Биологические ритмы здоровья

Все живые существа на Земле - от растений до высших млекопитающих - подчиняются суточным ритмам. У человека в зависимости от времени суток циклически меняются физиологическое состояние, интеллектуальные возможности и даже настроение. Ученые доказали, что виной тому колебания концентраций гормонов в крови. В последние годы в науке о биоритмах, хронобиологии было сделано многое, чтобы установить механизм возникновения суточных гормональных циклов. Ученые обнаружили в головном мозге "циркадный центр", а в нем - так называемые "часовые гены" биологических ритмов здоровья.

Хронобиология - наука о суточных ритмах организма

В 1632 году английский естествоиспытатель Джон Врен в своем "Трактате о травах" ("Herbal Treatise") впервые описал дневные циклы тканевых жидкостей в организме человека, которые он, следуя терминоло гии Аристотеля, назвал "гуморы" (лат. *humor* - жидкость). Каждый из "приливов" тканевой жидкости, по мнению Врена, длился шесть часов. Гуморальный цикл начинался в девять часов вечера выделением первой гуморы желчи - "сhole" (греч. *cholе -* желчь) и продолжался до трех утра. Затем наступала фаза черной желчи - "melancholy" (греч. *melas* - черный, *chole* - желчь), за которой следовала флегма - "phlegma" (греч. *phlegma -* слизь, мокрота), и, наконец, четвертая гумора - кровь.

Конечно, соотнести гуморы с известными ныне физиологическими жидкостями и тканевыми секретами невозможно. Современная медицинская наука никакой связи физиологии с мистическими гуморами не признает. И все же описанные Вреном закономерности смены настроений, интеллектуальных возможностей и физического состояния имеют вполне научную основу. Наука, изучающая суточные ритмы организма, называется хронобиологией (греч. *chronos* - время). Ее основные понятия сформулиро вали выдающиеся немецкий и американский ученые профессора Юрген Ашофф и Колин Питтендриг, которых в начале 80-х годов прошлого века даже выдвигали на соискание Нобелевской премии. Но высшую научную награду они, к сожалению, так и не получили.

Главное понятие хронобиологии - дневные циклы, длительность которых периодична - около (лат. *circa*) дня (лат. *dies*). Поэтому сменяющие друг друга дневные циклы называются циркадными ритмами. Эти ритмы напрямую связаны с циклической сменой освещенности, то есть с вращением Земли вокруг своей оси. Они есть у всех живых существ на Земле: растений, микроорганизмов, беспозвоночных и позвоночных животных, вплоть до высших млекопитающих и человека.

Каждому из нас известен циркадный цикл "бодрствование - сон". В 1959 году Ашофф обнаружил закономерность, которую Питтендриг предложил назвать "правилом Ашоффа". Под этим названием оно вошло в хронобиологию и историю науки. Правило гласит: "У ночных животных активный период (бодрствование) более продолжителен при постоянном освещении, в то время как у дневных животных бодрствование более продолжительно при постоянной темноте". И действительно, как впоследствии установил Ашофф, при длительной изоляции человека или животных в темноте цикл "бодрствование - сон" удлиняется за счет увеличения продолжительности фазы бодрствования. Из правила Ашоффа следует, что именно свет определяет циркадные колебания организма.

Гормоны и биоритмы

В течение циркадного дня (бодрствования) наша физиология в основном настроена на переработку накопленных питательных веществ, чтобы получить энергию для активной дневной жизни. Напротив, во время циркадной ночи питательные вещества накапливаются, происходят восстановление и "починка" тканей. Как оказалось, эти изменения в интенсивности обмена веществ регулируются эндокринной системой, то есть гормонами. В том, как работает эндокринный механизм управления циркадными циклами, есть много общего с гуморальной теорией Врена.

Вечером, перед наступлением ночи, в кровь из так называемого верхнего мозгового придатка - эпифиза выделяется "гормон ночи" - мелатонин. Это удивительное вещество производится эпифизом только в темное время суток, и время его присутствия в крови прямо пропорционально длительности световой ночи. В ряде случаев бессонница у пожилых людей связана с недостаточностью секреции мелатонина эпифизом. Препараты мелатонина часто используют в качестве снотворных.

