Гильфанов Н.М.

Кыргызско-Российский (Славянский) Университет

Медицинский факультет

Студенческая конференция-2005.

Кафедра нормальной физиологии.

Тема доклада:

«Организм как саморегулирующаяся система».

***Физиологической регуляцией*** называется активное управление функциями организма и его поведением для обеспечения требуемого обмена веществ, гомеостаза и оптимального уровня жизнедеятельности с целью приспособления к меняющимся условиям внешней среды.

Живой организм представляет собой, с одной стороны, сложнейшую многоэлементную ***систему,*** и совокупность иерархически связанных систем, с другой. Под системой вообще понимают комплекс взаимозависимых, но в то же время относительно самостоятельных элементов или процессов, объединяемых выполнением определенной функции. Так, организм в целом во всем многообразии его взаимосвязей с внешней средой и выполняемых функций как самостоятельное образование является живой системой. В то же время организм представляет собой сложную ***иерархию*** (т.е. взаимосвязь и взаимоподчиненность) систем, составляющих уровни его организации: молекулярный, субклеточный, клеточный, тканевой, органный, системный и организменный.

***Функцией*** биологических систем, в том числе и организма в целом, называют их деятельность, направленную на сохранение целостности и свойств системы. Эта деятельность (функция) имеет определенные количественные и качественные характеристики ***(параметры),*** меняющиеся для приспособления к условиям среды.

Изменение параметров функций происходит на каждом уровне организации или в любой иерархической системе за счет саморегуляции, т.е. внутренних (для системы) механизмов управления жизнедеятельностью.

Так, например, гладкая мышца кровеносных сосудов при растяжении повышает свой тонус; растяжение сердца притекающей кровью вызывает усиление его сокращения и изгнание большего объема крови (Закон Франка-Старлинга); уменьшение кровоснабжения ткани ведет к образованию в ней химических веществ, расширяющих артерии и восстанавливающих тем самым приток крови (т.н. явление рабочей гиперемии). Такие механизмы саморегуляции получили название ***местных.***

Для осуществления функций организма в целом необходима **взаимосвязь** и **взаимозависимость** функций составляющих его систем. Поэтому, наряду с внутренними механизмами саморегуляции систем в организме должны существовать и внешние для каждой из них механизмы регуляции, координирующие их деятельность. Например, для реализации функции перемещения в пространстве необходимо изменение деятельности не только скелетных мышц, но и кровообращения, дыхания, обмена веществ и т.п. Эти механизмы реализуются сформировавшейся в процессе эволюции специализированной системой регуляции.

Организм является ***самоорганизующейся системой.*** Организм сам выбирает и поддерживает значения огромного числа параметров, меняет их в зависимости от потребностей, что позволяет ему обеспечивать наиболее оптимальный характер функционирования. Так например, при низких температурах внешней среды организм снижает температуру поверхности тела (чтобы уменьшить теплоотдачу), повышает скорость окислительных процессов во внутренних органах и мышечную активность (чтобы увеличить теплообразование). Человек утепляет жилище, меняет одежду (для увеличения теплоизоли-рующих свойств), причем делает это даже заранее, опережающе реагируя на изменения внешней среды.

Основой физиологической регуляции является передача и переработка ***информации.*** Под термином "информация" следует понимать все, что несет в себе отражение фактов или событий, которые произошли, происходят или могут произойти. Информация содержит количественные характеристики определенных .параметров, поэтому для организма особую важность имеет ее объем. Одним из способов количественного выражения информации, принятых в информатике как науке и используемых в организме, является двоичная система;

Единицей количества информации в таком случае является бит, характеризующий информацию, получаемую при выборе одного из двух вероятных состояний, например, "да-нет", "все-ничего", "быть-не быть" и т.п. Материальным носителем информации является ***сигнал,*** в форме которого и переносится информация. Это могут быть как физические, так и химические сигналы, например, электрические импульсы, форма молекулы, концентрация молекул и т.д. Наглядным примером двоичной системы выражения информации в организме является процесс возбуждения клетки под влиянием раздражителя; передача возбуждения по нервам в виде серии электрических потенциалов (импульсов) с различиями лишь в числе импульсов в серии (пачке) и продолжительностью межимпульсных (межпачечных) интервалов. Таков один из способов кодирования информации в нервной системе. Могут быть и другие способы кодирования, например, генетический код структуры ДНК, структурное кодирование чужеродности белковых молекул.

