



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Л. В. Капилевич, Е. Ю. Дьякова, Е. В. Кошельская, В. И. Андреев

БИОХИМИЯ ЧЕЛОВЕКА

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ ВУЗОВ

*Рекомендовано УМО по специальностям педагогического образования
в качестве учебного пособия для студентов
высших учебных заведений, обучающихся по специальности
050720.65 «Физическая культура»*

**Книга доступна в электронной библиотечной системе
biblio-online.ru**

Москва ■ Юрайт ■ 2016

УДК 796.01:577.1(075.8)

ББК 75.0я73

К20

Авторы:

Капилевич Леонид Владимирович — доктор медицинских наук, профессор кафедры спортивных дисциплин Института социально-гуманитарных технологий Томского политехнического университета;

Дьякова Елена Юрьевна — доктор медицинских наук;

Кошельская Елена Владимировна — кандидат медицинских наук, старший преподаватель кафедры спортивных дисциплин Института социально-гуманитарных технологий Томского политехнического университета;

Андреев Владимир Игоревич — доктор педагогических наук, профессор, заведующий кафедрой физического воспитания Института социально-гуманитарных технологий Томского политехнического университета.

Рецензенты:

Кузьменко Д. И. — доктор биологических наук, профессор Сибирского государственного медицинского университета;

Ласукова Т. В. — доктор медицинских наук, профессор Томского государственного педагогического университета.

Капилевич, Л. В.

К20 Биохимия человека : учеб. пособие для вузов / Л. В. Капилевич, Е. Ю. Дьякова, Е. В. Кошельская, В. И. Андреев. — М. : Издательство Юрайт, 2016. — 151 с. — Серия : Университеты России.

ISBN 978-5-9916-7061-6

Серия «Университеты России» позволит высшим учебным заведениям нашей страны использовать в образовательном процессе учебники и учебные пособия по различным дисциплинам, подготовленные преподавателями лучших университетов России и впервые опубликованные в издательствах университетов. Все представленные в этой серии учебники прошли экспертную оценку учебно-методического отдела издательства и публикуются в оригинальной редакции.

В пособии излагаются основные сведения по биохимии спорта: задачи и методы данной науки, механизмы обмена веществ и энергии, роль отдельных компонентов пищи в обмене веществ. Особое внимание уделяется проблеме питания спортсменов. Отдельный раздел посвящен спортивной фармакологии — допингам и опасности их применения, а также препаратам, разрешенным к применению в спорте.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по педагогическим специальностям в области физической культуры и спорта.

УДК 796.01:577.1(075.8)

ББК 75.0я73



Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав. Правовую поддержку издательства обеспечивает юридическая компания «Дельфи».

© Капилевич Л. В., Дьякова Е. Ю.,
Кошельская Е. В., Андреев В. И., 2011
© ООО «Издательство Юрайт», 2016

ISBN 978-5-9916-7061-6

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
Часть 1 СПОРТИВНАЯ БИОХИМИЯ	6
Химический состав организма	6
Белки.....	6
Нуклеиновые кислоты	10
Углеводы.....	12
Липиды.....	14
Общая характеристика обмена веществ	15
Пищеварение	15
Метаболизм.....	15
Витамины.....	17
Гормоны	22
Биохимия крови.....	28
Биохимия почек и мочи	35
Биохимия мышц, мышечного сокращения и расслабления	41
Строение мышечных клеток.....	41
Энергетика мышечной деятельности.....	45
Пути образования АТФ	46
Количественные критерии путей ресинтеза АТФ.....	48
Биохимические сдвиги в организме при мышечной работе	52
Молекулярные механизмы утомления, восстановления и адаптации к физической работе	56
Развитие охранительного (запредельного) торможения.....	56
Механизмы восстановления после мышечной работы.....	58
Биохимические закономерности адаптации к мышечной работе.....	61
Биохимические основы спортивной работоспособности	64
Биохимические основы питания.....	69
Особенности питания спортсменов	74
Часть 2 ОСНОВЫ СПОРТИВНОЙ ФАРМАКОЛОГИИ.....	79
Основные задачи спортивной фармакологии	79
Недопинговые фармакологические средства.....	82
Адаптогены как перспективные биологически активные вещества.....	82

Препараты пластического и энергетического действия	89
Ноотропы	92
Антиоксиданты и антигипоксанты	93
Иммуномодуляторы	96
Витамины и витаминные комплексы	96
Биологически активные добавки к пище	99
Гели, мази, кремы, растирки	103
Использование лекарственных средств для ускорения восстановления спортсменов, лечения и профилактики состояний перенапряжения различных систем организма	106
Синдром перенапряжения центральной нервной системы (ЦНС)	109
Синдром перенапряжения сердечно-сосудистой системы	109
Синдром перенапряжения печени (печеночно-болевой)	110
Синдром перенапряжения нервно-мышечного аппарата (мышечно-болевой)	110
Фармакологические средства	
на различных этапах подготовки спортсменов	112
Восстановительный период	114
Подготовительный период (базовый этап подготовки)	115
Предсоревновательный период подготовки	116
Соревновательный период	117
Коррекция состояния спортсменов при перемещениях	118
Допинги	121
Применение допингов	124
Виды спорта и допинги	132
Допинг-контроль: организация, порядок проведения	136
Санкции к спортсменам, уличенным в применении допинга	140
Терапевтическое использование запрещенных субстанций	141
Острые отравления допингами	142
Генетический допинг	144
Правовые аспекты применения допинга	146
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	150
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	151

ВВЕДЕНИЕ

Биохимия – наука, изучающая химическую природу веществ, входящих в состав живых организмов, и химические процессы, лежащие в основе их жизнедеятельности.

Задачи биохимии:

1. Изучение химического состава живого организма, строения и свойств молекул.
2. Изучение обмена веществ.
3. Изучение влияния на организм разнообразных физических нагрузок.

В целом раздел биохимии, занимающийся решением третьей задачи, называется «Функциональная, или частная, биохимия».

Направлением функциональной биохимии, исследующим влияние физических упражнений на организм спортсмена, является «Спортивная биохимия».

Значение биохимии:

- дает представление о химическом строении организма и о химических процессах, лежащих в основе жизнедеятельности;
- описывает особенности обмена веществ во время физической работы и отдыха, эти закономерности необходимы для рационального построения тренировочного процесса, для установления оптимальных сроков восстановления;
- используя простейшие биохимические исследования, можно оценить соответствие физических нагрузок функциональному состоянию организма спортсменов, выявлять признаки перетренированности;
- знание закономерностей биохимических процессов, протекающих при мышечной работе и при восстановлении, лежит в основе разработки новых методов и средств повышения спортивной работоспособности, развития скоростно-силовых качеств и выносливости, ускорения восстановления после тренировки.