Мелатонин вызывает снижение температуры тела, кроме того, он регулирует продолжительность и смену фаз сна. Дело в том, что человеческий сон представляет собой чередование медленноволновой и парадоксальной фаз. Медленноволновый сон характеризуется низкочастотной активностью коры полушарий. Это - "сон без задних ног", время, когда мозг полностью отдыхает. Во время парадоксального сна частота колебаний электрической активности мозга повышается, и мы видим сны. Эта фаза близка к бодрствованию и служит как бы "трамплином" в пробуждение. Медленноволновая и парадоксальная фазы сменяют одна другую 4-5 раз за ночь, в такт изменениям концентрации мелатонина.

Наступление световой ночи сопровождается и другими гормональными изменениями: повышается выработка гормона роста и снижается выработка адренокортикотропного гормона (АКТГ) другим мозговым придатком - гипофизом. Гормон роста стимулирует анаболические процессы, например размножение клеток и накопление питательных веществ (гликогена) в печени. Не зря говорят: "Дети растут во сне". АКТГ вызывает выброс в кровь адреналина и других "гормонов стресса" (глюкокортикоидов) из коры надпочечников, поэтому снижение его уровня позволяет снять дневное возбуждение и мирно заснуть. В момент засыпания из гипофиза выделяются опиоидные гормоны, обладающие наркотическим действием, - эндорфины и энкефалины. Именно поэтому процесс погружения в сон сопровождается приятными ощущениями.

Перед пробуждением здоровый организм должен быть готов к активному бодрствованию, в это время кора надпочечников начинает вырабатывать возбуждающие нервную систему гормоны - глюкокортикоиды. Наиболее активный из них - кортизол, который приводит к повышению давления, учащению сердечных сокращений, повышению тонуса сосудов и снижению свертываемости крови. Вот почему клиническая статистика свидетельствует о том, что острые сердечные приступы и внутримозговые геморрагические инсульты в основном приходятся на раннее утро. Сейчас разрабатываются препараты, снижающие артериальное давление, которые смогут достигать пика концентрации в крови только к утру, предотвращая смертельно опасные приступы.

Почему некоторые люди встают "ни свет, ни заря", а другие не прочь поспать до полудня? Оказывается, известному феномену "сов и жаворонков" есть вполне научное объяснение, которое базируется на работах Жэми Зейцер из Исследовательского центра сна (Sleep Research Center) Станфордского университета в Калифорнии. Она установила, что минимальная концентрация кортизола в крови обычно приходится на середину ночного сна, а ее пик достигается перед пробуждением. У "жаворонков" максимум выброса кортизола происходит раньше, чем у большинства людей, - в 4-5 часов утра. Поэтому "жаворонки" более активны в утренние часы, но быстрее утомляются к вечеру. Их обычно рано начинает клонить ко сну, поскольку гормон сна - мелатонин поступает в кровь задолго до полуночи. У "сов" ситуация обратная: мелатонин выделяется позже, ближе к полуночи, а пик выброса кортизола сдвинут на 7-8 часов утра. Указанные временные рамки сугубо индивидуальны и могут варьировать в зависимости от выраженности утреннего ("жаворонки") или вечернего ("совы") хронотипов.

"Циркадный центр" находится в головном мозге

Что же это за орган, который управляет циркадными колебаниями концентрации гормонов в крови? На этот вопрос ученые долгое время не могли найти ответ. Но ни у кого из них не возникало сомнений, что "циркадный центр" должен находиться в головном мозге. Его существование предсказывали и основатели хронобиологии Ашофф и Питтендриг. Внимание физиологов привлекла давно известная анатомам структура головного мозга - супрахиазматическое ядро, расположенное над (лат. *super*) перекрестом (греч. *chiasmos*) зрительных нервов. Оно имеет сигарообразную форму и состоит, например, у грызунов всего из 10 000 нейронов, что очень немного. Другое же, близко расположенное от него, ядро, параветрикулярное, содержит сотни тысяч нейронов. Протяженность супрахиазматического ядра также невелика - не более половины миллиметра, а объем - 0,3 мм3.

