

Е. Н. Парийская, Н. П. Ерофеев

# Физиология эндокринной системы

*Учебное пособие*



Санкт-Петербург  
СпецЛит

Е. Н. Парийская, Н. П. Ерофеев

# ФИЗИОЛОГИЯ ЭНДОКРИННОЙ СИСТЕМЫ

Учебное пособие

Под редакцией Н. П. Ерофеева

*Рекомендовано для студентов медицинских факультетов  
университетов и медицинских вузов по специальностям  
«Лечебное дело» и «Стоматология»*

Санкт-Петербург  
СпецЛит  
2013

УДК 612.43  
П18

Авторы:

*Парийская Елена Николаевна* — кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии медицинского факультета СПбГУ;

*Ерофеев Николай Павлович* — доктор медицинских наук, профессор, руководитель учебной дисциплины «Физиология» кафедры физиологии медицинского факультета СПбГУ

Рецензенты:

*Лытаев Сергей Александрович* — доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой нормальной физиологии Санкт-Петербургской государственной педиатрической медицинской академии;

*Марков Александр Георгиевич* — доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой общей физиологии биолого-почвенного факультета Санкт-Петербургского государственного университета

### **Парийская Е. Н., Ерофеев Н. П.**

П18 **Физиология эндокринной системы : учебное пособие / под ред. Н. П. Ерофеева. — СПб. : СпецЛит, 2013. — 80 с. — ISBN 978-5-299-00537-0**

В учебном пособии изложены новые современные представления о функциях гормонов, локальных и системных механизмах их действия. Методические разработки содержат материалы для внеаудиторной самостоятельной работы.

Учебное пособие соответствует официальной программе по нормальной физиологии для медицинских вузов и новому образовательному стандарту по специальностям «Лечебное дело» и «Стоматология». Утверждено РИСО Медицинского факультета СПбГУ.

Выражаем благодарность *Муцинскому Дмитрию, Гавровской Елизавете, Шило Полине* за помощь в оформлении настоящего издания оригинальными рисунками.

**УДК 612.43**

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Условные сокращения</b> . . . . .	5
<b>Предисловие</b> . . . . .	6
<b>Тема 1. ОБЩАЯ ЭНДОКРИНОЛОГИЯ</b> . . . . .	6
1.1. Гормоны – сигнальные вещества эндокринной системы . . . . .	7
1.2. Химическое строение гормонов . . . . .	7
1.3. Жизненный цикл гормонов . . . . .	10
1.4. Механизмы действия гормонов . . . . .	10
1.5. Способы передачи сигналов гормонами . . . . .	11
1.6. Регуляция гормональной секреции: ритмы секреции гормонов, вертикальные эндокринные оси, обратные связи . . . . .	15
1.7. Гиперфункция и гипофункция гормональных систем . . . . .	17
Вопросы по теме . . . . .	18
<b>Тема 2. ЧАСТНАЯ ЭНДОКРИНОЛОГИЯ</b> . . . . .	19
2.1. Гипоталамус как центр эндокринной регуляции . . . . .	19
2.2. Кровоснабжение гипофиза . . . . .	22
2.3. Гормоны задней доли гипофиза (нейрогипофиза) . . . . .	22
2.3.1. Окситоцин . . . . .	22
2.3.2. Антидиуретический гормон . . . . .	24
2.4. Клетки передней доли гипофиза (аденогипофиза) . . . . .	26
2.5. Гормоны передней доли гипофиза (аденогипофиза) . . . . .	27
2.5.1. Гормоны роста . . . . .	27
2.5.2. Пролактин . . . . .	31
Вопросы по теме . . . . .	34
<b>Тема 3. ГОРМОНАЛЬНАЯ РЕГУЛЯЦИЯ РЕПРОДУКТИВНОЙ ФУНКЦИИ У МУЖЧИН И ЖЕНЩИН</b> . . . . .	35
3.1. Краткая характеристика гормонов репродуктивной оси человека . . . . .	36
3.1.1. Гипоталамический гонадотропин-рилизинг-гормон (ГнРГ) . . . . .	36
3.1.2. Гонадотропные гормоны: лютеинизирующий гормон (ЛГ) и фолликулостимулирующий гормон (ФСГ) . . . . .	36
3.1.3. Андрогены . . . . .	36
3.1.4. Эстрогены . . . . .	37
3.1.5. Прогестерон . . . . .	37
3.1.6. Ингибины . . . . .	37
3.1.7. Простагландины . . . . .	37
3.2. Регуляция вертикальной оси гормональной репродуктивной функции человека . . . . .	38
3.3. Мужская репродуктивная система . . . . .	39
3.4. Женская репродуктивная система . . . . .	40
3.5. Экстракорпоральное оплодотворение (ЭКО) . . . . .	48
Вопросы по теме . . . . .	48