ЧАСТЬ 1

СПОРТИВНАЯ БИОХИМИЯ

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ОРГАНИЗМА

Организм человека имеет следующий химический состав: вода – 60–65 %, органические соединения – 30–32 %, минеральные вещества – 4 %.

Наибольшее значение для живых организмов имеют органические соединения. Важнейшими классами органических соединений, входящих в живые организмы, являются белки, углеводы, липиды и нуклеиновые кислоты.

Белки

Белки выполняют в организме очень важные функции: ферментативный катализ, транспорт и накопление, сокращение и движение, иммунная защита, передача информации в клетку, регуляция метаболизма, механическая опора, энергетическая.

Строение белков

Белки – это высокомолекулярные соединения (полимеры), состоящие из аминокислот – мономерных звеньев, соединенных между собой пептидными связями. Все 20 аминокислот, встречающиеся в белках, это аминокислоты, общим признаком которых является наличие аминогруппы NH_2 и карбоксильной группы COOH . Аминокислоты отличаются друг от друга структурой группы R и, следовательно, свойствами. Все аминокислоты можно сгруппировать на основе полярности R -групп, т. е. их способности взаимодействовать с водой при биологических значениях pH .

Пептидные связи образуются при взаимодействии аминогруппы одной аминокислоты с карбоксильной группой другой аминокислоты: пептидная связь – это амидная ковалентная связь, соединяющая аминокислоты в цепочку.

Молекула белка имеет четыре уровня структурной организации.

Первый уровень – первичная структура. Первичная структура характеризуется порядком (последовательностью) чередования аминокислот в полипептидной цепи. Даже одинаковые по длине и аминокислотному составу пептиды могут быть разными веществами потому, что последовательность аминокислот в цепи у них разная. Последовательность аминокислот в белке уникальна и определяется генами.

Второй уровень пространственной организации – вторичная структура (рис. 1). Известно несколько видов вторичной структуры: α -спираль – образуется внутрицепочечными водородными связями между NH-группой одного остатка аминокислоты и CO-группой четвертого от нее остатка; β -структура (складчатый лист) – образуется межцепочечными водородными связями или связями между участками одной полипептидной цепи, изогнутой в обратном направлении; беспорядочный клубок – это участки, не имеющие правильной, периодической пространственной организации. Но конформация этих участков также строго обусловлена аминокислотной последовательностью. Содержание α -спиралей и β -структур в разных белках различно: у фибриллярных белков – только α -спираль или только β -складчатый лист; а у глобулярных белков – отдельные фрагменты полипептидной цепи: либо α -спираль, либо β -складчатый лист, либо беспорядочный клубок. В одном и том же белке могут присутствовать все три способа укладки полипептидной цепи.

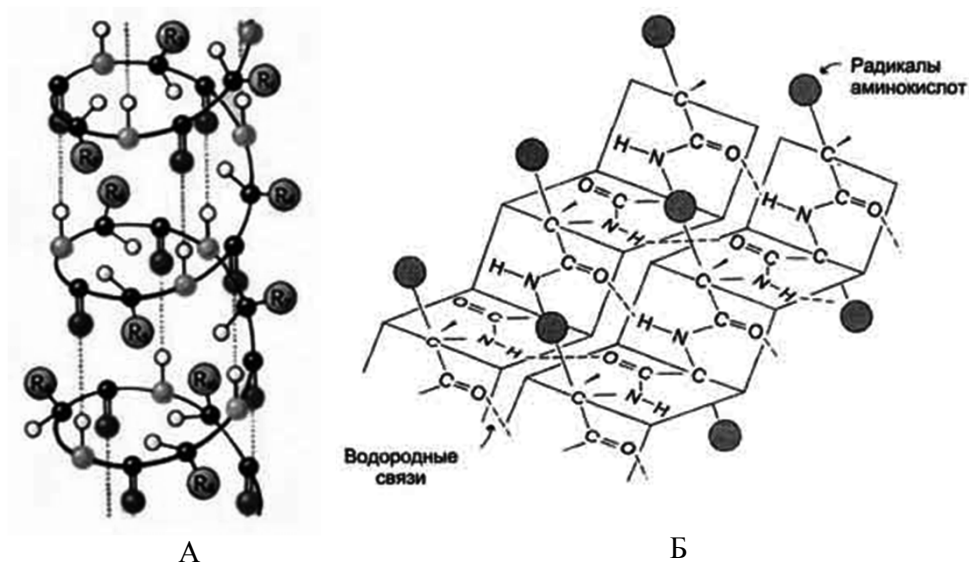


Рис. 1. Вторичная структура белка (А – α -спираль, Б – β -складчатый слой)

Третий уровень пространственной организации – третичная структура. Представляет собой ориентацию в пространстве полипептидной цепи, содержащей α -спиралей, β -структур и участки без периодической структуры (беспорядочный клубок). Дополнительное складывание скрученной полипептидной цепи образует компактную структуру. Это происходит, прежде всего, в результате взаимодействия между боковы-

ми цепями аминокислотных остатков. Такая структура стабилизируется электростатическими силами, водородными связями, гидрофобными взаимодействиями и дисульфидными связями.

Пространственная форма всей белковой молекулы получила название конформация. Конформация характеризуется нестабильностью и может легко изменяться, что влияет на биологические функции белка. Конформация, находясь в которой белок обладает биологической активностью, называется нативной.

Четвертичной структурой обладают только некоторые белки. Четвертичная структура – это сложное надмолекулярное образование, состоящее из нескольких белков, имеющих свою собственную первичную, вторичную и третичную структуры. Каждый белок, входящий в состав четвертичной структуры, называется субъединицей.

Объединяются субъединицы в четвертичную структуру за счет слабых нековалентных связей (ионных, водородных, гидрофобных), и поэтому четверичная структура неустойчива и легко диссоциирует на субъединицы.

Классификация белков

Существует несколько классификаций белков. Среди них наиболее распространены две:

1. По составу белки делятся на простые (протеины) и сложные (протеиды). Простые белки состоят только из аминокислот (альбумины, глобулины, гистоны, белки опорных тканей). Сложные белки содержат еще компоненты неаминокислотной природы. Небелковую часть называют простетической группой, а белковую апопротеином. Например, фосфопротеиды содержат фосфорную кислоту, нуклеопротеиды содержат нуклеиновую кислоту, гликопротеиды содержат углевод и др.
2. Классификация белков по пространственной форме. В этом случае белки разделяются на два больших класса: глобулярные и фибриллярные. Молекулы глобулярных белков имеют шарообразную или эллипсоидную форму. Примером таких белков служат альбумины и глобулины плазмы крови. Фибриллярные белки представляют собою вытянутые молекулы. К таким белкам, прежде всего, необходимо отнести коллаген.