Переработка информации осуществляется управляющей системой или ***системой регуляции.*** Она состоит из отдельных элементов, связанных информационными каналами (рис.1). Среди элементов выделяются: ***управляющее устройство*** (центральная нервная система); ***входные и выходные каналы связи*** (нервы, жидкости внутренней среды с информационными молекулами веществ); ***датчики, воспринимающие информацию на входе системы*** (сенсорные рецепторы); ***образования,*** располагающиеся на исполнительных органах (клетках) и ***воспринимающие информацию выходных каналов*** (клеточные рецепторы). Часть управляющего устройства, служащая для хранения информации, называется запоминающим устройством или аппаратом памяти. Характер переработки поступающих сигналов зависит от той информации, которая записана в аппарате памяти системы регуляции.

Вся система регуляции физиологических функций организма представляет собой иерархическую структуру трех уровней.

***Первый*** или ***низший*** уровень системы регуляции состоит из относительно автономных локальных систем, поддерживающих физиологические константы, задаваемые собственными метаболическими потребностями или более высокими уровнями регуляции. Так поддерживается, например, осмотическое давление крови, вентиляцион-но-перфузионные отношения в легких, тканевой кровоток. Для реализации механизмов этого уровня не обязательны сигналы из управляющего устройства центральной нервной системы, они обеспечиваются местными реакциями и носят поэтому название "местная саморегуляция".

***Второй*** уровень системы регуляции осуществляет приспособитель-ные реакции в связи с изменениями внутренней среды. На этом уровне задается величина физиологических параметров, которые в дальнейшем могут поддерживаться системами первого уровня. Здесь подбирается оптимальный режим работы физиологических систем для адаптации организма к внешней среде. Например, выполнение физической работы или даже подготовка к ней требует увеличенного снабжения мышц кислородом, что обеспечивается усилением внешнего дыхания, поступлением в кровь депонированных эритроцитов и повышением артериального давления.

***Третий*** или ***высший*** уровень системы регуляции обеспечивает выработку критериев оценки состояния внутренней и внешней среды, настройку режимов работы первого и второго уровней, гарантирующих в итоге изменение вегетативных функций и поведения организма с целью оптимизации его жизнедеятельности.

На всех трех уровнях структурной организации системы регуляции возможны два типа регуляции: по возмущению и по отклонению. ***Регуляция по возмущению*** (саморегуляция по входу) системы (рис.3.1) возможна только для открытых систем, имеющих связи с внешней средой. Этот тип регуляции включается в тех случаях, когда на живую систему оказывает воздействие внешний для нее фактор, меняющий условия ее существования.

Например, регуляция дыхания обычно обеспечивает оптимальную для метаболизма клеток взаимосвязь процессов газообмена в легких, транспорта газов кровью и газообмена крови с клетками в тканях. Физическая же нагрузка, не являющаяся частью структуры приведенной системы (внешняя для нее), представляет собой возмущающее воздействие и, поскольку физическая нагрузка ставит новые условия в виде повышенной потребности мышц в кислороде, реализуется регуляция по возмущению, меняющая интенсивность составляющих дыхание процессов.

В том же примере регуляция дыхания по возмущению возникает при изменении состава атмосферного воздуха или его давления. Она отличается опережающим характером реагирования, т.е. эффект возмущающего воздействия прогнозируется и организм заранее к нему готовится. Так, активация системы дыхания при физической нагрузке происходит до того, как усиленно работающие мышечные клетки начинают испытывать недостаток кислородного обеспечения и для того, чтобы не допустить их кислородного голодания.

***Регуляция по отклонению*** (саморегуляция по выходу системы) обеспечивается сравнением имеющихся параметров реакции физиологических систем с требующимися в конкретных условиях, определением степени рассогласования между ними и включением исполнительных устройств для устранения этого рассогласования. Частным примером регуляции по отклонению является поддержание физиологических констант внутренней среды. Стоит только отклониться от заданного уровня и повыситься в крови напряжению углекислого газа из- за недостаточного его удаления через легкие или повышенного образования в тканях, как начнут реализовываться ре-гуляторные механизмы. Речь идет о комплексе реакций первого, второго и третьего уровней, необходимых для устранения этого сдвига: образование углекислоты и бикарбоната натрия, связывание водородных ионов буферными системами, повышение выведения протонов через почки, активация дыхания для выведения углекислого газа во внешнюю среду.