---

---

<b>Тема 4. ГОРМОНЫ ЭПИФИЗА</b> . . . . .	49
4.1. Серотонин и мелатонин . . . . .	49
4.2. Регуляторные функции гормонов эпифиза . . . . .	50
Вопросы по теме . . . . .	51
<b>Тема 5. ВЕРТИКАЛЬНАЯ ОСЬ СИСТЕМЫ ГИПОТАЛАМУС – ГИПОФИЗ – НАДПОЧЕЧНИКИ</b> . . . . .	51
5.1. Минералокортикоиды . . . . .	53
5.2. Регуляция секреции альдостерона . . . . .	53
5.3. Глюкокортикоиды . . . . .	54
5.4. Регуляция секреции глюкокортикоидов . . . . .	54
Вопросы по теме . . . . .	56
<b>Тема 6. ВЕРТИКАЛЬНАЯ ОСЬ СИСТЕМЫ ГИПОТАЛАМУС – ГИПОФИЗ – ЩИТОВИДНАЯ ЖЕЛЕЗА</b> . . . . .	56
6.1. Биосинтез тиреоидных гормонов . . . . .	57
6.2. Регуляция уровня гормонов щитовидной железы . . . . .	59
6.3. Функции гормонов щитовидной железы . . . . .	59
Вопросы по теме . . . . .	60
<b>Тема 7. РЕГУЛЯЦИЯ УГЛЕВОДНОГО ОБМЕНА. ЭНДОКРИННАЯ ФУНКЦИЯ ПОДЖЕЛУДОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ</b> . . . . .	61
7.1. Поджелудочная железа. Гормоны поджелудочной железы . . . . .	62
7.2. Регуляция метаболизма глюкозы . . . . .	66
7.3. Механизмы возникновения сахарного диабета . . . . .	67
Вопросы по теме . . . . .	68
<b>Тема 8. РЕГУЛЯЦИЯ ПОДДЕРЖАНИЯ НОРМАЛЬНЫХ УРОВНЕЙ КАЛЬЦИЯ, МАГНИЯ И ФОСФАТА В СЫВОРОТКЕ КРОВИ</b> . . . . .	68
8.1. Паратиреоидный гормон (паратгормон) . . . . .	70
8.2. Витамин D <sub>3</sub> . . . . .	72
8.3. Кальцитонин . . . . .	74
Вопросы по теме . . . . .	76
<b>Приложение. Нормальные уровни гормонов в биологических жидкостях</b> . . . . .	77
<b>Литература</b> . . . . .	79

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящее учебное пособие охватывает все разделы физиологии эндокринной системы человека. Оно содержит современные сведения о системной и локальной регуляции функций организма с участием эндокринных органов и клеток. В пособии рассматриваются морфология и функции гипоталамуса, адено- и нейрогипофиза, щитовидной железы, паращитовидных желез, коры и мозгового вещества надпочечников, репродуктивных органов и других эндокринных желез. На конкретных примерах разобраны физиологические эффекты гормонов на клетки-мишени на макро- и микроуровнях. Такой подход позволяет выявить патологические звенья нарушения функций организма при избытке и недостатке гормонов и определить физиологические принципы коррекции с помощью лекарственных веществ. Пособие содержит богатый иллюстративный материал: рисунки, схемы, таблицы. В книге приводятся данные о нормальных значениях концентрации гормонов в биологических жидкостях человека. Пособие поможет студенту организовать самостоятельную учебную работу, эффективно усвоить материал по физиологии эндокринной системы. Руководство содержит задания, при самостоятельном выполнении которых закрепляются знания, полученные на лекциях и практических занятиях.