Физико-химические свойства белков

1. Денатурация.

Белковая молекула имеет нативную (функциональную) конформацию благодаря наличию большого числа слабых связей и быстро дена-

турирует при изменении условий среды, от которых зависит стабильность этих связей. Изменение температуры, ионной силы, рН, а также обработка органическими или некоторыми дестабилизирующими агентами может привести к нарушению нативной конформации, что и называется денатурацией. Денатурирующие вещества образуют связи с аминогруппами или карбонильными группами пептидного остова или некоторыми боковыми остатками аминокислот, подменяя собственные внутримолекулярные связи в белке, вследствие чего вторичная и третичная структуры изменяются. Эти изменения не затрагивают первичную структуру, при этом биологическая активность белка утрачивается.

2. Ренативация.

При определенных условиях денатурированный белок может быть ренативирован (обратимая денатурация). Это происходит при удалении денатурирующего или дестабилизирующего фактора. Например, при удалении мочевины диализом полипептиды самопроизвольно восстанавливают свою нативную конформацию. То же происходит при медленном охлаждении денатурированного нагреванием белка.

3. Молекулярная масса.

Белки являются высокомолекулярными соединениями. Например, в составе рибонуклеазы (фермента, расщепляющего РНК) содержится 124 аминокислотных остатка, и ее молекулярная масса составляет примерно 14 000. Миоглобин (белок мышц), состоящий из 153 аминокислотных остатков, имеет молекулярную массу 17 000, а гемоглобин – 64 500 (574 аминокислотных остатка). Молекулярные массы других белков более высокие: глобулин (образует антитела) состоит из 1250 аминокислот и имеет молекулярную массу около 150 000, а молекулярная масса фермента глутаматдегидрогеназы превышает 1 000 000.

4. Амфотерность.

Важнейшим свойством белков является их способность проявлять как кислые, так и основные свойства, то есть выступать в роли амфотерных электролитов. Это обеспечивается за счет различных диссоциирующих группировок, входящих в состав радикалов аминокислот. Например, кислотные свойства белку придают карбоксильные группы аспарагиновой, глутаминовой аминокислот, а щелочные – радикалы аргинина, лизина и гистидина. Чем больше дикарбоновых аминокислот содержится в белке, тем сильнее проявляются его кислотные свойства, и наоборот. В щелочной среде белок отдает протон и заряжается отрицательно, тогда как в кислой среде подавляется диссоциация кислотных групп и белок становится катионом. Таким образом, фактором, определяющим поведение белка как катиона или аниона, является реакция среды, которая определяется концентрацией водородных ионов и выражается величиной рН.

Однако при определенных значениях рН-число положительных и отрицательных зарядов уравнивается и молекула становится электронейтральной, т. е. она не будет перемещаться в электрическом поле. Такое значение рН-среды определяется как изоэлектрическая точка белков.

5. Растворимость в воде.

Белки обладают большим сродством к воде, т. е. они гидрофильны. Молекулы белка, как заряженные частицы, притягивают к себе диполи воды, которые располагаются вокруг белковой молекулы и образуют водную или гидратную оболочку. Эта оболочка предохраняет молекулы белка от склеивания и выпадения в осадок. Величина гидратной оболочки зависит от структуры белка.

6. Высаливание.

Белки обладают свойством обратимого осаждения, т. е. выпадением белка в осадок под действием определенных веществ, после удаления которых он вновь возвращается в свое исходное (нативное) состояние. Для высаливания белков используют соли щелочных и щелочноземельных металлов (наиболее часто в практике используют сульфат натрия и аммония). Эти соли удаляют водную оболочку (вызывают обезвоживание) и снимают заряд.

Нуклеиновые кислоты

Нуклеиновые кислоты выполняют в организме человека следующие функции: ДНК – хранение наследственной информации, РНК – реализацию генетической информации и каталитическую функцию.

Строение нуклеиновых кислот

Нуклеиновые кислоты представляют линейные полимеры нуклеозидмонофосфатов, то есть полинуклеотиды. Нуклеотиды построены из трех компонентов: пиримидинового или пуринового основания, углевода (пентозы) и фосфорной кислоты. Нуклеотиды связаны между собой в цепь фосфодиэфирной связью. Она образуется за счет этерификации ОН-группы С-3-пентозы одного нуклеотида и ОН-группы фосфатного остатка другого нуклеотида.

Молекула нуклеиновой кислоты имеет два уровня структурной организации.

Первичная структура нуклеиновых кислот определяется как последовательность нуклеотидных остатков в полимерной цепи. Многообразие молекул ДНК и РНК объясняется их первичной структурой.

Вторичная структура у молекул ДНК и РНК разная. Молекула ДНК представляет собой правозакрученную спираль, состоящую из двух по-

линуклеотидных цепей с антипараллельным ходом. Это означает, что 3-концу одной цепи соответствует 5-конец другой цепи, и наоборот. Остатки оснований направлены внутрь спирали. На один виток спирали приходится 10 пар оснований. Цепи ДНК не идентичны, так как нуклеотидный состав их различен, однако первичная структура одной цепи предопределяет нуклеотидную последовательность другой цепи, то есть они комплементарны друг другу. Это связано с существованием комплементарных пар оснований. Физико-химическую основу комплементарности составляют водородные связи, которые могут образоваться только между аденином одной цепи и тимином другой, противоположно направленной цепи (пара А–Т), и аналогично между гуанином и цитозином (пара Г–Ц).

Молекула РНК состоит из одной полинуклеотидной цепи. Отдельные участки этой цепи (до 20–30 нуклеотидных пар) могут быть комплементарны между собой и образуют спиральную структуру за счет связей между аденином и урацилом (пара А–У) и гуанином и цитозином (пара Г–Ц). Между спирализованными участками располагаются одноцепочечные петли. Существует несколько разновидностей РНК: матричная (мРНК), транспортная (тРНК), рибосомная (рРНК).

Классификация нуклеиновых кислот

В одну молекулу нуклеиновых кислот может входить углевод только одного вида – рибоза или дезоксирибоза. На этом основании все нуклеиновые кислоты делятся на два типа: рибонуклеиновые – РНК (содержат рибозу) – и дезоксирибонуклеиновые – ДНК (содержат дезоксирибозу).