Регуляция по отклонению требует наличия канала связи между выходом системы регуляции и ее центральным аппаратом управления (рис.3.1) и даже между выходом и входом системы регуляции. Этот канал получил название ***обратной связи.*** По сути, обратная связь есть процесс влияния результата действия на причину и механизм этого действия. Именно обратная связь позволяет регуляции по отклонению работать в двух режимах: ***компенсационном*** и ***слежения.*** Компенсационный режим обеспечивает быструю корректировку рассогласования реального и оптимального состояния физиологических систем при внезапных влияниях среды, т.е. оптимизирует реакции организма. При режиме слежения регуляция осуществляется по заранее заданным программам, а обратная связь контролирует соответствие параметров деятельности физиологической системы заданной программе. Если возникает отклонение — реализуется компенсационный режим.

Эффект обратной связи всегда запаздывает, т.к. она включает компенсационный режим уже после того как произошло рассогласование. Поэтому в центральном аппарате управления системы регуляции обычно заложен еще один механизм контроля, позволяющий получать информацию не об уже полученных параметрах деятельности, а осуществляющий сравнение сигналов, посылаемых к исполнительным устройствам, с сигналами, требуемыми для заданной программы. Этот механизм контроля свойственен третьему уровню системы регуляции и осуществляется центральной нервной системой.

По конечному эффекту регуляции обратная связь может быть положительной и отрицательной.

***Положительная обратная связь*** означает, что выходной сигнал системы регуляции усиливает входной, активация какой-либо функции вызывает усиление механизмов регуляции еще больше ее активирующих. Такая обратная связь усиливает процессы жизнедеятельности. Например, прием пищи и поступление ее 'в желудок усиливают отделение желудочного сока, необходимого для гидролиза веществ. Появляющиеся в желудке и частично всасывающиеся в кровь продукты гидролиза в свою очередь стимулируют сокоотделение, что ускоряет и усиливает дальнейшее переваривание пищи. Однако положительная обратная связь часто приводит систему в неустойчивое состояние, способствует формированию "порочных кругов", лежащих в основе многих патологических процессов в организме.

***Отрицательная обратная связь*** означает, что выходной сигнал уменьшает входной, активация какой-либо функции подавляет механизмы регуляции, усиливающие эту функцию. Отрицательные обратные связи способствуют сохранению устойчивого, стационарного состояния системы. Благодаря им, возникающее отклонение регулируемого параметра уменьшается и система возвращается к первоначальному состоянию. Например, под влиянием паратирина (гормона околощитовидных желез) в крови возрастает содержание ионизированного кальция. Повышенный уровень катиона тормозит секрецию паратирина, усиливает поступление в кровь кальцитонина (гормона щитовидной железы), под влиянием которого уровень кальция снижается и его содержание в крови нормализуется.

Отрицательные обратные связи способствуют сохранению стабильности физиологических параметров внутренней среды при возмущающих воздействиях внешней среды, т.е. поддерживают гомеостазис. Они работают и в обратном направлении, т.е. при уменьшении параметров включают системы регуляции повышающие их и тем самым обеспечивающие восстановление гомеостазиса.

Описанные особенности регуляции жизнедеятельности способствуют надежности живых систем.

***Надежностью биологической системы*** называют её способность сохранять целостность и выполнять свойственные ей функции в течение определенного времени, составляющего, как правило, продолжительность жизни. Свойство надежности обеспечивается рядом принципов:

***1) принцип избыточности*** — обусловлен наличием большего, чем требуется для реализации функции числа элементов, например, множества нервных клеток и связей между ними (структурная избыточность), множества каналов передачи информации, излишнего ее объема (информационная избыточность) и т.п.;

***2) принцип резервирования функции*** — обеспечивается наличием в системе элементов, способных переходить из состояния покоя к деятельности. Это происходит, например, при необходимости повысить интенсивность функционирования, для чего вовлекаются резервные элементы. Так, при спокойном дыхании функционируют (вентилируются) не все альвеолы легких, а при усилении дыхания включаются резервные; в работающей мышце открываются нефункционирующие в покое капилляры. Приведенный вариант реализации принципа резервирования ведет к увеличению числа функционирующих в системе элементов. Особое значение приобретает наличие резервных элементов при повреждении или отказе части действующих структур. При этом вовлечение резервных элементов обеспечивает сохранение функции;