### ТЕМА 1

### ОБЩАЯ ЭНДОКРИНОЛОГИЯ

Общая эндокринология изучает механизмы дистантного и местного контроля функций организма человека с помощью отдельных эндокринных органов и специализированных эндокринных клеток, которые могут быть локализованы в неэндокринных органах (например, почка). Эндокринная регуляция имеет свои морфологические и функциональные особенности:

— секреция химического вещества (гормона) происходит непосредственно в кровоток;

— эндокринные органы не нуждаются в протоках для транспорта гормона;

— для реализации физиологического эффекта эндокринной регуляции необходима мишень — специальный рецептор на органе или клетке для взаимодействия гормона с клеткой-мишенью;

— передача управляющего химического сигнала осуществляется эндокринными органами практически «без адреса» (с учетом наличия мишени) и в десять раз медленнее, чем при нервной трансмиссии.

Эндокринная система совместно с нервной, аутоагонистической и иммунной системами обеспечивает локальную и системную регуляцию физиологических функций клеток и органов.

Эндокринная система использует для передачи регуляторных сигналов гормоны, которые являются управляющими сигнальными химическими молекула-

ми. Химический гормональный сигнал предназначен только для клеток или органов, которые имеют на своей мембране рецепторы, распознающие гормон.

### 1.1. Гормоны — сигнальные вещества эндокринной системы

По сравнению с нервной гормональная регуляция характеризуется низкой скоростью распространения химического сигнального вещества, а также более продолжительным действием на клетки, имеющие специфические рецепторы к данному гормону. Такие клетки или органы называются мишенями. В эндокринной регуляции взаимодействие гормона и клетки (органа)-мишени происходит по принципу «ключ (гормон) — замок (рецептор на клетке-мишени)» (рис. 1).

Наравне с гормонами передатчиками химических сигналов могут быть системные и локальные нейротрансмиттеры, цитокины, факторы роста и лекарст-

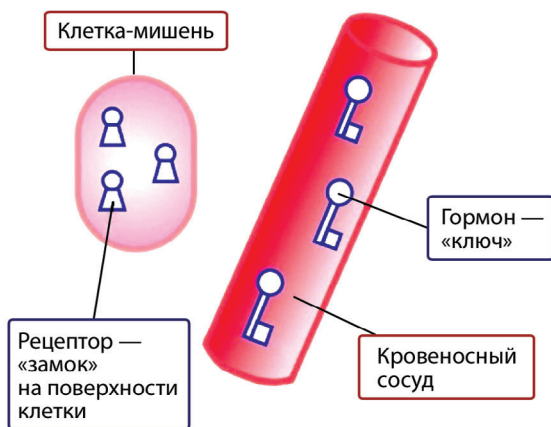


Рис. 1. Схема химического сигналинга

венные средства, токсины и пр. Любые химические вещества, обладающие сигнальными свойствами для клеток-мишеней, называются лигандами.

### 1.2. Химическое строение гормонов

Химическая структура гормонов определяет характер биосинтеза, транспорт, механизм воздействия на клетки-мишени, период полужизни и способ инактивации гормонов.