В 1972 году двум группам американских исследователей удалось показать, что супрахиазматическое ядро и есть центр управления биологическими часами организма. Для этого они разрушили ядро в мозге мышей микрохирургическим путем. Роберт Мур и Виктор Эйхлер обнаружили, что у животных с нефункционирующим супрахиазматическим ядром пропадает цикличность выброса в кровь гормонов стресса - адреналина и глюкокортикоидов. Другая научная группа под руководством Фредерика Стефана и Ирвина Цукера изучала двигательную активность грызунов с удаленным "циркадным центром". Обычно мелкие грызуны после пробуждения все время находятся в движении. В лабораторных условиях для регистрации движения к колесу, в котором животное бежит на месте, подсоединяется кабель. Мышки и хомячки в колесе диаметром 30 см пробегают 15-20 км за день! По полученным данным строятся графики, которые называются актограммами. Оказалось, что разрушение супрахиазматического ядра приводит к исчезновению циркадной двигательной активности животных: периоды сна и бодрствования становятся у них хаотичными. Они перестают спать в течение циркадной ночи, то есть в светлое время суток, и бодрствовать циркадным днем, то есть с наступлением темноты.

Супрахиазматическое ядро - структура уникальная. Если ее удалить из мозга грызунов и поместить в "комфортные условия" с теплой питательной средой, насыщенной кислородом, то несколько месяцев в нейронах ядра будут циклически меняться частота и амплитуда поляризации мембраны, а также уровень выработки различных сигнальных молекул - нейротрансмиттеров, передающих нервный импульс с одной клетки на другую.

Что помогает супрахиазматическому ядру сохранять такую стабильную цикличность? Нейроны в нем очень плотно прилегают друг к другу, формируя большое количество межклеточных контактов (синапсов). Благодаря этому изменения электрической активности одного нейрона мгновенно передаются всем клеткам ядра, то есть происходит синхронизация деятельности клеточной популяции. Помимо этого, нейроны супрахиазматического ядра связаны особым видом контактов, которые называются щелевыми. Они представляют собой участки мембран соприкасающихся клеток, в которые встроены белковые трубочки, так называемые коннексины. По этим трубочкам из одной клетки в другую движутся потоки ионов, что также синхронизирует "работу" нейронов ядра. Убедительные доказательства такого механизма представил американский профессор Барри Коннорс на ежегодном съезде нейробиологов "Neuroscience-2004", прошедшим в октябре 2004 года в Сан-Диего (США).

По всей вероятности, супрахиазматическое ядро играет большую роль в защите организма от образования злокачественных опухолей. Доказательство этого в 2002 году продемонстрировали французские и британские исследователи под руководством профессоров Франсис Леви и Майкла Гастингса. Мышам с разрушенным супрахиазматическим ядром прививали раковые опухоли костной ткани (остеосаркома Глазго) и поджелудочной железы (аденокарцинома). Оказалось, что у мышей без "циркадного центра" скорость развития опухолей в 7 раз выше, чем у их обычных собратьев. На связь между нарушениями циркадной ритмики и онкологическими заболеваниями у человека указывают и эпидемиологические исследования. Они свидетельствуют о том, что частота развития рака груди у женщин, длительно работающих в ночную смену, по разным данным, до 60% выше, чем у женщин, работающих в дневное время суток.

Часовые гены

Уникальность супрахиазматического ядра еще и в том, что в его клетках работают так называемые часовые гены. Эти гены были впервые обнаружены у плодовой мушки дрозофилы в аналоге головного мозга позвоночных животных - головном ганглии, протоцеребруме. Часовые гены млекопитающих по своей нуклеотидной последовательности оказались очень похожи на гены дрозофилы. Выделяют два семейства часовых генов - периодические (*Пер1, 2, 3*) и криптохромные (*Кри1 и 2*). Продукты деятельности этих генов, Пер- и Кри-белки, обладают интересной особенностью. В цитоплазме нейронов они образуют между собой молекулярные комплексы, которые проникают в ядро и подавляют активацию часовых генов и, естественно, выработку соответствующих им белков. В результате концентрация Пер- и Кри-белков в цитоплазме клетки уменьшается, что снова приводит к "разблокированию" и активации генов, которые начинают производить новые порции белков. Так обеспечивается цикличность работы часовых генов. Предполагается, что часовые гены как бы настраивают биохимические процессы, происходящие в клетке, на работу в циркадном режиме, но то, как происходит синхронизация, пока непонятно.