Физико-химические свойства нуклеиновых кислот

1. Денатурация.

Вторичная структура DNA стабилизируется лишь слабыми водородными и гидрофобными связями, следовательно, DNA способна к денатурации (плавлению) при повышении температуры до 80–90 °С. При денатурации двухспиральная молекула ДНК разделяется на отдельные цепи. Температура, при которой 50 % ДНК денатурировано, называется температурой плавления и зависит от качественного состава ДНК.

2. Ренатурация.

Если раствор денатурированной ДНК медленно охлаждать (отжиг), то вновь возникают слабые связи между комплементарными цепями, и может получиться спиральная структура, идентичная исходной (нативной).

3. Растворимость в воде.

В воде ДНК образует вязкие растворы, при нагревании таких растворов до 60 °С или при действии щелочей двойная спираль распадается на две составляющие цепи.

4. Молекулярная масса.

Молекулярная масса нуклеиновых кислот сильно варьирует, но в целом очень большая, особенно у ДНК. В ядре клетки человеческого организма содержится 46 молекул ДНК, в составе каждой из них – 3,5 млрд пар мононуклеотидов. В митохондриях есть циклическая ДНК, ее молекула содержит 16 тыс. пар мононуклеотидов. Сначала была расшифрована структура митохондриальной ДНК. В ней закодирована информация о строении 13-ти полипептидных цепей, 2-х рибосомальных РНК и 22-х транспортных РНК.

Углеводы

В основном углеводы выполняют энергетическую функцию. Главными источниками энергии являются глюкоза и гликоген. Кроме того, из углеводов могут синтезироваться липиды, некоторые аминокислоты, пентозы. Углеводы входят как составная часть в структурно-функциональные компоненты клетки – гликолипиды и гликопротеины.

Строение углеводов

Углеводы – это альдегидоспирты или кетоспирты и их производные.

Классификация углеводов

По современной классификации углеводы делятся на три основные группы: моносахариды, олигосахариды и полисахариды.

Моносахариды (простые сахара) не подвергаются гидролизу, получить из них более простые углеводы невозможно. К моносахаридам относятся: рибоза, дезоксирибоза, глюкоза, фруктоза, галактоза и др.

Олигосахариды состоят из нескольких (до 10) моносахаридов, соединенных ковалентными связями. При гидролизе они распадаются на входящие в их молекулы моносахариды. Наиболее распространены дисахариды, такие как: сахароза (пищевой или тростниковый сахар), содержащая в своей молекуле остатки глюкозы и фруктозы, лактоза (молочный сахар), состоящая из остатков глюкозы и галактозы, и др.

Полисахариды представляют собой длинные неразветвленные или разветвленные цепи, включающие сотни, тысячи моносахаридов. Чаще всего полисахариды состоят из глюкозы. Наиболее распространены следующие полисахариды: целлюлоза (клетчатка), крахмал, гликоген. Все они состоят только из остатков глюкозы.

Физико-химические свойства углеводов

1. Молекулярная масса.

Среди углеводов встречаются как достаточно простые соединения с молекулярной массой около 200, так и гигантские полимеры, молекулярная масса которых составляет несколько миллионов.

2. Растворимость в воде.

Моносахариды очень легко растворимы в воде, легко образуют сиропы, из которых выделить их в кристаллическом виде бывает очень трудно.

3. Окисление.

Как и у всех альдегидов, окисление моносахаридов приводит к соответствующим кислотам. Так, при окислении глюкозы аммиачным раствором гидрата окиси серебра образуется глюконовая кислота (реакция «серебряного зеркала»).

4. Восстановление.

Восстановление сахаров приводит к многоатомным спиртам. В качестве восстановителя используют водород в присутствии никеля, алюмогидрид лития и др.

5. Алкилирование (образование простых эфиров).

Под действием метилового спирта при наличии газообразного хлористого водорода атом водорода гликозидного гидроксила замещается на метильную группу.

6. Ацилирование (образование сложных эфиров).

При действии на глюкозу уксусного ангидрида образуется сложный эфир – пентаацетилглюкоза.

Основные углеводы в организме человека

Основным природным углеводом является глюкоза, которая может находиться как в свободном виде (моносахарид), так и в составе олигосахаридов (сахароза, лактоза и др.) и полисахаридов (клетчатка, крахмал, гликоген).

Эмпирическая формула глюкозы $C_6H_{12}O_6$. Однако, как известно, глюкоза может иметь различные пространственные формы (ациклическую и циклическую). В организме человека почти вся глюкоза (свободная и входящая в олиго- и полисахариды) находится в циклической форме.

Свободная глюкоза в организме человека в основном находится в крови, где ее содержание довольно постоянно и колеблется в узком диапазоне от 3,0 до 6,1 ммоль/л (70–110 мг %).

Другим углеводом, типичным для человека и высших животных, является гликоген. Состоит гликоген из сильно разветвленных молекул большого размера, содержащих десятки тысяч остатков глюкозы. Эмпирическая формула гликогена – $(C_6H_{10}O_5)_n$ ($C_6H_{10}O_5$ – остаток глюкозы).

Гликоген является запасной, резервной формой глюкозы. Основные запасы гликогена сосредоточены в печени (до 5–6 % от массы печени) и в мышцах (до 2–3 % от их массы).

Глюкоза и гликоген в организме выполняют энергетическую функцию, являясь главными источниками энергии для всех клеток организма.

Липиды

Биологические функции липидов определяются прежде всего тем, что они являются источниками энергии. Эту функцию выполняют жирные кислоты, освобождающиеся после распада жиров. Фосфолипиды, гликолипиды и холестерин участвуют в образовании клеточных мембран. Производные некоторых полиненасыщенных жирных кислот (простагландины) выполняют регуляторную функцию, эти жирные кислоты представляют собой незаменимые пищевые компоненты. Холестерин является структурным компонентом мембран, а также предшественником желчных кислот и стероидных гормонов.

Строение липидов

Молекула жира состоит из остатка многоатомного спирта и остатков жирных кислот, соединенных сложноэфирной связью.

Жирные кислоты, входящие в состав жиров, делятся на предельные, или насыщенные (не имеют двойных связей), и непредельные, или ненасыщенные (содержат одну или несколько двойных связей).

Отличаются друг от друга жиры разного происхождения набором жирных кислот.

Адиipoциты (жировые клетки) состоят из триглицеридов. В состав биомембран входят фосфолипиды, гликолипиды и холестерин.

Классификация липидов

Липиды делятся на жиры и жироподобные вещества (липоиды).

