Дата публикации: 01.03.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_01_6
УДК 612.821

Publication date: 01.03.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_01_6
UDC 612.821

СОВРЕМЕННЫЙ ВЗГЛЯД НА РОЛЬ АСТРОЦИТАРНЫХ ГЛИАЛЬНЫХ КЛЕТОК В ФУНКЦИОНИРОВАНИИ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ (ОБЗОР ПРОБЛЕМЫ)

Д.С. Громова[1,2], Н.Р. Попова[2]
[1]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Самара, Россия
[2]Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт теоретической и экспериментальной биофизики» Российской академии наук, г. Пущино, Россия

Аннотация. ***Введение.*** Глиальные клетки у человека выполняют множество важнейших функций: опорную, трофическую, секреторную, защитную, регуляторную и являются наиболее распространенными клетками центральной нервной системы. Цель данной статьи: провести обзор современных данных о роли и значении астроцитарных глиальных клеток в функционировании центральной нервной системы. ***Методы.*** В работе использовали контент-анализ литературных источников, поиск проводился по базам данных РИНЦ и PubMed. ***Результаты.*** В статье описаны современные данные, доказывающие необходимое участие астроцитов в осуществлении нормальной синаптической передачи, регуляции концентрации ионов в нервной ткани, осуществлении работы всех транспортных систем гемато-энцефалического барьера. Отдельное внимание уделено вопросам способности астроцитов к фагоцитозу и их функциональной связи с клетками микроглии. ***Заключение.*** Таким образом, проведен комплексный обзор современных данных о роли и значении астроцитарных глиальных клеток в функционировании центральной нервной системы.
Ключевые слова: астроциты, глиальные клетки, астроглия, синаптическая передача, центральная нервная системы.

A MODERN VIEW OF THE ROLE OF ASTROCYTIC GLIAL CELLS IN THE FUNCTIONING OF THE NERVOUS SYSTEM (REVIEW OF THE PROBLEM)

D.S. Gromova[1,2], N.R. Popova[2]
[1]Samara State Medical University, Samara, Russia
[2]Institute of Theoretical and Experimental Biophysics, Pushchino, Russia

Abstract. ***Introduction.*** Glial cells in humans perform many vital functions: support, trophic, secretory, protective and regulatory, and are the most common cells in the central nervous system. The purpose of this article is to review current data on the role and importance of astrocytic glial cells in the functioning of the central nervous system. ***Methods.*** The study utilized content analysis of literary sources, and searches were conducted in the Russian Science Citation Index and PubMed databases. ***Results.*** The article describes current data demonstrating the essential role of astrocytes in normal synaptic transmission, regulation of ion concentration in nervous tissue, and the functioning of all transport systems of the blood-brain barrier. Particular attention is paid to the issues of the ability of astrocytes to phagocytosis and their functional relationship with microglial cells. ***Conclusion.*** Thus, we have conducted a comprehensive review of current data on the role and significance of astrocytic glial cells in the functioning of the central nervous system.
Keywords: astrocytes, glial cells, astroglia, synaptic transmission, central nervous system.

Введение. Концепцию глии впервые сформулировал в 1846 г. Р. Вирхов. Он говорил о том, что «у нас есть часть не проводящая, инертная, формообразующая», что именно глия отделяет кровеносные сосуды от нейронной ткани. Однако, долгое время среди анатомов и гистологов глии не придавалось особого значения, она рассматривалась исключительно как клей, скрепляющий нейроны [1].

У человека глиальные клетки выполняют множество важнейших функций: опорную, трофическую, секреторную, защитную, регуляторную. Глия обеспечивает питание и нормальное функционирование нейронов, а также поддерживает постоянство среды вокруг нейронов. Глиальные клетки играют роль электрического изолятора, а также служат пространственным барьером для распространения медиаторов

и ионов. Они участвуют в процессе навигации аксонов. Благодаря своей способности к делению в течение всей жизни организма глиальные клетки участвуют в процессе восстановления и регенерации нервной ткани. У всех млекопитающих, в том числе у человека, глиальные клетки являются наиболее распространенными клетками центральной нервной системы и составляют до 90% от общего количества клеток мозга [2, 3].

Все это позволило уйти от существовавшей ранее парадигмы нейроцентричности и сформулировать новую концепцию активной среды мозга, в которой глиальные клетки являются полноценными элементами нервной ткани и в той же мере, что и нейроны, необходимы для обеспечения и регуляции множества процессов [4].

