

Н. П. Кудикина

ОРГАНИЗАЦИЯ ЭНДОКРИННОЙ ФУНКЦИИ У ПЛОСКИХ ЧЕРВЕЙ

Описаны особенности организации эндокринной функции у плоских червей. Она осуществляется при участии двух групп гормонов. В нервной системе обнаружено несколько центров расположения нейросекреторных клеток. Реализация гормонального сигнала происходит при участии элементов аденилатциклазной системы, характерной для позвоночных. У отдельных видов выявлены эндогенные стероиды – половые и глюкокортикоиды. Приведенные данные позволяют говорить о наличии у плоских червей эндокринной системы, структурная организация которой демонстрирует черты сходства с эндокринной системой позвоночных и высших представителей беспозвоночных животных.

This article focuses on the endocrine function in flatworms. It is implemented with the help of two groups of hormones. Several centres of neurosecretory cell localisation were discovered in the nervous system of flatworms. The hormonal signal is transmitted with the help of adenylate cyclase system, which is peculiar to vertebrates. Endogenous steroids – sex steroids and glucocorticoids – were detected in some flatworm species. These data suggest that flatworms have an endocrine system, whose structural organization is similar to that of vertebrates and higher invertebrates.

Ключевые слова: плоские черви, нейросекреторные гормоны, стероидные гормоны, эндокринная система, эндокринная функция.

Key words: flatworms, neurosecretory hormones, steroid hormones, endocrine system, endocrine function.



Гормонам принадлежит важнейшая роль регуляторов и интеграторов метаболизма и самых разных функций в организме — от молекулярного уровня до высших систем, определяющих сложные формы жизнедеятельности: разные формы поведенческих реакций, обеспечение гомеостаза и адаптации к постоянно меняющимся условиям внешней среды [1–3].

Появляется все больше сведений, указывающих на сходство основных интегративных механизмов у всех живых организмов. У наиболее высокоорганизованных беспозвоночных: моллюсков, ракообразных и насекомых — тоже имеется хорошо развитая эндокринная система, контролирующая такие важнейшие процессы онтогенеза, как рост, линька, метаморфоз, половое размножение, адаптация [2; 4–8]. У представителей перечисленных и ряда других групп беспозвоночных в различных отделах ЦНС обнаружены нейросекреторные центры, регулирующие репродуктивную деятельность, рост и обменные процессы в организме. Эти центры связаны сложными регуляторными взаимодействиями, в которых есть элемент иерархии [9–11].

У ряда беспозвоночных показано наличие стероидных гормонов и систем их метаболизма [10–13]. Описаны их количественное распределение, характер и специфика этого распределения в различных органах и тканях представителей важнейших таксономических групп на разных стадиях репродуктивного цикла.

Плоские черви — первая группа беспозвоночных с хорошо сформированной центральной нервной системой, строение и функции которой описаны достаточно подробно [14; 15]. Другая часть интегративного аппарата, представленная эндокринной системой, изучена у них крайне слабо. В связи с этим мы предлагаем обзор имеющихся в литературе данных об организации эндокринной функции у плоских червей.

Можно говорить о наличии трех центров расположения нейросекреторных клеток: центральные ганглии, нервные стволы и кишечные регуляторные структуры.

При исследовании центральных ганглиев у планарий была описана группа нейросекреторных клеток (НСК), одновременно выполняющих функции нервных и эндокринных, — это уни- и биполярные нейроны. Гистологические исследования показали, что их аксоны выходят во внутреннюю полость ганглия, которая может играть роль депо для соединений, синтезируемых НСК, и доставляет регуляторные молекулы к другим клеткам, выполняя, таким образом, одну из функций кровеносной системы позвоночных животных [15].

Сегодня считается установленным, что в НСК планарий синтезируются факторы, которые оказывают влияние на различные процессы: регуляцию размножения (как полового, так и бесполого) [16], созревания и формирования полового аппарата [17], регенерации [18], поведения и памяти [19]. Химическая природа секретируемых нейрогормонов практически не изучена. Высказываются предположения, что это пептиды. У кольчатых и круглых червей пептидная природа была показана для синтезируемого в ЦГ фактора, включающегося в регуляцию водно-солевого гомеостаза, что очень напоминает действие гормонов вазопрессин-окситоцинового ряда позвоночных [20]. Косвенным подтверждением наличия соединений этой группы у плоских червей может служить иммунореактивность планарии *Microstomus lineare* на вве-



дение антисыворотки к вазотоцину — гормону, сходному по структуре с гипофизарным нанопептидом позвоночных вазопрессином. Есть и другие упоминания о наличии у плоских червей гормонов, близких по своей природе к нейрогипофизарным гормонам позвоночных [21; 22].