***3) принцип периодичности функционирования*** обеспечивает переменную структуру системы и в состоянии физиологического покоя. Так, в легких постоянно происходит смена вентилируемых альвеол, в почках — функционирующих нефронов, в мозге — возбуждающихся нервных клеток центра и т.д. Периодичность функционирования "дежурных" и "покоящихся" структур обеспечивает защитную роль состояния покоя для всех элементов постоянно действующей системы;

***4)*** ***принцип взаимозаменяемости и замещения функций*** — обеспечивает возможность перестройки функциональных свойств элементов системы, что способствует сохранению функции в условиях отказа или повреждения других элементов. Для центральной нервной системы это проявляется в пластичности мозга, т.е. изменении эффективности и направленности связей между нейронами, способствующей обучению или восстановлению функции после повреждения. Примером замещения функций может являться изменение дыхания, деятельности почек при сдвигах рН крови и недостаточной эффективности буферных систем;

***5) принцип дублирования***, связан, например, с наличием в организме парных органов (легкие, почки). В системах регулирования этот принцип проявляется не только наличием одинаковых структурных элементов — параллельным расположением в нерве большого числа одинаковых нервных волокон, существованием многочисленных клеток или многоклеточных структур с одинаковой функцией (нейроны в мозге, нефроны в почке, тканевые капилляры). Он также обеспечивает одинаковый эффект разными путями регуляции (симпатический и парасимпатический пути регуляции функций сердца, множество сахаррегулирующих гормонов и т.п.). Многоконтурность в системах регуляции физиологических параметров — один из основных способов реализации дублирования;

***6) принцип смещения в ряду сопряженных функций*** обеспечивает достижение приспособительного результата при нарушении одной из функций за счет активации другой. Например, при нарушении внешнего дыхания и поступления кислорода в кровь активируется образование эритроцитов, изменяются функции кровообращения, вследствие чего доставка кислорода к тканям не страдает;

***7) принцип усиления***, существующий в системах регуляции, обеспечивает их энергетическую экономичность и в конечном счете также способствует надежности. Для получения мощного ре-гуляторного эффекта совсем не обязательно посылать столь же большое количество сигналов по информационным каналам. Так, весьма небольшое количество молекул гормона может вызвать существенное изменение функции. Изменение лишь одной аминокислоты в детер-минантной группе белка может придать ей чужеродность, а для иммунного ответа необходимо очень малое количество чужеродных молекул.

Надежность биологических систем обеспечивается и способностью к увеличению массы элементов, испытывающих постоянные рабочие нагрузки (гипертрофия), и регенеративными процессами, восстанавливающими структуру при гибели клеток. Для организма в целом важнейшим способом повышения надежности является ***приспособи-тельное поведение.***

Необходимым свойством живой системы, влияющим на эффективность механизмов регуляции, является реактивность. ***Реактивность —*** это способность живой системы в большей или меньшей мере, так или иначе отвечать (реагировать) изменениями обмена веществ и функции на раздражители внешней или внутренней среды. Являясь одним из основных свойств, присущих всем уровням организации живой системы, реактивность зависит от функционального состояния реагирующего субстрата. Поэтому характер ответной реакции любой живой системы определяется не только качественными и количественными характеристиками раздражителя, но и реактивностью самой системы. Соответственно, эффекты регуляторных сигналов (нервных импульсов, молекул химических веществ) зависят не только от характеристик этих сигналов, но и от реактивности регулируемого объекта, т.е. эффектора.

Одно из проявлений свойства реактивности получило название правила исходного состояния, согласно которому величина и направленность эффекта регуляторного сигнала зависит от особенностей метаболизма и функции, имевшихся в регулируемой системе перед действием этого сигнала. Сущность этого правила проявляется в следующем. Если функция клетки, ткани, органа или физиологической системы, либо метаболические пути находятся в активированном состоянии, то на стимулирующий регуляторный сигнал отмечается или слабый эффект, или отсутствие эффекта, или даже противоположный эффект, а регулятор подавляющего действия, напротив, вызывает максимально возможный эффект. Если же в исходном состоянии функция или метаболизм снижены, то стимулирующий регулятор вызывает максимальный эффект, а действие подавляющего регулятора ослаблено или даже приводит к стимуляции эффектора.