По химическому строению гормоны делят на три группы: пептидные (или белковые); производные аминокислот и стероидные. Четвертую группу составляют эйкозаноиды — гормоноподобные вещества, оказывающие локальное действие. Пептидные (белковые) гормоны включают от 3 до 250 и более аминокислотных остатков. К ним относятся гормоны гипоталамуса и гипофиза (тиреолиберин, соматолиберин, соматостатин и др. — табл. 1), а также гормоны поджелудочной железы. Гормоны — производные аминокислот — это низкомолекулярные соединения (например, адреналин и норадреналин), которые синтезируются в мозговом веществе надпочечников, а также гормоны щитовидной

железы. Данная группа гормонов в основном представлена производными аминокислоты тирозина. Пептидные гормоны, а также гормоны — производные аминокислот хорошо растворяются в воде. Стероидные гормоны — это жирорастворимые гормоны коркового вещества надпочечников (кортикостероиды), половые гормоны, а также активная форма витамина D<sub>3</sub>. Эйкозаноиды — это биологически активные вещества, являющиеся производными арахидоновой кислоты, которые представлены тремя подклассами соединений: простагландины, тромбоксаны и лейкотриены. Они не растворяются в воде и оказывают воздействие на клетки-мишени, находящиеся вблизи места синтеза эйкозаноидов.

Таблица 1

**Классификация гормонов в зависимости от их химического строения**

Типы гормонов	Названия гормонов
Пептидные гормоны	Адренкортикотропный гормон (кортикотропин, АКТГ) Соматотропный гормон (гормон роста (ГР), соматотропин СТГ) Тиреотропный гормон ( тиреотропин, ТТГ) Лактогенный гормон (пролактин, ЛТГ, ) Лютеинизирующий гормон (лютеотропин, ЛГ) Фолликулостимулирующий гормон (фоллитропин, ФСГ) Меланоцитстимулирующий гормон (меланотропин, МСГ, ) Хорионический гонадотропин (ХГ) Антидиуретический гормон (аргинин-вазопрессин, АДГ) Окситоцин Паратиреоидный гормон (паратгормон, паратирина, ПТГ) Кальцитонин Инсулин Глюкагон
Производные аминокислот	Дофамин Адреналин (эпинефрин) Норадреналин (норэпинефрин, НА) Мелатонин Трийодтиронин (Т3) Тироксин (тетрайодтиронин, Т4)
Стероидные гормоны	Альдостерон Кортизол Кальцитриол Тестостерон (Т) Дигидротестостерон (ДГТ) Эстрогены (Э) Прогестерон (Пр)
Эйкозаноиды	Простагландины (ПГ) Тромбоксаны (ТХ) Лейкотриены (ЛТ)





Клетки, продуцирующие гормоны, могут формировать эндокринные железы либо находиться поодиночке в различных органах, образуя диффузную эндокринную систему (ДЭС), или APUD-систему (*amin* – амины; *precursor* – предшественник; *uptake* – накопление; *decarboxilation* – декарбоксилирование).

В 1968 г. английский патолог и гистохимик Е. Пирс выдвинул теорию существования в организме высокоорганизованной нейроэндокринной клеточной системы, основным свойством которой является способность ее клеток к выработке биогенных аминов и полипептидных гормонов. Входящие в APUD-систему клетки получили название апудоцитов. Апудоциты поглощают аминокислоты – предшественники аминов, образуют из них биогенные амины и/или низкомолекулярные пептидные гормоны путем реакции декарбоксилирования и накапливают эти гормоны в секреторных гранулах. Апудоциты выступают в роли регуляторов гомеостаза и контролируют метаболические процессы в тканях.



Пользуясь лекционным материалом, учебниками и пособиями, впишите недостающие названия эндокринных органов (в левую часть табл. 2) или продуцируемых железой гормонов (в правую часть табл. 2).

Таблица 2

Места синтеза наиболее важных гормонов

Органы/ткани	Гормоны/неuropeпиды
<i>Классические эндокринные железы</i>	
Аденогипофиз	
	Тироксин (Т <sub>4</sub> ), трийодтиронин (Т <sub>3</sub> )
	Паратиреоидный гормон
Островки Лангерганса (поджелудочная железа)	
Кора надпочечников	
	Адреналин, норадреналин, энкефалины
	Эстрогены, гестагены, ингибин, фоллистатин, активин
Яичко	
Плацента	
<i>Гормонпродуцирующие ткани и APUD (ДЭС)-системы</i>	
Шишковидная железа	
Гипоталамус	

Таблица 2 (оконание)