Физико-химические свойства липидов

1. Растворимость.

Жиры нерастворимы в воде, хорошо растворимы в органических растворителях, но обычно плохо растворимы в спирте.

2. Гидролиз.

При обработке перегретым паром, минеральными кислотами или щелочью жиры подвергаются гидролизу (омылению) с формированием глицерина и жирных кислот или их солей, образуя мыла. При сильном взбалтывании с водой образуют эмульсии. Примером стойкой эмульсии жира в

воде является молоко. Эмульгирование жиров в кишечнике (необходимое условие их всасывания) осуществляется солями желчных кислот.

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите важнейшие классы органических соединений, входящие в живые организмы.
2. Какие функции в организме человека выполняют белки?
3. Какой связью стабилизируется первичная структура белковой молекулы?
4. Приведите примеры глобулярных белков.
5. Опишите структуру ДНК.
6. Приведите примеры полисахаридов.
7. В каких органах человека сосредоточены запасы гликогена?
8. По какому признаку жирные кислоты делятся на насыщенные и ненасыщенные?
9. Сколько выделяется энергии при окислении 1 г жира?

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБМЕНА ВЕЩЕСТВ

Обменные процессы, протекающие в организме, можно условно разделить на два этапа: пищеварение и метаболизм.

Пищеварение

В процессе пищеварения пищевые вещества расщепляются под действием пищеварительных ферментов и превращаются в простые соединения, универсальные для всех живых организмов. Поэтому конечные продукты пищеварения могут вводиться во внутреннюю среду организма и использоваться клетками для разнообразных целей.

Метаболизм

Метаболизм – это совокупность химических реакций, протекающих во внутренней среде организма, т. е. в его клетках.

В свою очередь, метаболизм делится на катаболизм и анаболизм.

Катаболизм – химические реакции, за счет которых крупные молекулы подвергаются расщеплению и превращаются в молекулы меньшего размера. Конечными продуктами катаболизма являются такие простейшие вещества, как CO_2 , H_2O и NH_3 .

Для катаболизма характерны следующие закономерности:

- преобладают реакции окисления;
- протекает с потреблением кислорода;

- освобождается энергия, половина которой аккумулируется в форме химической энергии аденозинтрифосфата (АТФ). Другая часть энергии выделяется в виде тепла.

Анаболизм включает разнообразные реакции синтеза.

Анаболизм характеризуется следующими особенностями:

- типичны реакции восстановления;
- происходит потребление водорода;
- протекает с потреблением энергии, источником которой является АТФ.

Основное назначение метаболизма

Одновременное протекание реакций катаболизма и анаболизма приводит к обновлению химического состава организма, что является обязательным условием его жизнедеятельности. В случае преобладания анаболизма над катаболизмом происходит накопление химических веществ в организме, в первую очередь белков. Накопление белков в организме – обязательное условие его роста и развития. Кроме того, метаболизм обеспечивает энергией (в форме молекул АТФ) все потребности организма.

Интеграция метаболизма

Для катаболизма и анаболизма, образующих единую систему обмена веществ, характерно:

- наличие общих промежуточных продуктов в большей части метаболических путей;
- возможность взаимопревращений через общие метаболиты;
- использование общих коферментов и необходимость их постоянной циркуляции;
- наличие общего пути катаболизма и единой системы освобождения и использования энергии (дыхательная цепь);
- наличие сходных механизмов регуляции.

Вопросы для самоконтроля

1. Дайте определение процессу пищеварения.
2. Какие закономерности характерны для катаболических реакций в организме человека?
3. Какие закономерности характерны для анаболических реакций в организме человека?
4. В чем заключается основное назначение метаболизма?
5. Какие вещества являются простейшими продуктами катаболизма?
6. Чем определяется интеграция метаболизма?

ВИТАМИНЫ

Витамины – это низкомолекулярные органические соединения, которые необходимы в малых количествах для нормальной жизнедеятельности организма. При этом человеческий организм большинство таких веществ синтезировать не может, до недавнего времени он получал их только с пищей. Некоторые витамины в ограниченном количестве вырабатываются микрофлорой кишечника.

Роль витаминов в организме человека

Роль витаминов в обеспечении нормальной жизнедеятельности организма человека очень значительна. Они являются биокатализаторами химических реакций, происходящих при построении и постоянном обновлении живых структур организма и при регулировании обмена веществ.

Потребность организма в витаминах

Витамины требуются организму от нескольких микрограммов до нескольких миллиграммов (табл. 1).

Недостаток витаминов в пище или изменение процессов их усвоения приводит к нарушению обмена веществ и в конечном счете к развитию гипо- и авитаминозов. При избыточном поступлении витаминов в организм развивается состояние, называемое гипервитаминозом (табл. 2).

Под авитаминозом понимают практически полное отсутствие какого-либо витамина в организме, проявляющееся возникновением специфического симптомокомплекса, например, цинги, пеллагры. Гиповитаминозом считают сниженное по сравнению с потребностями содержание витаминов в организме. Гиповитаминоз клинически проявляется только отдельными и не резко выраженными симптомами из числа специфических для определенного авитаминоза, а также мало специфических, общих для различных видов гиповитаминозов (например, снижение аппетита и работоспособности, быстрая утомляемость). Недостаточность одновременно нескольких витаминов обозначают как полигиповитаминоз.

Классические авитаминозы встречаются весьма редко, в основном в условиях длительного голода, когда витаминная недостаточность сопутствует алиментарной дистрофии, при вынужденном резком обеднении рациона питания (например, при невозможности доставки продуктов участникам отдаленных экспедиций, войскам в окружении и т. д.), поступлении в организм в больших количествах антивитаминов, а также при некоторых наследственных ферментопатиях и тяжелых заболеваниях пищеварительной системы, сопровождающихся синдромом мальабсорбции.