Помимо церебральных ганглиев НСК были выявлены и в нервных стволах. Морфологически это овальные или округлой формы клетки с крупным ядром, в котором часто обнаруживается ядрышко. Важнейшим их признаком служат наличие хорошо развитой шероховатой эндоплазматической сети, рибосом различной формы, свободно или розеточно расположенных гранул гликогена, а также аппарат Гольджи [17]. Скопления паренхимных клеток с вакуолями, содержащими нейросекрет, располагаются вдоль нервных стволов и занимают почти всю область от ганглия до глотки. В вакуолях находятся плотные круглые и овальные гранулы с нейросекретом, размер которых колеблется от 500 до 2000 Å [18].

Большинство морфогенетических факторов, регулирующих восстановительные процессы в организме плоских червей, синтезируется нейросекреторными клетками церебральных ганглиев и нервных стволов. Их принято делить на две группы: стимуляторы и ингибиторы. Согласно мнению ряда авторов, совокупность тех и других представляет собой систему эндогенных нейрорегуляторов, синтезируемых нейросекретными клетками [20; 23].

Нейросекреторные гранулы были выявлены и внутри волокон нервного плексуса, граничащего с семенниками и яичниками. Это позволило предположить наличие у нейросекреторного материала гонадостимулирующей функции. Доказательством послужили обнаруженные в гомогенатах половых продуктов беспорядочно расположенные субклеточные структуры, окруженные мембранами. Их считают нейросекреторными гранулами [17].

В исследованиях отмечаются некоторые особенности организации клеток кишечника (КК) турбеллярий. Так, например, часть КК планарий рода *Notoplana* обладает определенными морфологическими признаками эндокринных клеток [21]. У планарии *Dendrocoelum lacteum* были выделены эндокринные клетки, предположительно связанные своим происхождением с эпителиальными клетками кишечника и регулирующие процесс пищеварения. Возможность перехода КК в НСК подтверждается работами Шаллер, проведенными на гидрах, лишенных гипостома. Несмотря на это, КК сохраняли свою морфологию [20]. Еще одним доказательством наличия гормонов в пищеварительном тракте планарий могут служить обнаруженные у планарии *Microstomus lineare* иммунные реакции на введение антисыворотки к панкреатическому полипептиду (РР) — гормону, продуцируемому поджелудочной железой и клетками эпителия пищеварительного тракта позвоночных [21].

В кишечнике ряда плоских червей, принадлежащих к различным систематическим группам, описаны интраэпителиальные иммунореактивные клетки к широко распространенному среди многоклеточных, в том числе и позвоночных животных, FRMF-амиду [21; 24; 25].

В разных участках нервной системы наземной планарии *Arthurdedyus triangulatus* обнаружен еще один нейропептид. По своей структуре он напоминает нейропептиды, играющие важную регуляторную роль в ЦНС позвоночных [26].



Механизм действия нейрогормонов у позвоночных реализуется через аденилатциклазную систему (АЦС) в рамках комплекса «гормонрецептор – аденилатциклаза» (АЦ). Именно в его пределах осуществляется восприятие, преобразование гормонального сигнала и его экспрессия в каталитическую функцию АЦ – события, приводящие к образованию вторичного мессенджера гормонального действия, т.е. цАМФ, который катализирует ряд реакций внутри клетки. У низших представителей плоских червей, например пресноводных планарий *Polycelis tenius*, обнаружена АЦ-активность в грубой фракции клеточных частиц, а в гомогенатах тканей кровяной двуустки (*Schistosoma mansoni*) выявлена активность трех ферментов цАМФ-системы [27].

Подтверждением сходства механизмов реализации гормонального сигнала у позвоночных и плоских червей служит включение нейрогипофизарных пептидов позвоночных АКТГ, окситоцина и вазопрессина в регуляцию регенерации у планарий [28; 29]. Активное включение во внутренние механизмы регуляции восстановительного процесса у планарий свойственно и синтетическому дипептиду, который по структуре и биологической активности идентичен дипептиду, выделенному из нативного препарата тимуса – тималина. Механизм действия этого препарата у позвоночных животных основан на специфическом связывании его с мембранами по типу лиганд-рецептор и активизации АЦ [30].

Эпителиальные железы у плоских червей отсутствуют. В доступной нам литературе нет упоминаний о наличии у них систем стероидогенеза. Однако в гомогенатах тела печеночного сосальщика *Fasciola hepatica* были обнаружены и количественно определены стероидные гормоны гидрокортизон и тестостерон, идентичные по своей химической природе гормонам позвоночных [13].

