

УДК 611.813.14.018:599.323.4

## МИНДАЛЕВИДНЫЙ КОМПЛЕКС МОЗГА: УЛЬТРАСТРУКТУРА ЦЕНТРАЛЬНОГО ЯДРА

Калимуллина Л.Б., Ахмадеев А.В.

*Кафедра морфологии и физиологии человека и животных Башкирского государственного университета, Уфа*

**Проведено электронно-микроскопическое исследование нейронов, глии, сосудов и синапсов центрального ядра миндалевидного комплекса. Полученные результаты позволяют предполагать наличие в этом ядре нейроэндокринных нейронов и существование медленной гидрофобной резервной системы депонирования гормонов.**

В исследованиях по функциональной морфологии и нейроэндокринологии миндалевидного комплекса мозга [3] было показано, что нейроны СЕ реагируют изменением своих кариоволюметрических показателей на колебания уровня гормонов, вызываемых гонадэктомией и имеющих место в динамике эстрального цикла. Этот факт объяснялся авторами как результат опосредованного через репродуктивные центры МК вовлечения этого ядра в процессы интеграции его деятельности. Однако, позднее обнаружение на территории этого ядра активности ферментов ароматазного комплекса, обеспечивающих метаболические перестройки тестостерона в эстрадиол [22] показало, что это ядро вовлечено в половую дифференциацию мозга. Указанный факт позволил предположить возможность существования в составе СЕ нейроэндокринных нейронов, с целью поиска которых было проведено данное исследование.

**Материал и методы.** Исследования проведены на половозрелых крысах линии Вистар, содержащихся в условиях вивария кафедры морфологии и физиологии человека и животных БашГУ весенний период при продолжительности светового дня 14 часов. Животные получали еду и питье *ad libitum*. Материал для исследования брали под контролем бинокулярного микроскопа и фиксировали методом погружения в охлажденный 2,5%-ный раствор глютаральдегида на фосфатном буфере (рН 7,4). Затем его постфиксировали в 2%-ном растворе  $OsO_4$ , обезжизивали в этаноле и заливали в эпон-812. Срезы готовили на ультратоме LKB III, контрастировали цитратом свинца [21] и анализировали в электронном микроскопе JEM 200 EX (75 кВ).

**Результаты.** Анализ ультраструктурных характеристик нейронов на малых увеличениях электронного микроскопа (три-пять тысяч) показал, что они различаются по своей осмиофилии. Одни нейроны выглядят темными (они интен-

сивно поглощают электроны), другие – светлыми. В последних светлое клеточное ядро было окружено ободком также светлой цитоплазмы. Однако, между этими двумя крайними вариантами было много переходных форм, в которых светлое ядро обрамлялось различной по интенсивности осмиофилии цитоплазмой.

При больших увеличениях удавалось рассмотреть детали выявлявшихся нейронов. В темных нейронах поверхность наружной ядерной мембраны имела многочисленные выпячивания и инвагинации, при этом внутрь последних вдавались язычки цитоплазмы. В интенсивно осмиофильном ядре определялось большое количество гранулярного материала, который носил характер интерхроматиновых и перихроматиновых гранул. Крупное рыхлое ядрышко выявлялось чаще всего в центре ядра. Перинуклеарное пространство было расширено (105-115 нм), количество краевого гетерохроматина уменьшено, а число ядерных пор увеличено. Удавалось видеть переход перинуклеарного пространства в канальцы цитоплазматической сети, которые часто имели расширенный просвет. Цитоплазматическая сеть носила местами характер гранулярной, в других участках на поверхности мембран не выявлялись рибосомы, и она была гладкой.

Комплекс Гольджи чаще всего был представлен мембранным компонентом. Стопки цистерн состояли из пяти-шести элементов, на отдельных участках они были расширены с формированием вакуолей. Количество микропузырьков, которые выявлялись, как правило, в краевых зонах цистерн, было небольшим. Поблизости от цистерн определялись осмиофильные вакуоли и отдельные лизосомы. Количество митохондрий было большим, они носили характер темных.