Интересно, что у животных, из генома которых генно-инженерными методами исследователи удалили один из часовых генов *Пер 2*, спонтанно развиваются опухоли крови - лимфомы.

Световой день и биоритмы

Циркадные ритмы "придуманы" природой, чтобы приспособить организм к чередованию светлого и темного времени суток и поэтому не могут не быть связаны с восприятием света. Информация о световом дне поступает в супрахиазматическое ядро из светочувствительной оболочки (сетчатки) глаза. Световая информация от фоторецепторов сетчатки, палочек и колбочек по окончаниям ганглионарных клеток передается в супрахиазматическое ядро. Ганглионарные клетки не просто передают информацию в виде нервного импульса, они синтезируют светочувствительный фермент - меланопсин. Поэтому даже в условиях, когда палочки и колбочки не функционируют (например, при врожденной слепоте), эти клетки способны воспринимать световую, но не зрительную информацию и передавать ее в супрахиазматическое ядро.

Можно подумать, что в полной темноте никакой циркадной активности у супрахиазматического ядра наблюдаться не должно. Но это совсем не так: даже в отсутствие световой информации суточный цикл остается стабильным - изменяется лишь его продолжительность. В случае когда информация о свете в супрахиазматическое ядро не поступает, циркадный период у человека по сравнению с астрономическими сутками удлиняется. Чтобы доказать это, в 1962 году "отец хронобиологии" профессор Юрген Ашофф, о котором шла речь выше, на несколько дней поместил в абсолютно темную квартиру двух волонтеров - своих сыновей. Оказалось, что циклы "бодрствование - сон" после помещения людей в темноту растянулись на полчаса. Сон в полной темноте становится фрагментар ным, поверхностным, в нем доминирует медленноволновая фаза. Человек перестает ощущать сон как глубокое отключение, он как бы грезит наяву. Через 12 лет француз Мишель Сиффрэ повторил эти эксперимен ты на себе и пришел к аналогичным результатам. Интересно, что у ночных животных цикл в темноте, наоборот, сокращается и составляет 23,4 часа. Смысл таких сдвигов в циркадных ритмах до сих пор не вполне ясен.

Изменение длительности светового дня влияет на активность супрахиазматического ядра. Если животных, которых в течение нескольких недель содержали в стабильном режиме (12 часов при свете и 12 часов в темноте), затем помещали в другие световые циклы (например, 18 часов при свете и 6 часов в темноте), у них происходило нарушение периодичности активного бодрствования и сна. Подобное происходит и с человеком, когда изменяется освещенность.

Цикл "сон - бодрствование" у диких животных полностью совпадает с периодами светового дня. В современном человеческом обществе "24/7" (24 часа в сутках, 7 дней в неделе) несоответствие биологических ритмов реальному суточному циклу приводит к "циркадным стрессам", которые, в свою очередь, могут служить причиной развития многих заболеваний, включая депрессии, бессонницу, патологию сердечно-сосудистой системы и рак. Существует даже такое понятие, как сезонная аффективная болезнь - сезонная депрессия, связанная с уменьшением продолжительности светового дня зимой. Известно, что в северных странах, например в Скандинавии, где несоответствие длительно сти светового дня активному периоду особенно ощутимо, среди населения очень велика частота депрессий и суицидов.

При сезонной депрессии в крови больного повышается уровень основного гормона надпочечников - кортизола, который сильно угнетает иммунную систему. А сниженный иммунитет неминуемо ведет к повышенной восприимчивости к инфекционным болезням. Так что не исключено, что короткий световой день - одна из причин всплеска заболеваемости вирусными инфекциями в зимний период.

