

10. Li J., Zhu M., Manning-Bog A.B. et al. Dopamine and L-dopa disaggregate amyloid fibrils: implications for Parkinson's and Alzheimer's disease. *FASEB J.*, 2004, v. 18, № 9, p. 962–964.
11. Lulevich V., Zimmer C.C., Hong H.S. et al. Single-cell mechanics provides a sensitive and quantitative means for probing amyloid-beta peptide and neuronal cell interactions. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 2010, v. 107, № 31, p. 13872–13877.

Поступила в редакцию 29.03.2011  
Получена после доработки 08.07.2011

## INDUCTION OF NEURON MORPHOLOGICAL RESISTANCE TO $\beta$ -AMYLOID

*N.A. Kokanova, G.Z. Mikhailova, R.Sh. Shtanchayev, N.R. Tiras and D.A. Moshkov*

The effect of training adaptive vestibular stimulations on goldfish Mauthner neurons (MN) function and three-dimensional morphology was studied in experimental amyloidosis caused

by application of aggregated beta-amyloid protein ( $A\beta_{25-35}$ ). It was found that as compared with control, adapted (trained) MN gained significant resistance to  $A\beta_{25-35}$ . Taking into consideration the key role of dopamine in MN adaptation to sensory stimulations, its effect on the development of model amyloidosis was studied. It was shown that the application of dopamine onto MN as well as the increase of its concentration in brain by means of L-dopa protected MN structure and function against pathogenic influence of  $A\beta_{25-35}$ . Using electron microscopy it was shown that dopamine protective action on neurons was due to its ability to dissociate polymer amyloid molecules into short inactive fragments.

**Key words:** *Mauthner neurons, three-dimensional structure, function,  $\beta$ -amyloid, adaptation*

Neuron Ultrastructure Laboratory, Institute of Theoretical and Experimental Biophysics, RAS, Pushchino; Master Educational Program in Medical-Biological Sciences, Pushchino State University

© В.М. Черток, А.Е. Коцюба, 2012  
УДК 611.81.018.8:599.323.4

*В.М. Черток и А.Е. Коцюба*

## $H_2S$ -ПОЗИТИВНЫЕ НЕЙРОНЫ В НЕКОТОРЫХ ЯДРАХ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОГО ЦЕНТРА ГОЛОВНОГО МОЗГА КРЫСЫ

Кафедра анатомии человека (зав. — проф. В.М. Черток), Владивостокский государственный медицинский университет

Цель работы состояла в получении сведений о наличии и распределении  $H_2S^+$ -нейронов в ядрах продолговатого мозга и моста, входящих в состав центра регуляции сердечно-сосудистой деятельности. С помощью иммуноцитохимического метода выявления цистатионин  $\beta$ -синтазы у крыс линии Вистар ( $n=16$ ) в исследуемых ядрах установлено наличие  $H_2S^+$ -нейронов. Более интенсивная реакция проявляется в крупных клетках двигательных ядер, тогда как мелкие клетки чувствительных ядер обычно имеют низкую и умеренную активность фермента. Полученные данные позволяют по-новому представить организацию работы нервных центров головного мозга, в том числе оказывающих управляющее воздействие на сердечно-сосудистую систему.

**Ключевые слова:**  *$H_2S^+$ -нейроны, цистатионин  $\beta$ -синтаза, ядра продолговатого мозга и моста*

Эндогенный сероводород ( $H_2S$ ) — один из наименее изученных газообразных нейромедиаторов, который, как теперь установлено, участвует в многочисленных физиологических и патологических процессах в организме [7]. Подобно оксиду азота и монооксиду углерода,  $H_2S$  оказывает сосудорасширяющее действие [16, 17]. Имеются косвенные доказательства участия  $H_2S$  в центральной регуляции гемодинамики [8, 13], хотя морфологических данных о наличии нервных клеток, использующих в качестве нейротрансмиттера  $H_2S$  в соответствующих ядрах ствола мозга, насколько нам известно, до сих пор не представлено. Поэтому цель настоящей работы состояла

в получении сведений о наличии и распределении  $H_2S$ -позитивных нейронов ( $H_2S^+$ -нейронов) в некоторых ядрах, входящих в состав центра регуляции сердечно-сосудистой деятельности.