В светлых нейронах на поверхности клеточного ядра определялось незначительное количе-

ство выбуханий и инвагинаций, они были неглубокими. Количество краевого хроматина под внутренней ядерной мембраной было больше по сравнению с темными нейронами. Перинуклерное пространство, ограниченное двумя ядерными мембранами, было узким, с небольшими участками расширений. Кариоплазма содержала многочисленные интерхроматиновые и перихроматиновые гранулы, в центре ядра определялось компактное ядрышко. Митохондрии располагались в различных зонах клетки и были представлены небольшими группами. Комплекс Гольджи находился в перинуклеарной зоне, содержал меньшее количество цистерн и микропузырьков. В периферических зонах цитоплазмы определялись осмиофильные лизосомы, контуры которых часто имели причудливые очертания. В перикарионе светлых нейронов определялись элементарные нейросекреторные гранулы, диаметр которых находился в пределах от 70 до 110 нм. Приведенные выше сведения подтвердили наличие в составе СЕ нейроэндокринных нейронов, которые в зависимости от функционального состояния могут носить характер темных или светлых

Нейропиль ядра содержал миелиновые и безмиелиновые нервные волокна, которые разрезались в различных направлениях. Внутри терминалей были видны многочисленные пузырьки с плотным центром, диаметр которых колебался либо от 70 до 90 нм, либо от 100 до 120 нм. Можно думать, что первая популяция этих пузырьков содержала катехоламины, в то время как во вторых находились нейропептиды [6]. Сообщения о выявлении в составе СЕ катехоламинов содержатся в работах Asan [12,13], а о присутствии нейропептидов, таких как кортикотропин-рилизинг-фактор и субстанция Р пишут [17,18].

Наряду с этим, было немало и мелких светлых пузырьков, контуры которых были округлыми и овальными. Согласно литературе в них могли находиться такие нейромедиаторы как ацетилхолин и ГАМК [20]. Некоторые терминали содержали опустошенные везикулы, которые могли оставаться после высвобождения медиатора в межклеточные щели. Считается, что в ядре существует так называемая объемная трансмиссия, присущая катехоламинам, которые способны оказывать модулирующее действие на синаптическую передачу [15].

Синаптические контакты, обнаруженные в ядре, носили характер аксосоматических и аксошипиковых. При этом синаптические пузырьки были представлены светлыми пузырьками и везикулами с плотным центром.

Выявились и определенные особенности строения стенок капилляров, которые давали

расширения на определенных участках, приводившие к формированию периэндотелиальных пространств.

Найдены интересные особенности взаимоотношения капилляров и астроцитов. Они сходны с теми, которые мы встретили при проведении электронно-микроскопических исследований структур заднего отдела, также относящихся к редковетвистой нейронной системе мозга [4,5].

В стенке артериального капилляра (он идентифицирован на основании дифференцировочных критериев, разработанных [11]) определялось наличие трех, а в одном из участков и четырех, листков базальной мембраны. В эндотелии выявлялись многочисленные ундулирующие складки, имевшие разветвления на своих длинных концах. Между листками базальной мембраны определялся неклеточный матрикс, содержащий большое число микропиноцитозных везикул. Наружный листок базальной мембраны формировал множество выпячиваний в форме складок, которые вдавались в цитоплазму прилежащего астроцита. Вокруг сосуда располагалось несколько астроцитов, которые имели цитологические характеристики сходные с питуицитами нейрогипофиза.

**Обсуждение.** По сложности структурной организации и своему значению центральное ядро миндалевидного комплекса мозга (СЕ) занимает в нем особое место. В его составе различают ряд субъядер, впервые детально описанных McDonald [19]. Позднее было установлено, что представительство субъядер (медиального, латерального, промежуточного и латеро-капсулярного) имеет особенности на его различных ростокаудальных уровнях [10]. Эти данные показали сложность цитоархитектонических характеристик СЕ по сравнению с другими ядерными образованиями МК. Можно полагать, что этот факт отражает многоэтапность его формирования в филогенезе позвоночных, когда оно, выполняющее функции канала выхода информации из МК в другие структуры мозга, претерпевало пластические перестройки.

Известно, что это ядро формируется на ранних этапах филогенеза и онтогенеза [14]. Наиболее древней его частью является медиальное субъядро. Оно располагается на стыке с гипоталамической областью мозга, отделяясь от нее оптическим трактом. Основу этих двух областей мозга составляет редковетвистая нейронная система, представленная короткодendrитными и ретикулярными нейронами [7]. Редковетвистая нейронная система гипоталамуса и СЕ, а в заднем отделе МК - гипоталамуса и структур палеоамигдалы, формирует единое пространство, позволяющее предполагать, что и частям МК, при-

мыкающим к гипоталамической области мозга, могут быть присущи нейроэндокринные свойства, подробно изученные в гипоталамусе, который образно именуют эндокринным мозгом [2].