Таблица 1

*Суточная потребность взрослого человека
в витаминах и минеральных элементах*

Наименование	Количество
Витамин С	60–70 мг
Витамин В1	1,5 мг
Витамин В2	2 мг
Витамин В6	2 мг
Витамин В12	3 мкг
Витамин В3	5–7 мг
Витамин РР	20 мг
Фолиевая кислота	200 мкг
Витамин А	1 мг
Витамин Е	10 мг
Витамин Д	2,5 мкг
Холин	100–300 мг
Витамин Р	30–50 мг
Витамин F	до 400 мг
Кальций	800 мг
Магний	400 мг
Фосфор	1200 мг
Железо	10–20 мг
Медь	2 мг
Цинк	15 мг
Йод	100–200 мкг
Марганец	5–10 мг
Хром	500 мкг
Кобальт	300 мкг
Молибден	200 мкг
Селен	30–100 мкг
Сера	500–3000 мг

Таблица 2

*Некоторые из возможных побочных эффектов
приема избыточных доз витаминов*

Витамин	Токсическая доза	Побочные эффекты
А	более 200 мкг	гидроцефалия, цирроз
Р	более 1250 мкг	гиперкальцемия, апатия, флебиды, головная боль
Е	более 150 мкг	слабость, быстрая утомляемость, диарея, гиперхолестеринемия
В6	более 200 мкг	слабость, быстрая утомляемость, сенсорная невропатия
РР	более 100 мкг	бронхоспазм, гипергликемия, гепатит
С	более 2 г	тошнота, диарея

Более распространены гиповитаминозы, причинами которых, кроме перечисленных, могут быть длительное парентеральное питание, нерациональная химиотерапия, хронические интоксикации, в том числе инфекционные болезни, злокачественные новообразования. Кроме того, формированию гиповитаминозов способствует широкое использование в питании рафинированных продуктов, лишенных витаминов в процессе их производства (хлеба тонкого помола, сахара и др.); потеря витаминов при длительном хранении и неправильной кулинарной обработке продуктов; тенденция к замене в домашнем питании свежих продуктов консервами. Недостаток витаминов уменьшает адаптационные возможности организма, что выражается в снижении устойчивости к действию инфекционных и токсических факторов, физической и умственной работоспособности, в замедлении выздоровления при острых заболеваниях, в повышении вероятности обострения хронических болезней.

Классификация витаминов

Все витамины делятся на водорастворимые и жирорастворимые.

Краткая характеристика отдельных витаминов

Водорастворимые

Витамин В1 (тиамин) способствует активному использованию в обмене веществ белков, жиров и углеводов. Принимает активное участие в регуляции сердечной деятельности, а также кишечника. Большое значение имеет в регуляции жирового обмена, синтезируя жирные кислоты. При гиповитаминозе В1 страдает не только функция сердечной мышцы, но и центральной нервной системы. Много этого витамина содержится в муке грубого помола (особенно в ржаном хлебе), картофеле, бобовых, капусте, а в пище животного происхождения – в почках, печени, мозгах.

Витамин В2 (рибофлавин) имеет первостепенное значение в регуляции работы органов пищеварения, а в сочетании с витамином А – и для функции органов зрения. Этот витамин оказывает активное влияние и на обмен белков и углеводов. При данном гиповитаминозе наблюдается отставание в росте и развитии, происходит выпадение волос, воспаление слизистых оболочек глаз и ротовой полости, развивается малокровие и ухудшается функция печени. Богаты витамином В2 молочные продукты, мясо, печень, почки, сердце, яичный желток, грибы, пищевые дрожжи. Он содержится также в овощах и фруктах.

Витамин В3 (ниацин). Снижает уровень холестерина, способствует усвоению белков, жиров и сахаров, снижает высокое кровяное давление, поддерживает нервную систему и желудочно-кишечный тракт, от-

вечает за здоровый вид кожи, предотвращает такое заболевание, как пеллагра, повышает работоспособность организма. Содержится в мясе, молоке, яйцах, рыбе, птице, зерновых. Недостаток приводит к головокружениям, слабости, расстройствам желудочно-кишечного тракта.

Витамин В5, или РР, или никотиновая кислота, активно участвует в дыхании организма, стимулирует обмен веществ в клетках, повышает активность пищеварительных ферментов, участвует в механизме свертываемости крови. При дефиците этого витамина развиваются воспалительные и дегенеративные изменения кожи вплоть до появления пеллагры. Серьезно страдает система пищеварения, одним из тягостных симптомов являются хронические поносы. Поражение нервной системы протекает в виде тех или иных нервно-психических расстройств. Гиповитаминоз РР обычно проявляет себя при однообразном питании. Богаты по содержанию этого витамина пищевые дрожжи, мясо, печень, бобовые, гречневая и перловая крупа, картофель, орехи, сыр. Много его и в ржаном хлебе, молоке, капусте.

Витамин В6 (пиридоксин) регулирует обменные процессы нервной системы, кожи, печени. При недостатке его в организме наблюдается общая слабость, повышенная утомляемость, симптомы неврастения, затруднения при ходьбе. Главными поставщиками витамина В6 являются злаки, дрожжи, мясо, яичный желток и многие свежие овощи.

Витамин В12 (цианкобаламин) – обязательный компонент, без которого не может нормально синтезироваться ряд аминокислот. Он является непременной составной частью процессов кроветворения, особенно для созревания эритроцитов и свертываемости крови. Играет существенную роль и в обмене углеводов и жиров. При данном гиповитаминозе развивается малокровие за счет резкого снижения числа эритроцитов. Витамином В12 богаты печень, мясо, яйца, рыба, молочнокислые продукты, дрожжи.

Витамин В15 (кальция пангамат) благоприятно влияет на обмен жиров, улучшает питание органов и тканей кислородом, регулирует работу мышц, печени. Обладает антисклеротическими свойствами. Содержится в разнообразных продуктах питания.

Витамин С (аскорбиновая кислота). Активизирует пищеварительные ферменты, является абсолютно необходимым для роста и развития молодого организма. Принимает активное участие в образовании ряда гормонов, регулирует кислотно-щелочной состав крови. Велика роль витамина С в регуляции деятельности сосудистой системы. Он активно участвует и в обмене углеводов. При его недостаточности снижается работоспособность, активность иммунитета, что делает организм восприимчивым к инфекциям. В тяжелых случаях развивается цинга. Весьма богаты вита-

мином С шиповник, черная смородина, лимон и многие другие овощи, фрукты, ягоды. Следует подчеркнуть, что витамин С малоустойчив к кулинарной обработке. Он быстро разрушается при чрезмерном нагревании, при длительном хранении соленых и маринованных овощей, а также компотов, варенья. Овощи, фрукты и ягоды поэтому лучше всего употреблять в свежем виде. А при варке их рекомендуется опускать в кипящую воду и варить в плотно закрытой посуде.

Жирорастворимые

Витамин А участвует в обмене фосфора, способствуя правильному развитию и формированию костей, это особенно важно в молодом возрасте, за что, кстати, этот витамин называют витамином роста. Он также поддерживает питание кожи и слизистых оболочек, стимулирует деятельность поджелудочной железы. Этот витамин необходим для нормальной функции глаз. Известно его регулирующее влияние на обмен жиров. При недостаточности витамина А довольно быстро нарушается обмен веществ, что проявляется в развитии кожных заболеваний, в частности фурункулеза, экземы. Существенно страдает и зрение, снижается иммунитет, что вызывает повышенную предрасположенность к инфекционным заболеваниям.