Цель данной статьи: провести обзор современных данных о роли и значении астроцитарных глиальных клеток в функционировании центральной нервной системы.

Методы и организация исследования. В работе применялся контент-анализ литературных источников по вопросам строения, классификации, функционирования астроцитарных глиальных клеток. Поиск источников литературы осуществляли в базах данных PubMed и РИНЦ. Временной горизонт поиска распространялся на 2018-2025 гг. Были идентифицированы наиболее актуальные публикации с российскими и зарубежными исследованиями.

Результаты исследования и их обсуждение. В результате анализа литературы были описаны современные концепции, касающиеся участия астроцитов в обеспечении нервных процессов и их значении в функционировании центральной нервной системы.

Термин «астроциты» впервые ввел в 1895 году Михай Леннхошк. В настоящее время описано большое количество морфологических типов астороцитов. У высших приматов и человека имеются особые субпопуляции астроцитов: интерламинарные астроциты и поляризованные астроциты, функциональные особенности которых пока не известны [1, 5]. Основную популяцию астроцитов мозга составляют протоплазматические и фиброзные клетки [6].

Астроциты способны генерировать глюкозу и отдавать ее нейронам. С этим связано содержание в них гликогена в виде гранул. В условиях гипогликемии гликоген астроцитов в конечном итоге превращается в молочную кислоту, которая транспортируется в нейроны и служит энергетическим субстратом для обеспечения процессов в анаэробных условиях. Гликоген, запасенный в астроцитах и переработанный в лактат, энергетически обеспечивает молекулярные изменения в нейроне, необходимые для формирования долговременной памяти. Также астроциты поставляют нейронам и другие вещества, нужные для их метаболизма [7-10]. Стоит отметить и тот факт, что в астроцитах протекает липидный обмен, при этом липиды, продуцируемые астроцитами, доставляются к нейронам и олигодендроцитам в качестве компонентов синаптических и миелиновых мембран [7].

Астроциты регулируют концентрацию ионов в межклеточном пространстве, быстро удаляют избыток K^+ при резком нарастании его концентрации. Один из путей регуляции уровня K^+ связан с высокой проницаемостью астроцитов для K^+, благодаря наличию в них Na^+ /K^+ /$2Cl^-$ котранспортера [11].

Астроциты регулируют постоянство водно-солевого баланса мозга, секрецию аргинин-вазопрессина, вносят вклад в поддержание гомеостаза мозга за счет экспрессии аквапоринов [12].

Астроциты контролируют работу всех транспортных систем гемато-энцефалического барьера (ГЭБ) и входят в состав глимфатической системы мозга. Они секретируют вещества, модулирующие кровоток, регулируя диаметр капилляров. Высвобождаемые астроцитами простагландин Е2, оксид азота и арахидоновая кислота вызывают сужение или расширение мозговых сосудов. Также наблюдается активация кальций-зависимых калиевых каналов на мембране астроцита в месте контакта сосуда и отростков астроцита, что приводит к гиперполяризации гладкомышечных клеток и расслаблению сосуда [13-15].

Недавно было установлено, что при определенных условиях астроциты могут выполнять функцию фагоцитоза. До

недавнего времени считалось, что этим свойством обладают только микроглиальные клетки. Однако, и сами клетки микроглии регулярно погибают, после чего погибшие клетки должны каким-то образом удаляться из нервной системы. Сложности заключаются в том, что сами клетки микроглии не воспринимают себе подобных как «мусор» и поэтому фагоцитировать самих себя не могут. Оказалось, эту функцию взяли на себя астроциты. Также было обнаружено, что астроциты не поглощают клетки микроглии просто так, они используют белки-опсонины C4b, которые прикрепляются к поверхности мертвых микроглиальных клеток, выступая маркером того, что их нужно удалить [16].

Особое значение астроглия имеет для функционирования синапсов. Существует специфический астроцитарный белок – тромбоспондин, который стимулирует образование синапсов в нервной системе. Однако астроциты могут вызывать разрушение синапсов, стимулируя повышение содержания комплемента 1q в синапсе. При разрушении щелевых контактов астроцитов происходит демиелинизация нервных волокон [12, 17].

