

Стационарное состояние
в биологических системах.
Устойчивое и неустойчивое
состояния.

Титова Надежда,
биомедицина

Состояние системы, при котором ее параметры не изменяются в течение длительного времени, но происходит обмен веществом и энергией с окружающей средой, называют стационарным. В стационарном состоянии открытой системы концентрация промежуточных продуктов не изменяется со временем, что достигается определенным соотношением различных физико-химических процессов, ответственных за распад и образование промежуточных соединений.

$$\frac{d_i S}{dt} = - \frac{d_e S}{dt}, \text{ тогда полное изменение энтропии равно } 0 \left(\frac{ds}{dt} = 0 \right).$$

Термодинамика открытых систем позволяет вскрыть еще одну причину целесообразности стационарного состояния для биологической системы, которая сформулирована в теореме Пригожина:

«В стационарном состоянии продукция энтропии имеет постоянное и минимальное из всех возможных значений, то есть»:

$$\frac{d_i S}{dt} \Rightarrow \min$$

Термодинамическое равновесие	Стационарное состояние
Отсутствие обмена с окружающей средой веществом и энергией	Непрерывный обмен с окружающей средой веществом и энергией
Энтропия системы постоянна и соответствует максимально возможному в данных условиях значению	Энтропия системы постоянна, но не равна максимально возможному в данных условиях значению.
Полное отсутствие в системе каких-либо градиентов	Наличие постоянных по величине градиентов
Не требуется затраты свободной энергии	Необходимы постоянные затраты энергии
Система не реакционноспособна и не совершает работу против внешних сил	В системе совершаются необратимые реакции, ее работоспособность постоянна и не равна нулю



Одной из важнейших характеристик биологических систем является устойчивость стационарных состояний. Устойчивое стационарное состояние характеризуется тем, что при отклонении системы от стационарного уровня в ней возникают силы, стремящиеся вернуть ее в первоначальное положение.

Внешние воздействия вызывают в неустойчивой стационарной системе нарастающие изменения, в результате которых система переходит или в устойчивое стационарное состояние (при дополнительной затрате энергии), или в состояние термодинамического равновесия.

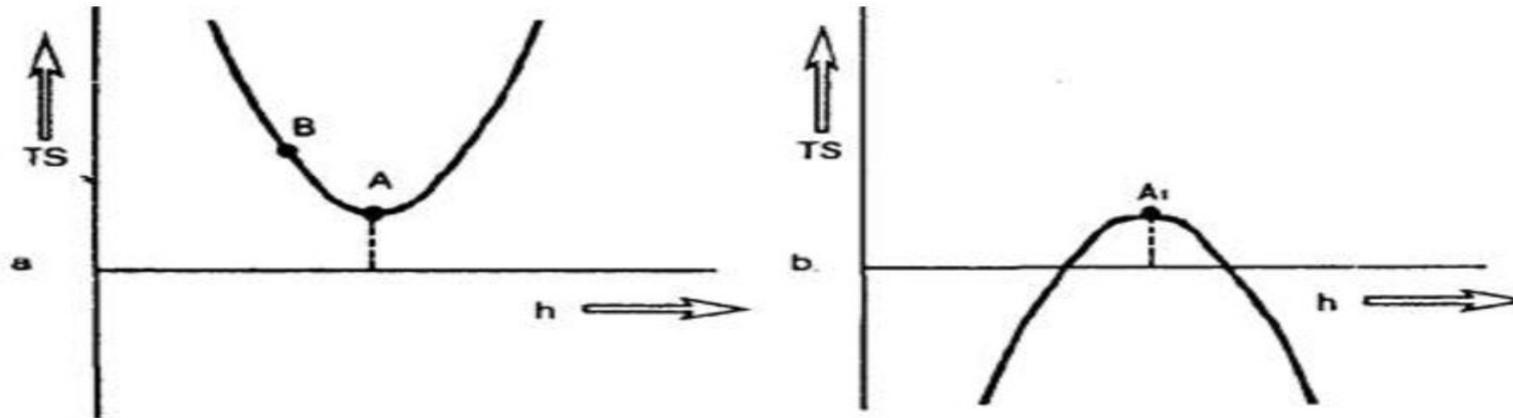


Диаграмма устойчивого (a) и неустойчивого (b) стационарных состояний в открытой системе