Органы/ткани	Гормоны/нейропептиды
Другие области ЦНС	
	Кальцитонин
Предсердия	
Печень	
	Ренин, эритропоэтин, кальцитриол
	Лептин
Желудочно-кишечный тракт	
Иммунная система	
	Эйкозаноиды, гистамин, серотонин, брадикинин
Эпителий легких	

### 1.3. Жизненный цикл гормонов

Гормоны, как и другие химические вещества, участвующие в передаче информации, имеют свой жизненный цикл. Это означает, что они синтезируются и секретируются по мере востребованности и после выполнения своей функции разрушаются. Жизненный цикл гормонов состоит из следующих этапов: синтез, запасание, секреция в кровоток, транспорт к тканям (клеткам)-мишеням со специфическими белками-переносчиками, конверсия, инактивация. Периферической конверсией называют преобразование гормона в любой ткани, отдаленной от эндокринной железы. Например, дейодирование тироксина ( $T_4$ ) приводит к образованию более активного трийодтиронина ( $T_3$ ). После выполнения своих функций гормоны с помощью ферментов *инактивируются* в печени, легких, почках и *выводятся* из организма.

### 1.4. Механизмы действия гормонов

Механизм действия гормона определяется его химической структурой. «Узнавание» гормона клетками-мишенями обусловлено наличием на них рецепторов.

Рецепторы для пептидных гормонов располагаются на клеточных мембранах. Рецепторы для стероидных гормонов находятся внутри клеток (рис. 2).

**Стероидные гормоны** проникают в клетку и взаимодействуют с ядерным или цитоплазматическим рецептором. Этот комплекс (гормон + рецептор) изменяет транскрипцию ДНК, что приводит к изменениям в синтезе белка, осуществляющего гормональный ответ (см. рис. 2, а).

**Пептидные гормоны** присоединяются к рецептору клеточной мембраны. После взаимодействия гормона с мембранным рецептором происходит активация вторичных посредников (мессенджеров), которые вызывают физиологические эффекты гормонов (см. рис. 2, б).

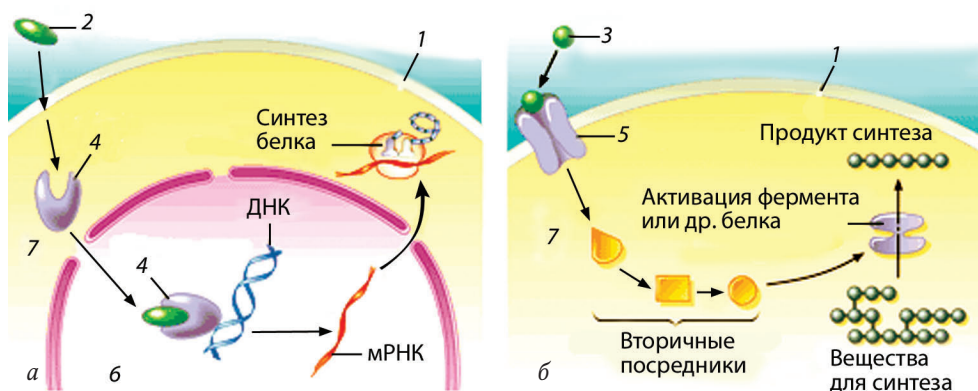


Рис. 2. Механизмы действия гормонов на клетки-мишени:

*a* – механизм действия стероидных и тиреоидных гормонов;

*б* – механизм действия пептидных гормонов:

1 – плазматическая мембрана; 2 – гормон (стероидный или тиреоидный); 3 – гормон (пептидный);

4 – рецепторы гормона в цитоплазме или ядре клетки; 5 – рецептор в мембране клетки; 6 – ядро клетки; 7 – цитоплазма клетки

### 1.5. Способы передачи сигналов гормонами

Передача гормональных сигналов осуществляется двумя способами: системным и локальным.

#### **Системный: эндокринный и нейроэндокринный**

При эндокринной (нейроэндокринной) передаче сигнальных веществ гормоны, нейротрансмиттеры и другие попадают в кровь и оказывают влияние на отдаленные клетки (ткани)-мишени (рис. 3).