**Материал и методы.** Исследование выполнено с соблюдением «Правил проведения работ с использованием экспериментальных животных» на материале, полученном от 16 крыс линии Вистар массой 240–280 г, содержащихся в условиях лабораторного вивария на стандартном рационе. Животных выводили из эксперимента внутривенным введением раствора нембутала (5 мг на 100 г массы). Из полости черепа извлекали головной мозг, отделяли от него мост и продолговатый мозг, которые фиксировали в течение 1 ч в 4% растворе параформальдегида, приготовленном на 0,1 М фосфатном буфере (рН 7,4) при 4 °С, и делали криостат-

ные срезы толщиной 30 мкм, которые обрабатывали для иммуноцитохимического выявления цистатионин β-синтазы (CBS) — фермента, участвующего в синтезе  $H_2S$  в ЦНС [7, 16]. Для этого срезы последовательно инкубировали с 1% нормальной сывороткой лошади 1 ч при комнатной температуре с мышиными моноклональными антителами к CSB (в разведении 1:1000) (Abscam, Великобритания) при температуре 4 °C в течение 18 ч, биотинилированными антителами лошади к IgG мыши в разведении 1:100 (VectorLabs, США) 2 ч, а также с авидин-пероксидазным комплексом (Vectastain Elite ABC Kit, VectorLabs, США) 1 ч при комнатной температуре. Между инкубациями проводили отмывку препаратов фосфатным буфером. Для выявления продуктов реакции под контролем микроскопа срезы инкубировали в субстрате для обнаружения пероксидазы (VIP Substrate Kit, VectorLabs, США). Затем срезы промывали, обезжизивали по стандартной методике и заключали в полистирол. Для оценки специфичности реакции проводили окрашивание срезов без первичных или вторичных антител.

Изучали ядро солитарного тракта (ЯСТ), дорсальное ядро блуждающего нерва (ДЯБН), а также ретикулярные ядра — мелкоклеточное (РМЯ), гигантоклеточное (РГЯ), окологигантоклеточное (РОГЯ), центральное (РЦЯ), околоцентральное (РОЦЯ), латеральное (РЛЯ), оральное (РОМЯ) и каудальное (РКМЯ) мостовые ядра, покрывшее ядро моста (РПЯМ) и ядра шва задней группы — бледное (БЯШ), темное (ТЯШ), крупное (КЯШ) и мостовое (МЯШ). В серии из последовательных срезов один окрашивали 0,5% раствором метиленового синего, а следующий за ним обрабатывали для выявления  $H_2S^+$ -нейронов. При изучении топографии ядер каждый из двух срезов исследовали раздельно в двух микроскопах, в окуляры которых помещали одинаковые сетки с равновеликими квадратами. Каждое ядро ориентировали по характерным признакам в сагиттальной и фронтальной плоскостях, после чего его контуры воспроизводили на экране монитора в соответствии с положением ядер относительно координат сетки. Для уточнения положения ядер использовали атлас мозга крысы [14].

В проекции среза каждого ядра определяли общее число нейронов и долю, приходящуюся на  $H_2S^+$ -нейроны. Среди последних вычисляли количество нейронов с низкой (30–50 усл. ед.), умеренной (51–70 усл. ед.), высокой (71–100 усл. ед.) и очень высокой (свыше 100 усл. ед.) оптической плотностью преципитата (ОПП), которую находили по сумме яркости пикселей при сканировании профиля каждого нейрона в ядре, как это было описано ранее [1]. Кроме того, в каждом ядре вычисляли величину среднего значения ОПП в иммунопозитивных нейронах (в усл. ед.), а также среднюю площадь профильного поля этих клеток ( $мкм^2$ ).

Количественную обработку материала проводили с использованием автоматизированной системы анализа изображений Allegro MC. Данные количественного анализа представляли в виде среднего значения и стандартной ошибки среднего, полученных от каждого животного при обработке не менее 12 срезов. Для оценки значимости цифровых данных применяли t-критерий Стьюдента. Различия считали статистически значимыми при  $P < 0,05$ .