Если построить график зависимости $T \cdot dS/dt$ от h (где T - температура, dS/dt - скорость производства энтропии, h - какой-либо показатель стационарного уровня системы), то для устойчивого стационарного состояния график будет представлен в виде параболы, ветви которой направлены вверх. При неустойчивом стационарном состоянии ветви параболы направлены вниз. Точка A является наиболее устойчивой. Если же поместить шарик во внутрь параболы, то его положение наиболее устойчиво. Таким образом, устойчивое стационарное состояние характеризуется тем, что система не может самопроизвольно выйти из него за счет внутренних изменений (шарик из точки A не может скатиться в точку B самопроизвольно, для этого нужно совершить работу). Точка A_i - наиболее неустойчивое состояние системы, так как под влиянием любого внешнего толчка шарик, помещенный в эту точку, быстро удаляется от нее.



Величина pH определяется как показатель отрицательного десятичного логарифма концентрации ионов водорода.

- **Взаимосвязь pH, $p\text{CO}_2$ и бикарбоната описывается уравнением Гендерсона–Хассельбаха**

$$pH = pK + \lg \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_2] \cdot \alpha_{\text{CO}_2}},$$

где $pK = 6,10$

α_{CO_2} – константа растворимости углекислого газа = 0,03 ммоль/л/мм рт ст



- **БИКАРБОНАТНАЯ БУФЕРНАЯ СИСТЕМА**
7 -9 %
- **ФОСФАТНАЯ БУФЕРНАЯ СИСТЕМА**
1,5 – 2 %
- **БЕЛКОВАЯ БУФЕРНАЯ СИСТЕМА**
10 -14%
- **ГЕМОГЛОБИНОВАЯ БУФЕРНАЯ СИСТЕМА**
75-77%

ВНУТРИКЛЕТОЧНАЯ БУФЕРНАЯ СИСТЕМА

- **БЕЛКОВАЯ**
- **ФОСФАТНАЯ**
- **БИКАРБОНАТНАЯ**

Нормальное кислотно - основное равновесие в организме создается и поддерживается основными регуляторными механизмами:

буферные системы крови и тканей

физиологические системы

- респираторная регуляция CO_2 путем изменения частоты и глубины дыхания

- почечная регуляция концентрации ионов бикарбоната HCO_3 и выделения ионов H^+

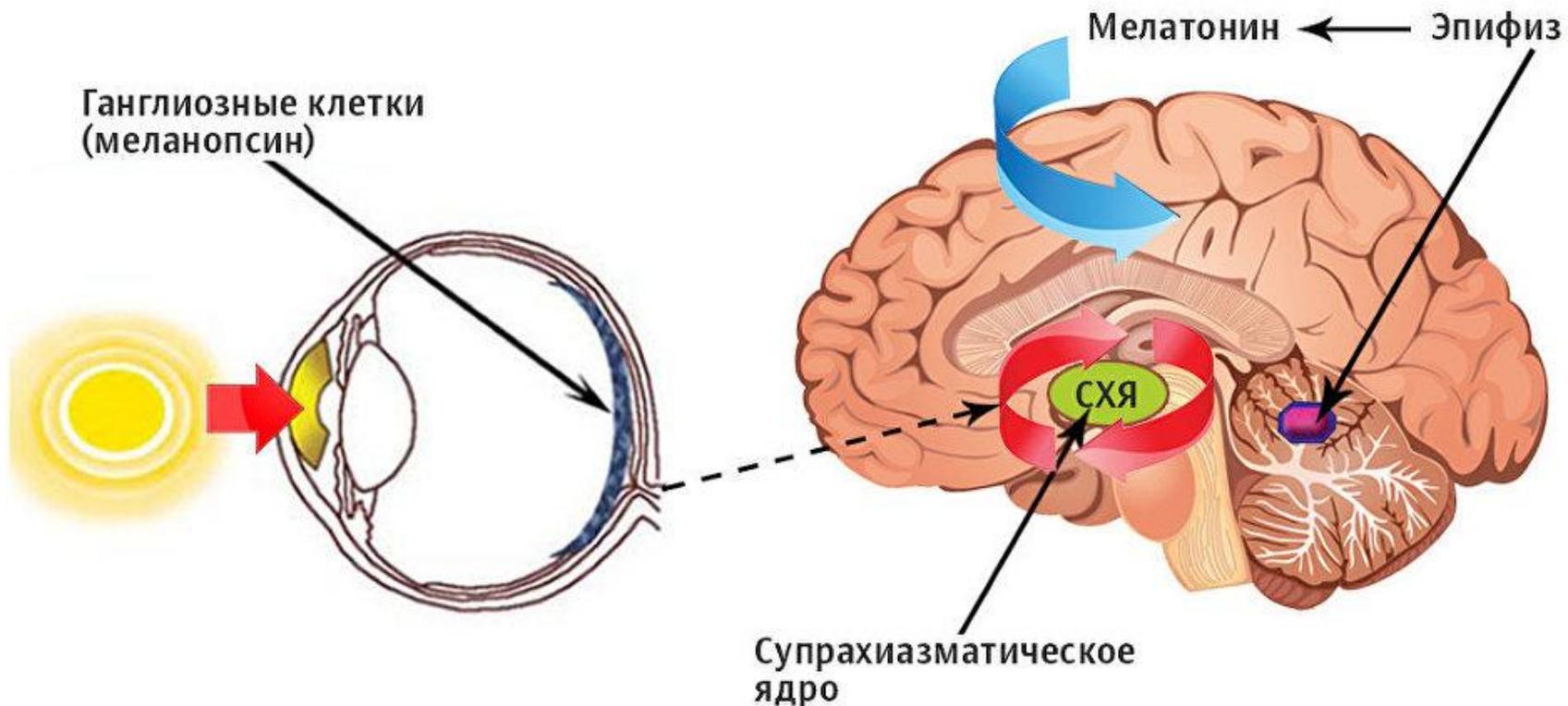
- желудочно-кишечный тракт (печень, желудок, кишечник, поджелудочная железа)

Циркадианный ритм — это эндогенный биологический ритм с периодом около 24 часов. Самый простой пример — это наш цикл «сон — бодрствование».

