которая у человека максимальна днем, а у мышей – ночью.

Такие наблюдения наводят на мысль, что лечебные процедуры следует согласовывать с ходом биологических часов, и определенные успехи здесь уже достигнуты. Трудность в том, что биологические ритмы человека, особенно больного, пока недостаточно исследованы. Известно, что при многих заболеваниях – от рака до эпилепсии – они нарушаются; яркий тому пример – непредсказуемые колебания температуры тела у больных. Пока биологические ритмы и их изменения как следует не изучены, использовать их на практике, очевидно, нельзя. К этому стоит добавить, что в некоторых случаях десинхронизация биологических ритмов может быть не только симптомом болезни, но и одной из ее причин.

**Список литературы**

Биологические ритмы, тт. 1–2. М., 1984