**Результаты исследования.** В местах локализации активности CBS выпадает гранулярный осадок, который в зависимости от плотности окрашивает нейроны, нервные проводники,

отдельные капилляры в различные оттенки коричневого цвета (рис. 1, а–г).

При специфической иммуноцитохимической реакции во всех исследованных ядрах выявляются  $H_2S^+$ -нейроны, различающиеся структурой, плотностью и цветом выпавшего осадка. На основании этих признаков можно выделить, по крайней мере, 4 типа клеток с характерным для каждого из них значением ОПП: низким, умеренным, высоким и очень высоким (рис. 2, а–г). Количественное распределение таких нейронов в изученных ядрах продолговатого мозга и моста имеет определенные особенности (таблица).

Клетки с низкими значениями ОПП составляют не менее 50% от общего количества  $H_2S^+$ -нейронов в ЯСТ, ДЯБН, РМЯ и РЛЯ. В нейронах выпадает мелкозернистый преципитат светло-коричневого цвета, который в цитоплазме представлен отдельно лежащими или слившимися гранулами, концентрирующимися на периферии клетки (см. рис. 1, а; 2, а).

В нейронах с умеренным содержанием CBS продукт реакции формирует более плотный цитоплазматический осадок коричневого цвета, сливающийся иногда в сплошное кольцо в околоядерной зоне (см. рис. 2, б). Зачастую скопление гранул преципитата выявляется в них над ядром и в прилежащей к нему цитоплазме, тогда как в остальной ее части определяется лишь редкая россыпь гранул. Такие нейроны преобладают в ЯСТ, КЯШ и РОМЯ. Особенно много их в ДЯБН, где их число достигает 40,7%.

Клеток с высоким уровнем ОПП больше всего в РГЯ, РОГЯ и РПЯМ, где их количество составляет около 40%  $H_2S^+$ -нейронов. Относительно много таких нейронов (25–35%) в БЯШ, ТЯШ, РЦЯ, РОЦЯ, РОМЯ и РКМЯ (см. рис. 1, в). Эти нейроны характеризуются наличием плотного крупногранулярного осадка темно-коричневого цвета, который равномерно заполняет всю цитоплазму клеток, оставляя свободной лишь зону ядра (см. рис. 2, в). Осадок выпадает также в отростках клеток, маркируя их на большем или меньшем протяжении.

В клетках с очень высокими значениями ОПП массивный гомогенный осадок темно-коричневого (почти черного) цвета заполняет все тело клетки и начальные отделы отростков (см. рис. 2, г). Такие нейроны постоянно определяются в РГЯ, РЦЯ, РМЯ, РПЯМ и РОГЯ, где их доля составляет 8–12% (см. рис. 1, в, г). В ЯСТ, ДЯБН и РЛЯ они единичны или, что чаще, отсутствуют.

Особенности количественного распределения  $H_2S^+$ -нейронов с той или иной интенсивностью реакции нашли отражение в различиях значений