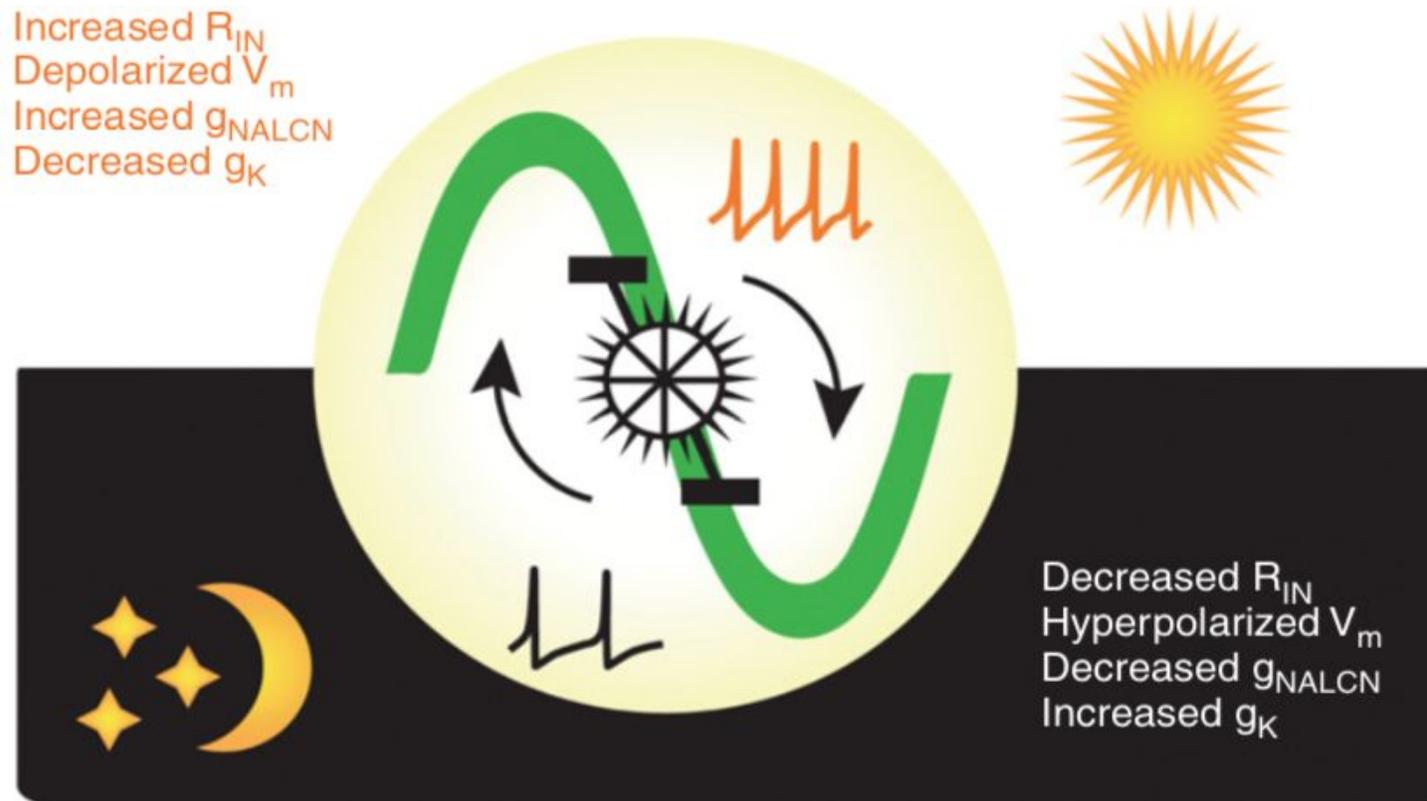
Главный плюс наличия часов состоит в том, что они позволяют организму предвидеть предсказуемые изменения в окружающей среде и заранее подстраивать физиологию и поведение под изменяющиеся условия.

Суточные ритмы свойственны почти всем формам жизни, включая одноклеточную жизнь и бактерии. В организме на молекулярном уровне работают циркадианные часы, которые управляют внутренним колебанием, период которого составляет около 24 часов. Это колебание подстраивает внутренний физиологический ритм под внешний 24-часовой цикл. Мы знаем, что заставляет работать внутренние часы: существует несколько важных часовых генов, вырабатывающих часовые белки. Они взаимодействуют между собой, образуя молекулярную петлю обратной связи, которая генерирует в часовых белках колебания с периодом, близким к 24 часам; затем белки сообщают клетке, когда что делать и какое сейчас





У млекопитающих контрольные часы находятся внутри мозга и называются супрахиазматическое ядро. Оно получает от глаз информацию об уровне света и в соответствии с ней подстраивает работу своих 50 000 нейронов, которые затем посылают множество сигналов, координируя работу остального организма. Чтобы генерировать циркадианный ритм, часовые клетки супрахиазматического ядра используют более 14 различных генов и их белковые продукты. Фоторецепторы регистрируют продолжительность фаз света и темноты в цикле и посылают сигналы молекулярному часовому механизму, чтобы подстроить внутренние часы под внешний мир.



Циркадная регуляция возбудимости нейронов супрахиазматического ядра. Схема, которая суммирует ежедневные изменения возбудимости нейронов SCN. Каждый нейрон обладает собственной способностью генерировать ежедневные колебания электрической активности. В течение дня или в «активном состоянии» проводимость по утечке Naр (g_{NALCN}) увеличивается, а общая проводимость по Kр (g_K) уменьшается, что приводит к увеличению входного сопротивления (R_{IN}) и более деполяризованному потенциалу мембраны (V_m). Ночью нейроны переходят в «нерабочее состояние» с более низким R_{IN} , гиперполяризованным V_m , повышенным g_K и более низким g_{NALCN} и частотой срабатывания. Таким образом, возбуждающее движение Na-токов в течение дня противостоит повышенным K-течениям в ночное время.