С помощью методов биотестирования была показана гормончувствительность планарий к стероидам позвоночных. Внесение в организм экзогенных гидрокортизона, прогестерона и тестостерона существенно влияло на характер и скорость восстановительного процесса [31].

Согласно современным представлениям, эндокринная система (ЭС) позвоночных и высших беспозвоночных животных состоит из двух основных структурно-функциональных звеньев. Первое из них представлено нейронами ЦНС, способными трансформировать нервные импульсы в гуморальные стимулы – нейрогормоны, по своей природе белково-пептидные вещества. Характерная особенность этой части ЭС – наличие в ЦНС специальных депо для нейросекреторных гормонов. Примером может служить задняя доля гипофиза позвоночных, где депонируются и откуда потом секретируются в кровь гормоны окситоцин-вазопрессинового ряда. Области, по своему назначению близкие к нейрогемальным, обнаружены также в ЦНС брюхоногих и головоногих моллюсков [1–3; 9; 10]. Второе звено – специализированные эпителиальные железы. Часть из них, например гипофиз позвоночных, имеет нейроэктодермальное происхождение и синтезирует тропные гормоны. Они контролируют работу большинства периферических эндокринных желез (половые, надпочечники), вырабатывающих стероидные и другие группы гормонов. Среди беспозвоночных железы, близкие по своему значению гипофизу, обнаружены у брюхоногих и головоногих моллюсков [32; 33]. Несмотря на то что у беспозвоночных отсутствуют



периферические эпителиальные железы, по своему строению близкие железам позвоночных, у многих из них в разных органах и тканях количественно определены эндогенные стероидные гормоны — половые и глюкокортикоиды. Установлено, что эта группа соединений активно участвует в регуляции важнейших процессов жизнедеятельности организма [10; 13].

Следовательно, можно говорить о том, что организация эндокринной функции у плоских червей демонстрирует некоторые похожие черты с приведенной выше схемой, особенно в части организации нейросекреторной системы. Сходство обнаружено и в реализации гормонального сигнала через элементы АЦС. Присутствие у планарий НСК в разных участках ЦНС подтверждает предположение Шеймана [20] о выраженной полифункциональности нейрогормонов у беспозвоночных. Наличие и функциональная активность у плоских червей ряда стероидных гормонов позволяет предполагать существование у них двух основных уровней организации регуляторной системы.

Список литературы

1. Баранов В.Г. Физиология эндокринной системы. Л., 1979.
2. Розен В.Б. Основы эндокринологии. М., 1994.
3. Таппермен Д., Теннермен Х. Физиология обмена веществ и эндокринной системы М., 1989.
4. Fingerman M., Nagabhushanam R., Sarojini K. Vertebrate-type hormones in crustaceans: localization, identification and functional signification // Zool. Sci. 1993. Vol. 10, №1. P. 13–29.
5. Fingerman M. Crustacean endocrinology: a retrospective, prospective, and introspective analysis // Physiol. Zool. 1997. Vol. 70, №3. P. 257–269.
6. Boer H.H., Montagne-Wajer C., Smith F.G. Functional orphology of the light yellow cell and yellow cell neuroendocrine systems of the pond snail *Lymnaea stagnalis* // Cell and Tissue Res. 1994. Vol. 275, №2. P. 361–368.
7. Pokora Z. Hormonalna kontrola procesow rozrodczych u slimacow ptucodysznych. *Stilommatophora* // Prz. Zool. 1989. №2. P. 207–229.
8. Khan H.R., Ashton M.L., Mukai S.T. The effect of mating on the structure of neurosecretory caudodorsal cell in *Helisoma durei* (Mollusca) // Can. J. Zool. 1992. Vol. 32, №5. C.198–214.
9. Кудикина Н.П. Особенности структурно–функциональной организации регуляторных систем у брюхоногих моллюсков // VI Международная конференция по промысловым беспозвоночным: сб. тез. докл. Калининград, 2002. С. 184–188.
10. Кудикина Н.П. Экологические аспекты динамики стероидных гормонов в репродуктивном цикле морских двустворчатых, брюхоногих и головоногих моллюсков // Уч. записки Казанского ун-та. Казань, 2007. Т. 9, №3. С. 214–218.
11. Henry J., Boucaud-Camou E. In vitro stimulation by progesterone of the main nidamental glands biosyntheses in the innerva cephalopod *Sepia officinalis* L. // Comp. Biochem. Physiol. 1994. Vol. 108 A, №1. P. 25–30.
12. Gottfried H., Lusia O. Steroid of invertebrates: the in vitro production of 11-ketotestosterone and other steroids by the eggs of the slug *Arion ater rufus* (Linn) // Nature. Lond. 1966. Vol. 212, №4. P. 488–1489.
13. Никитина С.М. Стероидные гормоны у беспозвоночных животных. Л., 1982.
14. Лиознер Л.Д. Основные проблемы учения о регенерации. М., 1975.
15. Baguna J., Ballestre R. The nervous system in planarians: peripheral, and gastrodermal plexuses, pharynx innervations and the relation ship between central nervous system structure and the acoelomate organization // J. Morfol. 1978. Vol. 1, №2. P. 781–795.