Один астроцит способен формировать связи с несколькими сотнями тысяч синапсов и удалять избыток нейромедиатора из синаптической щели. Число глутаматергических синапсов, контактирующих с астроцитами, различается в разных отделах мозга: от 60-90% в мозжечке, 50-90% в гиппокампе и 80% в стриатуме. Астроциты очень чувствительны к активности глутаматергических нейронов и в норме постоянно регулируют синаптическую передачу и пластичность в этих синапсах. После выделения глутамата пресинаптическим окончанием он захватывается астроцитами и при участии глутаминсинтетазы, которая содержится исключительно в астроцитах, преобразуется в глютамин. Глутамин выделяется астроцитами и захватывается нейронами при помощи специальных переносчиков. В нейроне глютамин превращается в глютаминовую кислоту под действием глутаминазы. Глутамат-глутаминовый цикл представляет собой важный пример кооперативной работы астроцитов и нейронов [6, 18]. Имеется достаточно доказательств того, что астроциты способны регулировать синаптическую активность, вызванную и другими нейротрансмиттерами, такими как гамма-аминомасляная кислота (ГАМК), ацетилхолин, аденозинтрифосфат (АТФ) и норадреналин во многих отделах мозга. В отростках астроцитов повышена экспрессия транспортеров для таких медиаторов, как глутамат, ГАМК, глицин [19, 20].

Пресинаптические отростки астроцитов несут многие метаботропные и ионотропные рецепторы к нейромедиаторам, благодаря которым способны отслеживать текущее функциональное состояние синапса. Активация этих рецепторов генерирует динамические Ca^{2+} волны, которые наблюдаются как в клеточных телах, так и в дистальных отростках астроцитов. Важнейшей формой ответа астроцита на нейротрансмиттеры является повышение уровня внутриклеточного кальция, что, в свою очередь, может приводить к высвобождению из астроцитов молекул-передатчиков, таких как глутамат, D-серин, АТФ/аденозин или ГАМК, называемых глиотрансмиттерами.

В настоящее время, на основании всех имеющихся работ о значении астроцитов в синаптической передаче, сложилась концепция о «трехчастном синапсе», в основе которой лежит представление о том, что астроциты не просто изолируют синапсы своими отростками, а воспринимают и активно регулируют синаптическую активность. Активность астроцитов в синаптических контактах влияет на стабилизацию синаптической передачи и долговременную потенциацию и, соответственно, на процессы обучения и памяти [6].