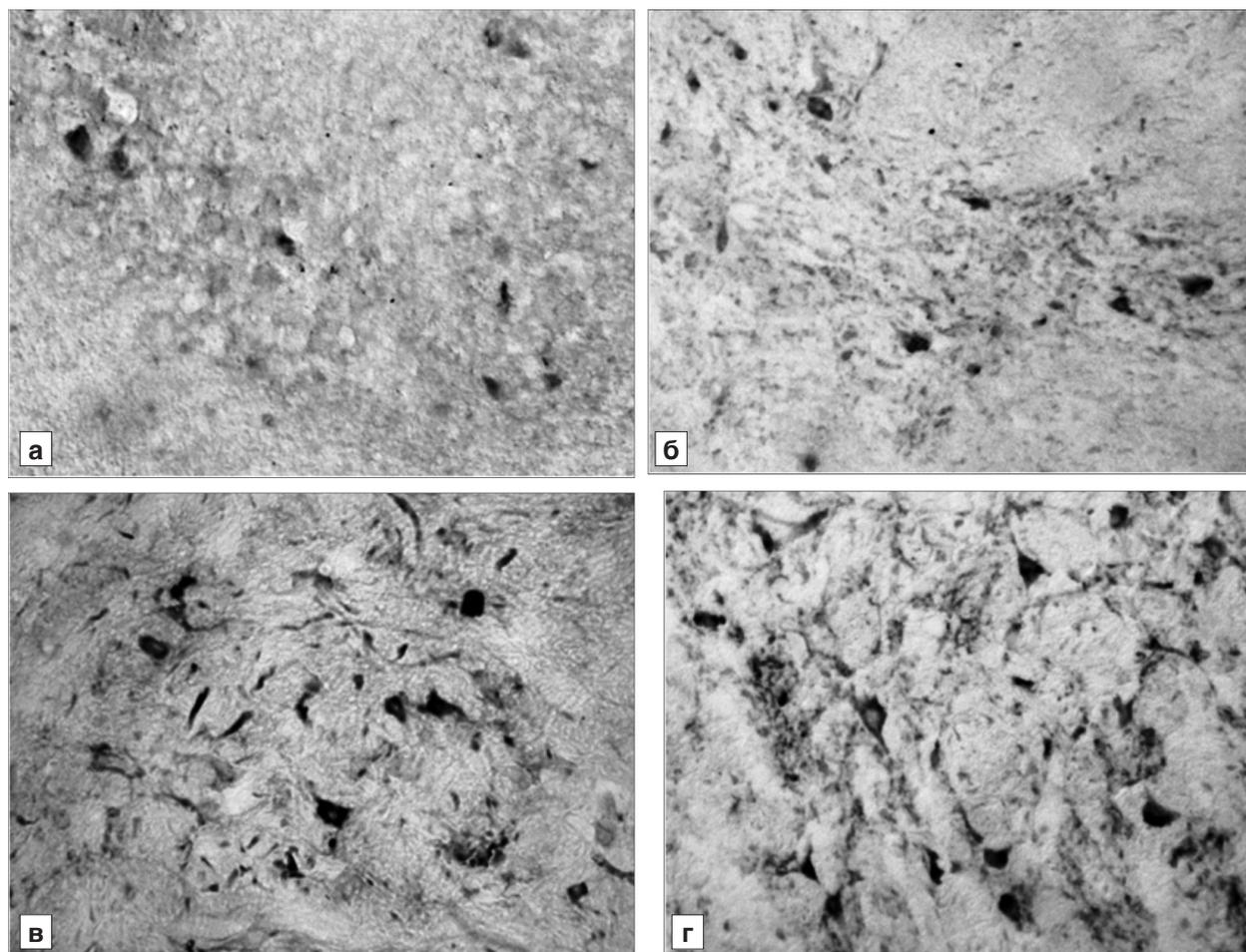


Рис. 1. Цистатионин β-синтазо-позитивные нейроны, нервные волокна и капилляры в ядре солитарного тракта (а), мостовом ядре шва (б), ретикулярном центральном (в) и гигантоклеточном (г) ядрах.  
Иммуноцитохимический метод. Об. 10, ок. 10.

среднего показателя ОПП в изученных ядрах (см. таблицу). Анализ полученных данных показал, что за редким исключением его уровень в ядрах продолговатого мозга выше, чем моста. В последнем наибольшие цифры установлены в двух ретикулярных ядрах — РПЯМ и РОМЯ, но величина показателя в них около трети уступает значениям, вычисленным в тех ядрах продолговатого мозга, которые имеют максимальный уровень ОПП (РГЯ, РОГЯ, РЦЯ). Впрочем, наименьшие значения среднего показателя ОПП определяются также в продолговатом мозгу — в чувствительных ядрах (ЯСТ, РЛЯ) и в вегетативном ядре (ДЯБН).

В ядрах продолговатого мозга, как и моста, прослеживается определенная зависимость между активностью CBS и величиной нейронов (см. рис. 1, а–г). В тех ядрах (РГЯ, РОГЯ, РЦЯ, РОЦЯ, РОМЯ, РКМЯ, РПЯМ), в которых чаще встречаются крупные клетки, характерные для ядер с двигательными функциями, значения среднего показателя ОПП, как правило, выше, чем в чув-

ствительных (ЯСТ, РЛЯ), в которых велика доля мелких нейронов. Между тем, среди последних также наблюдаются клетки с высокой интенсивностью реакции: обычно они располагаются на периферии ядер или между ядрами, а среди крупных нейронов встречаются клетки с умеренным или низким уровнем ОПП.