Выявившиеся особенности строения сосудистой стенки, а также характерные черты цитологии астроцитарной глии требуют дальнейшего изучения, однако, позволяют предполагать наличие в СЕ, как и в дорсомедиальном ядре заднего отдела МК особого механизма освобождения в кровь нейросекреторных субстанций, которая получила название - медленной гидрофобной резервной системы, осуществляющей депонирование гормонов [1, 9, 16].

Итак, электронномикроскопических анализ центрального ядра МК показал, что в его составе присутствуют темные и светлые нейроны, которые вследствие наличия у них признаков секреторной активности и следуя совету А.Л. Поленова можно именовать нейроэндокринными нейронами. Он также позволил выявить новые интересные факты в возможных механизмах нейроэндокринных функций МК.

Работа поддержана грантом Министерства образования РФ

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Акмаев И.Г. Структурные основы механизмов гипоталамической регуляции эндокринных функций. М., Наука, 1979. 228 С.
2. Акмаев И.Г. В кн.: Актуальные вопросы современной нейроэндокринологии. М., Наука, 1981.
3. Акмаев И.Г., Калимуллина Л.Б. Миндалевидный комплекс мозга: функциональная морфология и нейроэндокринология. М., Наука, 1993. 272 С.
4. Ахмадеев А.В., Калимуллина, З.Р.Минибаева и др. Бюлл. эксп. биол. и мед., 1999, т. 128, № 10, с.466-470
5. Ахмадеев А.В., Калимуллина Л.Б. Морфология ядерных и палеокортикальных структур заднего отдела миндалевидного комплекса мозга. Уфа, БашГУ, 2002. 160 С.
6. Гарлов П.Е.. Цитология. 2002, т. 44, № 8, с. 747-767.
7. Леонтович Т.А. Нейронная организация подкорковых образований переднего мозга. М., Медицина, 1979. 384 С.
8. Поленов А.Л. В кн.: Нейроэндокринология. 1993. СПб., Наука, с.31-70.
9. Сааков Б.А., Бардахчян Э.А., Гульянц Э.С., Н.Н.Наумов. Электронная микроскопия нейросекреторной системы. М., Медицина, 1972. 192 С.
10. Шарипова Л.А., Калимуллина Л.Б. Минибаева З.Р. Структурно-функциональная организация центрального ядра миндалевидного комплекса. Уфа, БашГУ, 2003. 143 С.
11. Шахламов В.А. Капилляры. М., Медицина, 1971. 178 С.
12. Asan E. Cell. Tissue Res., 1997, v.107, № 1, P.65-79
13. Asan E. Histochem. Cell Biol., 1997, v.288, № 3, P.449-69.
14. Bayer S.A. J.Comp.Neurol., 1980, v.194, N4, P.845-75.
15. Объемная трансмиссия Freedman L.J., Shi C. Neuroscience, 2001, 104(4), 1067-84
16. Giesing M. Цит. по [1].
17. Lu Y.C., Gu Y.H., Liang Y et al. Sheng Li Hsueh. Pao, 1997, v.49, №4, P.419-26.
18. Makino S., Shibasaki, Yamauchi N. et al. Brain Res. 1999, v.850, № 1-2, P.136-143.
19. McDonald A.J. J.Comp.Neurol., 1982, v. 208, N4, P.401-408.
20. McDonald A.J., Augustine J.R. Neuroscience 1993, v. 52, № 2, P. 281-294.
21. Reynolds E.S. J. Cell Biol., 1963, v.17, P.208-212.
22. Shinoda K., Nagano M., Osaka Y. J.Comp. Neurol., 1994, v.343, P.113-129.

#### **Amygdala: the ultrastructure of central nucleus**

Kalimullina L.B., Akhmadeev A.V.

The ultrastructure of neurons, glia cells, vessels and synapsis are described in the central nucleus of Amygdala. Using this results we can suggest the presence of neuroendocrine neurons and the reserve hydrophob system of depository of hormones in Amygdala.