Витамин Д принимает активное участие в минеральном обмене, главным образом фосфора и кальция, что особенно важно для детского организма. Потому этот витамин называют еще антирахитическим. При его дефиците в организме у детей развивается рахит, кроме того нарушаются функции паращитовидной железы, что приводит к нарушению костного скелета. Наиболее богатыми по содержанию витамином Д, а также и витамином А являются сливочное масло, цельное молоко, яичный желток, рыбий жир, печень трески и других рыб. Кроме того, витамин Д может синтезироваться в организме под влиянием ультрафиолетовых лучей солнца. А витамин А синтезируется в печени человека из каротина (провитамин А), в большом количестве содержащегося в моркови, шпинате, салате, помидорах, щавеле, шиповнике.

Витамин Е (токоферол) еще называют витамином размножения, поскольку он оказывает регулирующее влияние на развитие пола, особенно в период внутриутробного развития ребенка. В том или ином количестве он содержится в продуктах животного происхождения, а также в зелени.

Витамин К оказывает регулирующее влияние на процессы свертываемости крови, действуя через печень путем стимуляции синтеза в ней соответствующих ферментов. При недостаточности витамина К страдает процесс образования протромбина, а это способствует высокой предрасположенности к кровотечениям. К продуктам с богатым содержанием этого витамина относятся капуста и другая зелень, ягоды рябины, морковь, томаты.

Вопросы для самоконтроля

1. В чем заключается биологическая роль витаминов?
2. На какие две группы делятся витамины?
3. В чем заключается отличие авитаминоза от гиповитаминоза?
4. Перечислите причины гиповитаминозов.
5. Можно ли употреблять витамины в неограниченном количестве?
6. В каких процессах организма человека участвует витамин В12?
7. В каких продуктах питания содержится большое количество витамина К?
8. Какие витамины могут быть синтезированы в кишечнике человека и при каких условиях?

ГОРМОНЫ

Гормоны – органические вещества разнообразного строения, оказывающие регулирующее влияние на метаболизм и физиологические функции органов.

Выделяются гормоны органами – железами внутренней секреции, они не имеют выводных протоков и выделяют гормоны непосредственно в кровь.

Механизм действия гормонов

Сами гормоны непосредственно не влияют на какие-либо реакции клетки. Только связавшись с определенным, свойственным только ему рецептором, гормон вызывает определенный эффект.

Гормоны разделяют на водо- и жирорастворимые. Принадлежность к какому-то из этих классов обуславливает их механизм действия. Это объясняется тем, что жирорастворимые гормоны могут спокойно проникать через клеточную мембрану, которая состоит преимущественно из бислоя липидов, а водорастворимые этого не могут. В связи с этим рецепторы для водо- и жирорастворимых гормонов имеют различное место локализации (мембрана или цитоплазма). Связавшись с мембранным рецептором, гормон вызывает каскад реакций в самой клетке, но никак не влияет на генетический материал. Комплекс цитоплазматического рецептора и гормона может воздействовать на ядерные рецепторы и вызывать изменения в генетическом аппарате, что ведет к синтезу новых белков.

Влияние гормонов может меняться при нарушениях метаболизма, изменениях физико-химических параметров организма (температура, кислотность, осмотическое давление) и концентрации важнейших субстратов, возникающих при заболеваниях, а также при выполнении мышечной работы. Следствием этого является усиление или ослабление влияния гормонов на соответствующие органы.

Классификация гормонов

1. Гормоны белковой природы (белки и полипептиды): гормоны гипоталамуса, гипофиза, кальцитонин щитовидной железы, гормон паращитовидных желез, гормоны поджелудочной железы.
2. Гормоны – производные аминокислоты тирозина: йодсодержащие гормоны щитовидной железы, гормоны мозгового слоя надпочечников.
3. Гормоны стероидного строения: гормоны коры надпочечников, половых желез.

Регуляция образования гормонов

Синтез и выделение гормонов в кровь находятся под контролем нервной системы. В упрощенном виде взаимосвязь между гормональной (эндокринной) и нервной системами можно представить следующим образом. При воздействии на организм каких-либо внешних факторов или же при возникновении изменений в крови и в различных органах соответствующая информация передается по афферентным (чувствительным) нервам в ЦНС. В ответ на полученную информацию в гипоталамусе (часть промежуточного мозга) вырабатываются биологически активные вещества (гормоны гипоталамуса), которые затем поступают в гипофиз (мозговой придаток) и стимулируют или тормозят в нем секрецию так называемых тропных гормонов (гормоны передней доли). Тропные гормоны выделяются из гипофиза в кровь, переносятся в железы внутренней секреции и вызывают в них синтез и секрецию соответствующих гормонов, которые далее воздействуют на органы-мишени. Таким образом, в организме имеется единая нервно-гормональная или нейрогуморальная регуляция.

Все железы внутренней секреции функционируют согласованно и оказывают друг на друга взаимное влияние. Введение в организм гормонов не только сказывается на функции железы, вырабатывающей вводимый гормон, но и может оказать негативное воздействие на состояние всей нервно-гормональной регуляции в целом. Поэтому использование в качестве допингов гормональных препаратов является опасным для здоровья спортсменов.

Железы внутренней секреции и выделяемые ими гормоны

Гипоталамус. Выделяет либерины, которые стимулируют выработку гипофизом гормонов, и статины, тормозящие выработку гормонов гипофизом.

Гипофиз. Делится на три доли, каждая из которых выделяет свои гормоны.

Передняя доля выделяет гормон роста (соматотропин), тиреотропный гормон, аденокортикотропный гормон, фолликулостимулирующий гормон и лактогенный гормон.

Соматотропин участвует в регуляции роста и развития организма. Повышая синтез хрящевой ткани в эпифизарных отделах костей, этот гормон в детском возрасте стимулирует рост тела в длину, а активирование периостального роста увеличивает толщину и ширину костей. Возрастание массы тканевых структур происходит в мышечной и соединительной ткани, растет масса и внутренних органов. Основные эффекты соматотропина связаны с его влияниями на обмен веществ, приводящими: 1) к усилению липолиза и уменьшению массы жировой ткани; 2) повышению усвоения аминокислот и синтеза белков, в результате чего масса тела возрастает за счет нежировой ткани; 3) увеличению глюконеогенеза и повышению уровня сахара в крови. Вместе с тем большинство ростовых эффектов гормона опосредуется специальными гуморальными факторами (гормонами) печени, почек и костной ткани, получившими название соматомедины.