Суточные ритмы органов и тканей

На сегодняшний день установлено, что именно супрахиазматическое ядро посылает сигналы в центры мозга, ответственные за циклическую выработку гормонов-регуляторов суточной активности организма. Одним из таких регуляторных центров служит паравентрикулярное ядро гипоталамуса, откуда сигнал о "запуске" синтеза гормона роста или АКТГ передается в гипофиз. Так что супрахиазматическое ядро можно назвать "дирижером" циркадной активности организма. Но и другие клетки подчиняются своим циркадным ритмам. Известно, что в клетках сердца, печени, легких, поджелудочной железы, почек, мышечной и соединительной тканей работают часовые гены. Деятельность этих периферических систем подчинена своим собственным суточным ритмам, которые в целом совпадают с цикличностью супрахиазматического ядра, но сдвинуты во времени. Вопрос о том, каким образом "дирижер циркадного оркестра" управляет функционированием "оркестрантов", остается ключевой проблемой современной хронобиологии.

Циклично функционирующие органы довольно легко вывести из-под контроля супрахиазмати ческого ядра. В 2000-2004 годах вышла серия сенсационных работ швейцарской и американской исследовательских групп, руководимых Юли Шиблером и Майклом Менакером. В экспериментах, проведенных учеными, ночных грызунов кормили только в светлое время суток. Для мышей это так же противоестественн о, как для человека, которому давали бы возможность есть только ночью. В результате циркадная активность часовых генов во внутренних органах животных постепенно перестраивал ась полностью и переставала совпадать с циркадной ритмикой супрахиазматического ядра. Возвращение же к нормальным синхронным биоритмам происходило сразу после начала их кормления в обычное для них время бодрствования, то есть ночное время суток. Механизмы этого феномена пока неизвестны. Но одно ясно точно: вывести все тело из-под контроля супрахиазматического ядра просто - надо лишь кардинально изменить режим питания, начав обедать по ночам. Поэтому строгий режим приема пищи не пустой звук. Особенно важно следовать ему в детстве, поскольку биологические часы "заводятся" в самом раннем возрасте.

Сердце, как и все внутренние органы, тоже обладает собственной циркадной активностью. В искусственных условиях оно проявляет значительные циркадные колебания, что выражается в циклическом изменении его сократительной функции и уровня потребления кислорода. Биоритмы сердца совпадают с активностью "сердечных" часовых генов. В гипертрофированном сердце (в котором мышечная масса увеличена из-за разрастания клеток) колебания активности сердца и "сердечных" часовых генов исчезают. Поэтому не исключено и обратное: сбой в суточной активности клеток сердца может вызвать его гипертрофию с последующим развитием сердечной недостаточности. Так что нарушения режима дня и питания с большой вероятностью могут быть причиной сердечной патологии.

Суточным ритмам подчинены не только эндокринная система и внутренние органы, жизнедеятельность клеток в периферических тканях тоже идет по специфической циркадной программе. Эта область исследований только начинает развиваться, но уже накоплены интересные данные. Так, в клетках внутренних органов грызунов синтез новых молекул ДНК преимущественно приходится на начало циркадной ночи, то есть на утро, а деление клеток активно начинается в начале циркадного дня, то есть вечером. Циклически меняется интенсивность роста клеток слизистой оболочки рта человека. Что особенно важно, согласно суточным ритмам меняется и активность белков, отвечающих за размножение клеток, например топоизомеразы II a - белка, который часто служит "мишенью" действия химиотерапевтических препаратов. Данный факт имеет исключительное значение для лечения злокачественных опухолей. Как показывают клинические наблюдения, проведение химиотерапии в циркадный период, соответствующий пику выработки топоизомеразы, намного эффективнее, чем однократное или постоянное введение химиопрепаратов в произвольное время.

Ни у кого из ученых не вызывает сомнения, что циркадные ритмы - один из основополагающих биологических механизмов, благодаря которому за миллионы лет эволюции все обитатели Земли приспособились к световому суточному циклу. Хотя человек и является высокоприспособленным существом, что и позволило ему стать самым многочисленным видом среди млекопитающих, цивилизация неизбежно разрушает его биологический ритм. И в то время как растения и животные следуют природной циркадной ритмике, человеку приходится намного сложнее. Циркадные стрессы - неотъемлемая черта нашего времени, противостоять им крайне непросто. Однако в наших силах бережно относиться к "биологическим часам" здоровья, четко следуя режиму сна, бодрствования и питания.