Содержание нейронов, экспрессирующих CBS, в изученных ядрах значительно варьирует (см. таблицу). Доля таких клеток в некоторых из них не превышает 3–4% (ЯСТ, ДЯБН, РЛЯ и БЯШ), в других (РКМЯ, РОЦЯ, РГЯ) достигает 12–14% от общего числа клеток. При этом, не отмечено зависимости между количеством  $H_2S^+$ -нейронов в ядрах и значениями в них среднего показателем ОПП. Имеются ядра как включающие относительно большое количество клеток с невысокой интенсивностью реакции (РОЦА, РОМЯ, РКМЯ), так и ядра с ограниченным количеством иммунопозитивных нейронов с высокой концентрацией CBS (РОГЯ, РПЯМ).

**Распределение нейронов с различной активностью цистатионин β-синтазы в ядрах продолговатого мозга и моста крысы ( $\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$ )**

Ядра	Доля нейронов с различной активностью фермента (%)				СПАФ (усл. ед.)	Доля H <sub>2</sub> S-нейронов (%)
	низкая	умеренная	высокая	очень высокая		
ЯСТ	52±8	37±4	11,0±2,3	0	12±4	3,0±0,05
ДЯБН	50±9	41±7	9,3±1,7	0	12±4	4,0±0,3
РМЯ	51±14	30±7	10±5	8,2±2,1	21±8	6,31±0,09
РГЯ	25±4	22±5	40±8	12,3±2,5	64±10	14,1±0,8
РОГЯ	24±5	28±7	38±6	10±3	61±12	12,4±1,2
РЛЯ	52±8	25±4	23±5	0	15±4	3,71±0,06
РЦЯ	30±6	24±4	35±5	11,1±1,7	58±8	10,10±0,12
РОЦЯ	40±8	32±5	26±4	2,0±0,3	25±5	13,21±0,10
БЯШ	43±5	26,2±2,9	25±4	6,1±0,9	39±8	5,40±0,07
КЯШ	36±5	37±6	22,2±2,7	4,2±0,7	37±6	7,10±0,11
ТЯШ	35±4	32±4	27,1±2,5	5,1±0,5	35±4	6,31±0,08
МЯШ	42±6	33±4	20±3	4,3±0,6	27,9±1,3	5,51±0,04
РПЯМ	23±7	27±5	39±5	9,4±1,3	25,5±2,8	9,1±1,1
РОМЯ	30±5	36±4	30±4	3,1±0,3	23±4	8,20±0,07
РКМЯ	34±6	27±4	31±4	7,2±0,4	24±5	12,31±0,06

Примечание. Обозначения ядер см. в разделе «Материал и методы», СПАФ — средний показатель активности фермента в ядре.

Обсуждение полученных данных. В отличие от другого эндогенного газообразного нейромедиатора — оксида азота, о функции H<sub>2</sub>S в нервной системе известно совсем немного. В мозгу крысы, человека и быка были обнаружены относительно высокие концентрации H<sub>2</sub>S (по разным данным от 50 до 160 мкмоль), что послужило основанием для предположения о его важной роли в работе нервной системы [4, 5, 16]. При ряде нейродегенеративных заболеваний отмечено снижение концентрации этого газа, а при болезни Дауна — его избыточный синтез в мозгу [8, 11].

Эндогенно H<sub>2</sub>S синтезируется в нервной системе из L-цистеина пиридоксаль-5'-фосфат-зависимыми ферментами — CBS и цистатионин γ-лиазой (CSE). Экспрессия CSE в периферической нервной системе отмечена в нейронах и нервных проводниках брыжеечного сплетения, т.е. H<sub>2</sub>S, подобно оксиду азота, может быть нейротрансмиттером в холинергических, неадренергических нервах [10]. В головном мозгу авторы отмечают очень низкий уровень активности CSE, за исключением белого вещества некоторых его отделов [5, 6]. Основным для синтеза этого газа в ЦНС является CBS, о чем свидетельствует его транскрипционная экспрессия в мозгу крысы, а также эксперименты с нокаутными по этому ферменту животными.