Тиреотропный гормон стимулирует выработку гормонов щитовидной железы.

Аденокортикотропный гормон (АКТГ) стимулирует выделение гормонов надпочечников.

Фолликулостимулирующий регулирует созревание половых клеток.

Лактогенный гормон (пролактин) стимулирует образование молока у женщин после родов.

Средняя доля вырабатывает меланостимулирующий гормон, усиливающий выработку пигмента некоторыми клетками кожи (меланоцитами и меланофорами).

Задняя доля вырабатывает вазопрессин и окситоцин.

Вазопрессин (антидиуретический гормон) поддерживает артериальное давление посредством барорецепторов и прямого влияния на сосудистую стенку, является одним из регуляторов секреции аденокортикотропного гормона, увеличивает процесс высвобождения тиреотропного гормона из гипофиза, увеличивает синтез простагландинов интерстициальными клетками мозгового слоя почек, вызывает сокращения мезангиальных клеток клубочка, обладает митогенным эффектом, вызывает агрегацию тромбоцитов и способствует высвобождению факторов коагуляции – фактора Виллебранда, VIII фактора – и активатора плазминогена тканевого типа и участвует в процессах центральной нервной системы, в частности процессах памяти.

Окситоцин оказывает влияние на гладкие мышцы, особенно на мышцы беременной матки. Под воздействием окситоцина усиливается

проницаемость мембраны для ионов калия, понижается ее потенциал и повышается возбудимость. Окситоцин повышает также секрецию молока, усиливая выработку лактогенного гормона. Кроме того, он может вызывать быстрое выделение (выбрасывание) молока из молочной железы в связи с воздействием на ее сократимые элементы.

Щитовидная железа выделяет йодсодержащие гормоны (тироксин и трийодтиронин), и кальцитонин (тиреокальцитонин).

Тироксин, достигая своих органов-мишеней, превращается в трийодтиронин, который напрямую воздействует на клетку. Тиреоидные гормоны способствуют росту и развитию организма, стимулируют рост и дифференцировку тканей. Увеличивают потребность тканей в кислороде. Повышают системное артериальное давление, частоту и силу сердечных сокращений. Увеличивают уровень бодрствования, психическую энергию и активность, ускоряют течение мыслительных ассоциаций, повышают двигательную активность, температуру тела и уровень основного обмена веществ.

Кальцитонин принимает участие в регулировании фосфорно-кальциевого обмена в организме, а также баланса активности остеокластов и остеобластов. Он снижает содержание кальция и фосфата в плазме крови за счет повышения захвата кальция и фосфата остеобластами, также стимулирует развитие и функциональную активность остеобластов. Одновременно тиреокальцитонин тормозит развитие и функциональную активность остеокластов и процессы резорбции кости.

Паращитовидные железы вырабатывают паратгормон.

Паратгормон повышает выход из кости легко растворяющейся части кальция, но основной его эффект заключается в ускорении синтеза ферментов, которые вызывают распад костного матрикса. Костная основа под воздействием паратгормона подвергается резорбции (рассасыванию), и ионы кальция высвобождаются в кровь. В почках паратгормон вызывает усиление выведения фосфатов с мочой и усиливает обратное всасывание кальция, уменьшая его выведение с мочой. Кроме этого, паратгормон активизирует выведение из организма натрия и калия и уменьшает выведение магния. Еще один эффект действия паратгормона – это преобразование витамина Д из неактивной формы в активную.

Поджелудочная железа вырабатывает инсулин, глюкагон и соматостатин.

Основное действие инсулина заключается в понижении уровня глюкозы в крови, осуществляемое главным образом тремя способами: 1) торможением образования глюкозы в печени; 2) торможением в печени и мышцах распада гликогена (полимера глюкозы, который организм при необходимости может превращать в глюкозу); 3) стимуляцией использования глюкозы тканями. Недостаточная секреция инсулина или

повышенная его нейтрализация аутоантителами приводят к высокому уровню глюкозы в крови и развитию сахарного диабета.

Главное действие глюкагона – увеличение уровня глюкозы в крови за счет стимулирования ее продукции в печени.

Соматостатин подавляет желудочную секрецию, вызываемую пентагастрином, а также секрецию поджелудочной железы, вызываемую панкреозимином и секретинном.

Надпочечники. Мозговой слой надпочечников выделяет катехоламины. Кортикостероиды – глюкокортикоиды, стероиды и минералокортикоиды.

Катехоламины (адреналин и норадреналин). Адреналин обеспечивает реакцию на внезапную опасность. При ее возникновении адреналин выбрасывается в кровь и мобилизует запасы углеводов для быстрого высвобождения энергии, увеличивает мышечную силу, вызывает расширение зрачков и сужение периферических кровеносных сосудов. Таким образом, направляются резервные силы для бегства или борьбы, а кроме того, снижаются кровопотери благодаря сужению сосудов и быстрому свертыванию крови. Адреналин стимулирует также секрецию АКГТ, который, в свою очередь, стимулирует выброс корой надпочечников кортизола, в результате чего увеличивается превращение белков в глюкозу, необходимую для восполнения в печени и мышцах запасов гликогена, использованных при реакции тревоги. Норадреналин вызывает схожие эффекты, но более слабые по силе.

Глюкокортикоиды влияют на обмен углеводов, белков, жиров, а также на иммунологические защитные механизмы. Наиболее важные из глюкокортикоидов – кортизол и кортикостерон.

Половые стероиды, играющие вспомогательную роль, подобны тем, что синтезируются в гонадах; это дегидроэпиандростерон сульфат, D4-андростендион, дегидроэпиандростерон и некоторые эстрогены.

Минералокортикоиды – это альдостерон и дезоксикортикостерон. Их действие связано преимущественно с поддержанием солевого баланса.

Половые железы. Семенники (яички) имеют две части, являясь железами и внешней, и внутренней секреции. Как железы внешней секреции, они вырабатывают сперму, а эндокринную функцию осуществляют содержащиеся в них клетки Лейдига, которые секретируют мужские половые гормоны (андрогены), в частности D4-андростендион и тестостерон, основной мужской гормон. Клетки Лейдига вырабатывают также небольшое количество эстрогена (эстрадиола). Сперматогенез происходит только при достаточном количестве андрогенов. Андрогены, в частности тестостерон, ответственны за развитие вторичных половых признаков у мужчин.

Яичники имеют две функции: развитие яйцеклеток и секреция гормонов. Гормоны яичников – это эстрогены, прогестерон и D4-андростендион.