Мы без труда замечаем ритмические изменения, происходящие в окружающем нас мире: весна, лето, осень и зима образуют привычный цикл; солнце всходит каждый день, движется по небу и садится; луна прибывает и убывает; в океане приливы чередуются с отливами. Задолго до того, как люди узнали о вращении Земли и движении планет вокруг Солнца, они наблюдали эти изменения, задумывались об их смысле, устраивали в их честь церемонии и праздники, приурочивали к ним свою каждодневную деятельность. Популярные в средневековой Европе «часословы» описывали различные виды сезонной и суточной активности и предлагали верующим для каждого случая специальные молитвы.

В организме тоже есть свои ритмы, многие из которых связаны с земными циклами и даже приспособлены к ним. Большинство ритмических изменений мы даже не замечаем - таковы, например, гормональные приливы и отливы, циклы быстрой и медленной активности мозга, циклические колебания температуры тела. Хотя нам мало что известно об отдельных исполнителях, мы определенно знаем, что роль дирижера, управляющего биологическими ритмами, в человеческом организме принадлежит мозгу.

Однако ритмы существуют и у организмов с менее развитым мозгом и даже совсем без мозга. На песчаных пляжах залива Кейп-Код встречается один вид золотистых водорослей. Во время прилива эти одноклеточные организмы находятся в песке, но как только начинается дневной отлив, водоросли продвигаются между песчинками и выбираются на солнце, чтобы подзарядить свой аппарат фотосинтеза. Незадолго до того как волны возвращающегося прилива накроют их, водоросли вновь уходят на безопасную глубину.

Разумеется, приливы не происходят каждый день в одно и то же время. Наши часы отражают 24-часовые солнечные сутки, а цикл приливов и отливов связан с лунными сутками, длина которых 24,8 ч. Поэтому если в понедельник водоросли атлантического побережья северо-востока Соединенных Штатов должны успеть зарыться в песок в 14 ч 1 мин, то во вторник - в 14 ч 57 мин, в среду - в 15 ч 55 мин и т.д.

Зависит ли поддержание столь сложного ритма у этих одноклеточных растений от их реакции на сигналы, поступающие из внешней среды? Чтобы выяснить это, представителей популяции водорослей перенесли с песчаного пляжа в лабораторию и поместили в сосуд, находившийся в условиях постоянного освещения. Приливов - или их имитации - в лаборатории тоже не было. Оказалось, что, несмотря на отсутствие показателей времени - дней и ночей, приливов и отливов, - водоросли упорно карабкались на поверхность, когда на их родном пляже начинался отлив, и вновь зарывались в песок незадолго до того, как подступала вода. Водоросли были настолько пунктуальны, что экспериментаторы всегда могли судить по ним об уровне воды на берегу океана, находившемся на расстоянии более 27 миль. Очевидно, что поведением водорослей управляли биологические часы, установленные по лунному времени.

Типы ритмов

Золотистые водоросли демонстрируют суточный ритм, хотя их сутки и составляют 24,8 ч. Подобные ритмы называются циркадианными (от латинских слов circa - около и dies - день) или околосуточными.

Цикл сна и бодрствования у человека, суточные колебания температуры тела, концентрации гормонов, мочеотделения, спады и подъемы умственной и физической работоспособности - все это примеры циркадианных ритмов.

Ритмы с периодом более суток называются инфрадианными (infra - меньше, т.е. цикл повторяется меньше одного раза в сутки). Некоторые грызуны, например, ежегодно впадают в зимнюю спячку; при этом температура тела у них падает, и они на протяжении нескольких месяцев пребывают в состоянии полного покоя. Этот годичный цикл относится к инфрадианным ритмам, так же как, например, менструальные циклы у женщин.

Ритмы с периодом меньше суток называются улътрадианными (ultra - сверх, т.е. частота больше одного раза в сутки). Цикличность фаз, чередующихся на протяжении 6-8-часового нормального сна у человека, - один из многих примеров подобных ритмов.