Иммуногистохимические исследования локализации H<sub>2</sub>S-позитивных структур в головном мозгу единичны. Недавно появились сообщения о

наличие H<sub>2</sub>S<sup>+</sup>-нейронов в гиппокампе и мозжечке [7, 10]. Экспериментальные работы, выполненные на культуре тканей, позволяют сделать вывод о тесном взаимодействии H<sub>2</sub>S и астроцитов [12]. Проведенное нами исследование свидетельствует о том, что во многих ядрах продолговатого мозга и моста, имеющих отношение к центральной регуляции сосудистого тонуса, постоянно определяются H<sub>2</sub>S<sup>+</sup>-нейроны, отличающиеся концентрацией CBS. Наиболее плотное отложение продукта реакции чаще наблюдается в крупных клетках двигательных ядер, часть из которых связаны с преганглионарными симпатическими нейронами спинного мозга, тогда как мелкие клетки чувствительных ядер обычно имеют низкую и умеренную ОПП. Помимо нейронов, экспрессия фермента наблюдается в нервных волокнах и стенке капилляров.

Результаты сравнительного анализа показывают, что доля иммунопозитивных нейронов в разных ядрах колеблется довольно значительно — от 2 до 14%. Больше всего их находится в ядрах медиального эффекторного поля и шва (РГЯ, РОГЯ, РОЦЯ, РЦЯ, РКМЯ, РОМЯ, ядра шва), в которых отмечено высокое содержание серотонин- и нитроксидаергических нейронов [1, 3]. Хорошо известно участие серотонина во многих физиологических процессах в нервной системе, включая регуляцию гемодинамики и артериального давления. Ключевую роль в многообразном действии этого моноамина современные исследо-

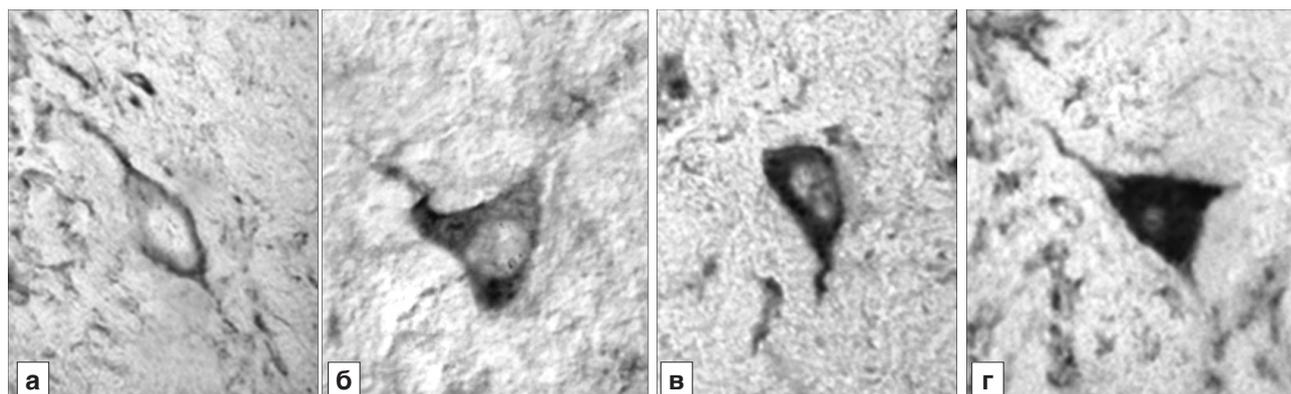


Рис. 2. Распределение продукта реакции в нейронах с низкой (а), умеренной (б), высокой (в) и очень высокой (г) плотностью отложения преципитата в цитоплазме при выявлении цистатионин β-синтазы.

Иммуноцитохимический метод. Об. 20, ок. 10.