16. *Durchon M., Porchet M.* Controle neuroendocrine de reproduction chez les Vers // *J. Physiol.* 1982. Vol. 72, №6. P. 532–536.
17. *Grasso M., Montano L., Quaglia A.* Studies on the role neurosecretion in the induction of sexualituin planarian agamic strain // *Ultrastructure Research.* 1975. Vol. 52. P. 404–408.
18. *Сахарова Н.Ю., Гордон Р.Я.* Нейросекреторная активность в период регенерации планарий // *Онтогенез.* 1981. Т. 12. С. 152–154.
19. *Gornig W.C., Keller S.* Plathelminthes: The Turberallians // *J. Physiol.* 1971. Vol. 2, №4. P. 1–25.
20. *Шейман И.М., Балобанова Э.Ф.* Пептидные нейрогормоны беспозвоночных // *Успехи Современной Биологии.* 1986. Т. 101, №2. С. 203–212.
21. *Пунин М.Ю.* Эволюция регуляционных систем кишечника // *Ж.Э.Б. и Ф.* 2000. Т. 47, №5. С. 56–78.
22. *Crus L.I., de Santos V., Zataralla G.C. et al.* Invertebrate vasopressin/oxytocin homologs // *I. of Biol. Chem.* 1998. Vol. 262, №33. P. 15821–15824.
23. *Сахарова Н.Ю., Гордон Р.Я.* Нейросекреторная активность в период регенерации планарий // *Онтогенез.* 1981. Т. 12. С. 152–154.
24. *Тирас Х.П., Шейман И.М.* Химические факторы – регуляторы морфогенеза планарий // *Онтогенез.* 1984. Т. 15, №4. С. 374–380.
25. *Пунин М.Ю., Маркасова Т.Г.* FRMF-амид и нейротензин-иммунореактивные элементы в кишечнике некоторых поликлаидид и триклаидид // *Цитология.* 2000. Т. 42, №5. С. 432–428.
26. *Reuter M., Raikofa O.I., Gustafson M.K.S.* An endocrine brain? The patter of FMRF-amide immunoreactivity in Acoela (Plathelminthes) // *Tissue and Cell.* 1998. Vol. 30, №1. P. 57–63.
27. *Dougan P.M., Mair G.R., Halton D.W. et al.* Gene organization and expression of a neuropeptide Y homolog from the land planarian *Arthurdendyus triangulates* // *J. Compar. Neurol.* 2002. Vol. 454, №1. С. 58–64.
28. *Перцева М.Н.* Молекулярные основы развития гормонкомпетентности. Л., 1987.
29. *Шейман И.М., Тирас Х.П., Балобанова Э.Ф.* Морфогенетическая функция нейропептидов // *Sech. Physiol. J.* 1989. Vol. 75, №5. С. 619–625.
30. *Кудикина Н.П.* Интегративные системы гидробионтов и их роль в экологическом мониторинге // *Вестник Российского государственного университета им. И. Канта.* 2008. Вып. 7. С. 60–67.
31. *Кудикина Н.П.* Влияние тимогена на процесс репаративной регенерации планарий *Dugesia lugubris*, Schmidt, 1861 // *Теор. и прикл. аспекты биол.* Калининград, 1999. С. 65–69.
32. *Кудикина Н.П.* Особенности регенерации плоских червей под влиянием соединений гормональной природы // *Тез. докл. X съезда ГБО РАН.* Владивосток, 2009. С. 218–219.
33. *Reich G.* A new of oxtocin/vasopressin family isolated from nerves of the cephalopod *Octopus vulgaris* // *Sech. Physiol.* 1992. Vol. 134. P. 191–194.
34. *Muccai S.T., Steel C.G., Saleuddin A. S. M.* Involvement of endokrin dorsal bodies (Dbs) on protein synthesis in the ovotestis of *Helisoma* (Mollusca) // *Amer. Zool.* 1991. Vol. 31, №5. P. 67 A.

Об авторе

Наталья Петровна Кудикина – канд. биол. наук, доц., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, e-mail: knatpost@mail.ru

About author

Dr. Natalya P. Kudikina – Associate Professor, IKBFU, e-mail: knatpost@mail.ru