Интерес к биоритмам не ограничивается только стремлением узнать, как функционируют живые существа. Сведения о «приливах» и «отливах» тех иных продуктов, синтезируемых организмом, мог подсказать, например, какое время дня наибе благоприятно для приема определенных лекарств. Эксперименты на мышах показали, что чувствительность этих животных к токсичным веществам резко меняется на протяжении суток. Мыши активны ночью, и в это время они могут без последствий переносить такую дозу препарата, которая днем окажется смертельной или вызовет сильную реакцию. Как показали результаты одного исследования, из мышей, получавших бактериальный токсин в ранние вечерние часы, погибло 80%, а из животных, получавших такую же дозу среди ночи, - лишь 20% (Halberg, 1960). Далее, диагностика многих заболеваний связана с измерением концентрации некоторых веществ в крови или моче. Зная суточные колебания этих показателей, мы сможем поставить более точный диагноз.

Большинство исследований по биологическим ритмам проводилось на растениях, птицах, других животных (эксперименты на человеке допустимый лишь в том случае, если они не причиняют вреда, так что возможности здесь весьма ограниченны). Исследователи пытаются выяснить: какова функциональная организация ритма;2) где находятся структуры, задающие ритм («пейсмейкеры»), и каков физиологический механизм их действия;3) какие клеточные и биохимические механизмы обусловливают генерацию ритма в самих пейсмейкерах.

Изучение ритмов у живых организмов (кроме человека)

Более 250 лет назад французский астроном Жан-Жак д'Орту де Меран, заметив, что цветок гелиотропа раскрывается днем и закрывается ночью, решил проверить, обусловлено ли движение лепестков реакцией на свет и темноту. Он спрятал растение в темную комнату и начал наблюдать за ним. Оказалось, что цветок не только продолжал раскрываться и закрываться в отсутствие света, но его цикл в точности соответствовал смене дня и ночи. Астроном пришел к выводу, что ритмы растения контролируются каким-то внутренним механизмом.

Цветы с такой пунктуальностью ежедневно раскрывают и закрывают свои лепестки, что великий биолог Карл Линней спроектировал цветочные часы, состоящие из различных видов цветущих растений, которые распускались поочередно от 6 часов утра до 6 часов вечера. реакция цветка на свет - он раскрывается на свету и закрывается в темноте - называется - фототропизм.

Простые организмы

Водоросли, с такой поразительной регулярностью осуществляющие свои циклы на песчаных пляжах залива Кейп-Код, состоят всего лишь из одной клетки. Следовательно, механизм, ответственный за циркадианные ритмы их активности, должен находиться внутри клетки. Однако и по сей день все попытки идентифицировать (в анатомических или функциональных понятиях) пейсмейкер или хотя бы какую-то его часть не увенчались успехом. Водоросль подвергали воздействию высоких температур или потенциально разрушительных химикалий, но она упорно продолжала делать свое дело.

У другого одноклеточного организма - Gonyaulax - наблюдаются четыре различных циркадианных ритма, затрагивающих соответственно четыре функции: фотосинтез, люминесценцию, раздражимость, клеточное деление. Определяются ли эти ритмы одним и тем же пейсмейкером или четырьмя различными? Ответ на этот вопрос пока не получен. Даже после удаления клеточного ядра микрохирургическим способом ритмы сохраняются.

Один из хорошо изученных многоклеточных организмов - Aplysia califopnica, слизнеподобное существо, жизнь которого тесно связана с тихоокеанскими приливами (см. рис. 76). Аплизия - очень удобный объект для исследований, так как связи и функции ее крупных нейронов довольно легко поддаются выявлению. Феликс Штрумвассер обнаружил у некоторых нейронов наружного края глаза определенный ритм частоты импульсного разряда - она возрастает на свету и уменьшается в темноте. Если эти нейроны выделить, поместить в ванночку с морской водой и выдерживать в абсолютной темноте, то их импульсация останется такой же, как если бы они находились внутри живого организма. Очевидно, ритм этих нейронов, помогающий организму согласовывать суточные циклы питания и покоя со сменой дня и ночи, приливами и отливами, регулировался процессами, происходящими внутри самих нейронов. Но каковы эти процессы, пока еще, как и в случае с одноклеточной водорослью, не установлено, хотя ученые полагают, что существует какая-то связь между скоростью белкового синтеза в клетке и ее ритмом.