ватели отводят оксиду азота, способному регулировать содержание серотонина в мозгу [2]. Вместе с тем, имеются сообщения, свидетельствующие, во-первых, о тесном взаимодействии нейронов, аккумулирующих оксид азота и  $H_2S$  в ЦНС [13, 16], во-вторых, о нейромодуляторной функции эндогенного  $H_2S$ , который, так же как и оксид азота, может контролировать уровень серотонина и норадреналина в мозгу [5, 15]. В отличие от оксида азота, время полужизни которого в среднем составляет 5 с, а расстояние диффузии 100 мкм,  $H_2S$  обеспечивает развитие не столь мощной, зато долговременной потенциации с более широкой зоной воздействия [9]. В определенной степени это связано с тем, что в физиологических концентрациях  $H_2S$  селективно повышает активность рецепторов N-метил D-аспарагиновой кислоты (NMDA), облегчая индукцию долговременной потенциации [5].

В целом, данные настоящего исследования позволяют по-новому представить организацию работы нервных центров головного мозга, в том числе оказывающих управляющее воздействие на сердечно-сосудистую систему.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Федерального агентства по науке и инновациям. Федеральная целевая программа «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (госконтракт № 14.740.11.0186).*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Коцюба А.Е. и Черток В.М. Пространственная организация серотонинергических и нитроксидергических нейронов в некоторых ядрах бульбарного отдела сердечнососудистого центра человека. Тихоокеанский мед. журн., 2010, № 4, с. 43–46.
2. Салей А.П. и Рецкий М.И. Роль оксида азота в формировании мотивационного поведения и обучения. Вестн. ВГУ. Сер. хим., биол., фармакол., 2003, № 1, с. 75–80.

3. Черток В.М., Коцюба А.Е. и Бабич Е.В. Нитроксидергические нейроны в некоторых ядрах продолговатого мозга человека и крысы. Цитология, 2009, т. 51, № 7, с. 612–616.
4. Abe K. and Kimura H. The possible role of hydrogen sulfide as an endogenous neuromodulator. J. Neurosci., 1996, v. 16, p. 1066–1071.
5. Boehning D. and Snyder S.H. Novel neural modulators. Annu. Rev. Neurosci., 2003, v. 6, p. 105–131.
6. Eto K., Ogasawara M., Umemura K. et al. Hydrogen sulfide is produced in response to neuronal excitation. J. Neurosci., 2002, v. 22, p. 3386–3391.
7. Gadalla M.M. and Snyder S.H. Hydrogen sulfide as a gasotransmitter. J. Neurochem., 2010, v. 113, p. 14–26.
8. Kamoun P. Endogenous production of hydrogen sulfide in mammals. Amino Acids, 2004, v. 26, p. 243–254.
9. Kerchner G.A. and Nicoll R.A. Silent synapses and the emergence of a postsynaptic mechanism for LTP. Nat. Rev. Neurosci., 2008, v. 9, p. 813–825.
10. Linden D.R., Sha L., Mazzone A. et al. Production of the gaseous signal molecule hydrogen sulfide in mouse tissues. J. Neurochem., 2008, v. 106, p. 1577–1585.
11. Moore P.K., Bhatia M. and Mochhaala S. Hydrogen sulfide: from the smell of the past to the mediator of the future. Trends Pharmacol. Sci., 2003, v. 24, № 12, p. 609–611.
12. Nagai Y., Tsugane M., Oka J. and Kimura H. Hydrogen sulfide induces calcium waves in astrocytes. FASEB J., 2004, v. 18, p. 557–559.
13. Olson K.R. and Donald J.A. Nervous control of circulation — the role of gasotransmitters, NO, CO, and  $H_2S$ . Acta Histochem., 2009, v. 111, № 3, p. 244–256.
14. Paxinos G. and Watson Ch. The rat brain in stereotaxic coordinates. New York. Academic Press., 1998.
15. Perry S.F., McNeill B., Elia E. et al. Hydrogen sulfide stimulates catecholamine secretion in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol., 2009, v. 296, № 1, p. R133–R140.
16. Wang R. Two's company, three's a crowd: can  $H_2S$  be the third endogenous gaseous transmitter? FASEB J., 2002, v. 16, p. 792–1798.

17. Yang G., Wu L., Jiang B. et al. H<sub>2</sub>S as a physiologic vasorelaxant: hypertension in mice with deletion of cystathionine  $\beta$ -lyase. *Science*, 2008, v. 322, p. 587–590.