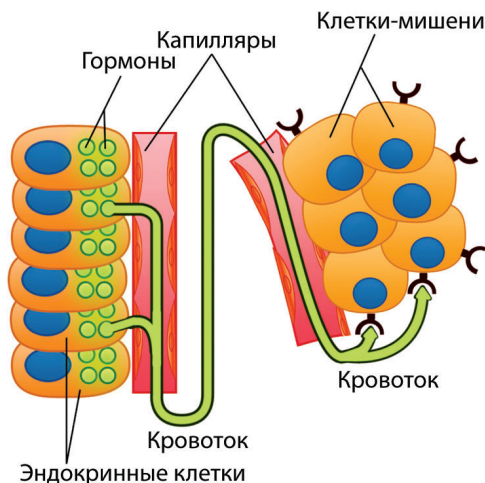


Рис. 3. Эндокринное (нейроэндокринное) действие гормонов

### Локальный: аутокринный, паракринный, юкстакринный

Гормоны оказывают воздействие на клетки-мишени на разных расстояниях от места своего образования и выделения. Аутоакоиды, в отличие от гормонов, действуют на клетки-мишени локально.

**Система аутоакоидов** включает химические сигнальные вещества, которые образуются практически во всех клетках организма и выделяются в межклеточную жидкость. Аутоакоидная система, как и эндокринная, относится к системе гуморальной регуляции (см. рис. 3). В отличие от эндокринной (системной) регуляции, аутоакоиды действуют локально на специфические мембранные рецепторы клеток по механизму аутокринной, паракринной или юкстакринной регуляции. Воздействие клетки на саму себя называется аутокринным (рис. 4).

Паракринное воздействие гормона способствует регуляции работы соседних клеток (рис. 5).

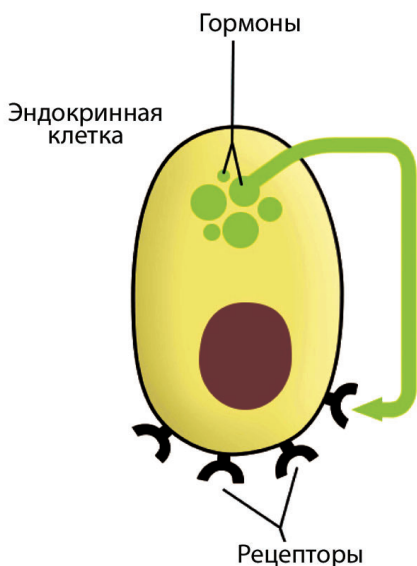


Рис. 4. Аутокринное воздействие гормона

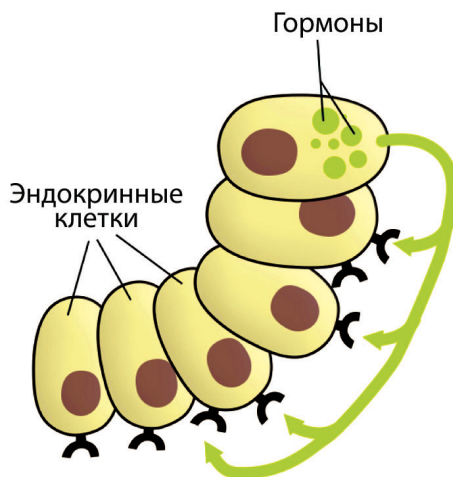


Рис. 5. Паракринное воздействие гормона

Юкстакринное воздействие — это разновидность паракринного действия, при котором гормон не попадает в межклеточную жидкость, а сигнал передается через плазматическую мембрану другой клетки, расположенной рядом.



Слово «аутоакоиды» имеет греческое происхождение и означает *auto* — «сам» и *acos* — «вещество». Чаще всего аутоакоиды изменяют силу и характер ответа клеток на поступающие к мембране клетки электрические и химические сигналы, то есть выступают в роли модулятора. Регуляторными агентами в аутоакоидной системе являются химические передатчики (сигналы):