Механизмы регуляции жизнедеятельности организма принято делить на ***нервные*** и ***гуморальные.*** Первые используют для передачи и переработки информации структуры нервной системы (нейроны, нервные волокна) и импульсы электрических потенциалов, вторые — внутреннюю среду и молекулы химических веществ.

***Нервная регуляция*** обеспечивает быструю и направленную передачу сигналов, которые в виде нервных импульсов по соответствующим нервным проводникам поступают к определенному адресату —объекту регуляции. Быстрая передача сигналов (до 80-120 м/с) без затухания и потери энергии обусловлена свойствами проводящих возбуждение структур, преимущественно состоянием их мембран. Нервной регуляции подлежат как соматические (деятельность скелетной мускулатуры), так и вегетативные (деятельность внутренних органов) функции. Это универсальное значение нервной регуляции жизнедеятельности и физиологических функций было положено в основу концепции ***нервизма,*** рассматривающей целостность организма как результат деятельности нервной системы. Однако абсолютизация этой концепции до теории физиологии не оставляет места для многообразия уровней и связей в системе регуляции жизнедеятельности механизмов интеграции функций. Элементарный и основной принцип нервной регуляции — ***рефлекс.***

***Гуморальная регуляция*** представляет собой способ передачи регулирующей информации к эффекторам через жидкую внутреннюю среду организма с помощью молекул химических веществ, выделяемых клетками или специализированными тканями и органами. Этот вид регуляции жизнедеятельности может обеспечивать как относительно автономный местный обмен информацией об особенностях метаболизма и функции клеток и тканей, так и системный эфферентный канал информационной связи, находящийся в большей или меньшей зависимости от нервных процессов восприятия и переработки информации о состоянии внешней и внутренней среды. Соответственно, гуморальную регуляцию подразделяют на ***местную,*** малоспециализированную саморегуляцию, и высокоспециализирован-ную ***систему гормональной регуляции,*** обеспечивающую генерализо-ванные эффекты с помощью ***гормонов.*** Местная гуморальная регуляция (тканевая саморегуляция) практически не управляется нервной системой, тогда как система гормональной регуляции составляет часть единой нейро-гуморальной системы.

Деление механизмов регуляции жизнедеятельности организма на нервные и гуморальные весьма условно и может использоваться только для аналитических целей как способ изучения. На самом деле, нервные и гуморальные механизмы регуляции неразделимы.

Во-первых, информация о состоянии внешней и внутренней среды воспринимается почти всегда элементами нервной системы ***(рецепторы),*** обрабатывается в нервной системе, где может трансформироваться в сигналы исполнительных устройств либо нервной, либо гуморальной природы. Следовательно, для второго и третьего уровней системы регуляции физиологических функций управляющим устройством является, как правило, нервная система.

Во-вторых, сигналы, поступающие по управляющим каналам нервной системы передаются в местах окончания нервных проводников в виде химических молекул-посредников, поступающих в микроокружение клеток, т.е. гуморальным путем. А специализированные для гуморальной регуляции железы внутренней секреции управляются нервной системой.

Таким образом, следует говорить о единой ***нейро-гуморальной системе*** регуляции физиологических функций.

**Литература:**

1. «Основы физиологии человека». Учебник для высших учебных заведений, в 2-х томах, под редакцией Б.И. Ткаченко. СПб., 1994. Том 1, стр.86-94.
2. «Физиология человека». В 4-х томах, пер. с англ.. Под редакцией Р.Шмидта и Г.Тевса. М., «Мир», 1985. Том 1, стр 250-252.
3. «Введение в психофизиологию: учебное пособие по курсу: «Общая и возрастная психофизиология», Т.М. Марютина, О.Ю. Ермолаев, М., «Флинта», 1997. Стр.12-24.
4. «Гомеостаз», сборник, под ред. П.Д. Горизонтова. М., «Медицина», 1976. Стр.12-23.
5. «Гомеостатика живых, технических, социальных и экологических систем». Горский Ю.М., Астафьев В.И., Казначеев В.П. и др.. Новосибирск, «Наука», 1990. Стр.9-14, 20-23.

**Рис.1.** **Блок-схема системы регуляции**. Двойные рамки и стрелки — основные элементы, одинарные рамки и стрелки — звенья регуляции по возмущению и отклонению.