Поступила в редакцию 03.03.2011  
Получена после доработки 07.07.2011

## H<sub>2</sub>S-POSITIVE NEURONS IN SOME NUCLEI OF CARDIOVASCULAR CENTER OF RAT BRAIN

*V.M. Chertok and A.Ye. Kotsyuba*

The aims of this study were to investigate the presence of H<sub>2</sub>S-positive (H<sub>2</sub>S<sup>+</sup>) neurons and to study their distribution of

in the nuclei of the medulla oblongata and the pons which are included in the cardiovascular center. Using immunocytochemical method to detect cystathionine  $\beta$ -synthase, the presence of H<sub>2</sub>S<sup>+</sup> neurons was demonstrated in the nuclei studied of Wistar rats (n=16). More intense the reaction was detected in the large cells of motor nuclei, whereas the small cells of sensory nuclei usually had low-to-moderate enzyme activity. The data obtained provide a considerable amount of new information regarding the organization of brain nerve centers, including those controlling the cardiovascular system.

**Key words:** H<sub>2</sub>S<sup>+</sup> neurons, cystathionine  $\beta$ -synthase, medulla oblongata and the pons nuclei

Department of Human Anatomy, Vladivostok State Medical University

© Коллектив авторов, 2011  
УДК 611.018.8

*Н.В. Пасикова<sup>1</sup>, Ю.С. Медникова<sup>1</sup> Д.Н. Воронков<sup>2</sup>, Р.М. Худоерков<sup>2</sup> и Ф.В. Копытова<sup>2</sup>*

## ГЛИАЛЬНЫЕ САТЕЛЛИТЫ КАК ИСТОЧНИК ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ НЕЙРОНОВ ПРИ ПОВЫШЕНИИ ЧАСТОТЫ ИМПУЛЬСНОЙ АКТИВНОСТИ

<sup>1</sup> Лаборатория нейрохимических механизмов обучения и памяти (зав. — д-р биол. наук А.С. Базян), Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН; <sup>2</sup> лаборатория функциональной морфологии (зав. — д-р мед. наук Р.М. Худоерков), Научный центр неврологии РАМН, Москва, e-mail: natpas@mail.ru

На переживающих срезах сенсомоторной коры мозга морских свинок выявлено, что функционально различное регулирование уровня спонтанной активности у разных нейронов совпадает с неоднородным распределением глиальных сателлитов. Максимальное увеличение импульсации под влиянием ацетилхолина (до 36 имп/с) обнаружено у «молчащих» нейронов, которые составляют 37,2% от всех нейронов слоя V. По данным морфометрического анализа, такая же доля нейронов (38,6%) имеет глиальные сателлиты. У спонтанно активных нейронов обнаружено лишь небольшое (5–22 имп/с) повышение импульсации над уровнем фона. Предполагается, что М-холинергическая реакция, регулирующая уровень спонтанной активности, для своего максимального развития в неактивных нейронах требует дополнительного энергоснабжения, что достигается с помощью контактов нейронов с окружающими их глиальными сателлитами.

**Ключевые слова:** нейрон, глия, сателлиты, спонтанная активность нейронов, ацетилхолин

При анализе различных функций глии — от регулирования ионного и медиаторного состава внешней среды [9, 10] до участия в энергетическом обмене и синаптическом процессе между нейронами [9, 13, 16], обращают на себя внимание две особенности: во-первых, относительно небольшое влияние присутствия глиальных элементов на выживаемость нейронов в культуре ткани [12]; во-вторых, возрастающая роль нейроглии в филогенезе [11, 17] и при функциональной активности мозга [9, 16]. Несмотря на то, что наличие глии способствует лишь небольшому (примерно в 2 раза) увеличению числа синаптических контактов между нейронами, рост частоты спонтанных миниатюрных синаптиче-

ских токов в ее присутствии возрастает в 12 раз [12]. Складывается впечатление, что глиальные элементы призваны не столько обеспечивать базовые характеристики активности нейронов по поддержанию ионных градиентов и выполнению элементарной синаптической функции, сколько способствовать реализации специальных механизмов мозга по организации приспособительной деятельности. Высокие потребности мозга тепловых в энергетическом субстрате [1, 15] и резкое возрастание энергетического метаболизма мозга при его активации [4, 9, 15] дают основание предполагать, что среди функций глии на первое место выходит ее участие в энергоснабжении тех