Заключение. Проведенный обзор показывает, что астроцитарные глиальные клетки обеспечивают сложные клеточные взаимодействия необходимые для нормального функционирования центральной нервной системы и являются важными клетками нервной ткани, необходимыми для реализации сложных гомеостатических и когнитивных процессов.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 075-00223-25-03.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Financing. The article was prepared under the State Task of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation No. 075-00223-25-03.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Астроциты головного мозга человека: морфология и функции / С.Н. Рябцева, И.А. Семеник, М.А. Корнеева [и др.] // Медицинский журнал. – 2023. – № 1. – С. 33-42.
2. Развитие, структура и функции глиальных клеток Drosophila melanogaster / Е.В. Рябова, Е.М. Латыпова, Н.В. Сурина [и др.] // Интегративная физиология. – 2020. – Т. 1. – № 3. – С. 202-211.
3. Reactive astrocyte nomenclature, definitions, and future directions / C. Escartin, E. Galea, A. Lakatos [et al.] // Nat. Neurosci. – 2021. – Vol. 24. – No. 3. – P. 312-325.
4. Semyanov, A. Astrocytic processes: from tripartite synapses to the active milieu / A. Semyanov, A. Verkhratsky // Trends in Neurosciences. – 2021. – Vol. 44. – P. 781-792.
5. Verkhratsky, A. Evolution of Neuroglia / A. Verkhratsky, M.S. Ho, V. Parpura // Adv. Exp. Med. Biol. – 2019. – Vol. 1175. – P. 15-44.
6. Александрова, М.А. Астроциты мозга – свита делает короля / М.А. Александрова, К.К. Сухинич // Онтогенез. – 2022. – Т. 53. – № 4. – С. 265-286.
7. Метаболическая пластичность астроцитов / Я.В. Горина, А.Б. Салмина, А.И. Ерофеев [и др.] // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. – 2021. – Т. 57. – № 6. – С. 453-468.
8. Ultrastructural Evidence for a Role of Astrocytes and Glycogen-Derived Lactate in Learning-Dependent Synaptic Stabilization / E. Vezzoli, C. Calì, M. De Roo [et al.] // Cerebr Cortex. – 2020. – Vol. 30. – P. 2114-2127.
9. Takahashi, S. Metabolic compartmentalization between astroglia and neurons in physiological and pathophysiological conditions of the neurovascular unit / S. Takahashi // Neuropathology. – 2020. – Vol. 40. – P. 121-137.
10. Astrocytic glycogen metabolism in the healthy and diseased brain / L.K. Bak, A.B. Walls, A. Schousboe [et al.] // J. Biol. Chem. – 2018. – Vol. 293. – No. 19. – P. 7108-7116.
11. Калинина, Ю.А. Астроциты и их участие в механизмах терапевтического действия мультипотентных мезенхимальных стромальных клеток при ишемическом повреждении головного мозга / Ю.А. Калинина, Е.Г. Гилерович, Д.Э. Коржевский // Гены и клетки. – 2019. – Т. 14. – № 1. – С. 33-40.
12. Астроциты и их роль в патологии центральной нервной системы / Л.Р. Горбачева, И.А. Помыткин, А.М. Сурин [и др.] // Российский педиатрический журнал. – 2018. – Т. 21. – № 1. – С. 46-53.
13. Клетки церебрального эндотелия и периваскулярной астроглии в регуляции нейрогенеза / Е.А. Тепляшина, Я.В. Горина, Е.Д. Хилажева [и др.] // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. – 2022. – Т. 108. – № 5. – С. 530-546.
14. Angiopoietin-like 4 promotes angiogenesis and neurogenesis in a mouse model of acute ischemic stroke / Z. Qiu, J. Yang, G. Deng [et al.] // Brain Res. Bull. – 2021. – Vol. 168. – P. 156-164.
15. Takahashi, S. Metabolic compartmentalization between astroglia and neurons in physiological and pathophysiological conditions of the neurovascular unit / S. Takahashi // Neuropathology. – 2020. – Vol. 40. – No. 2. – P. 121-137.
16. Microglial debris is cleared by astrocytes via C4b-facilitated phagocytosis and degraded via RUBICON-dependent noncanonical autophagy in mice / T. Zhou, Y. Li, X. Li [et al.] // Nat Commun. – 2022. – Vol. 13. – P. 6233.
17. Маркеры активации астроцитов (обзор) / Я.В. Горина, А.Б. Салмина, А.И. Ерофеев [и др.] // Биохимия. – 2022. – Т. 87. – № 7. – С. 975-998.
18. Вербицкий, Е.В. Астроцитарные сети и регуляция медленноволнового сна / Е.В. Вербицкий // Эффективная фармакотерапия. – 2022. – № 18(36). – С. 8-11.
19. Швалев, В.Н. Астроциты и пластичность синапсов. Часть 1. Синаптогенные молекулы / В.Н. Швалев, А.А. Сосунов, Ю.А. Челышев // Неврологический вестник. – 2018. – Т. 50. – № 2. – С. 55-60.
20. Astrocyte-neuron signaling in synaptogenesis / L. Shan, T. Zhang, K. Fan [et al.] // Front. Cell. Dev. Biol. – 2021. – Vol. 9. – P. 680301.

REFERENCES

1. Ryabceva S.N., Semyonik I.A. et al. Human brain astrocytes: morphology and functions. *Medical Journal*, 2023, no. 1, pp. 33-42. (in Russ.)
2. Ryabova E.V., Latypova E.M., Surina N.V. Et al. The development, structure and function of glial cells in the nervous system of Drosophila melanogaster. *Integrative Physiology*, 2020, vol. 1, no. 3, pp. 202-211. (in Russ.)
3. Escartin C., Galea E., Lakatos A. et al. Reactive astrocyte nomenclature, definitions, and future directions. *Nat. Neurosci.*, 2021, vol. 24, no. 3, pp. 312-325.
4. Semyanov A., Verkhratsky A. Astrocytic processses: from tripartite synapses to the active milieu. *Trends in Neurosciences*, 2021, vol. 44, pp. 781-792.
5. Verkhratsky A., Ho M.S., Parpura V. Evolution of Neuroglia. *AdvExpMedBiol.*, 2019, vol. 1175, pp. 15-44.

6. Aleksandrova M.A., Suhinich K.K. Astrocytes of the Brain – Retinue Plays the King. *Russian Journal of Developmental Biology*, 2022, vol. 53, no. 4, pp. 265-286. (in Russ.)
7. Gorina Ya.V., Salmina A.B., Erofeev A.I. et al. Metabolic plasticity of astrocytes. *Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology*, 2021, vol. 57, no. 6, pp. 453-468. (in Russ.)
8. Vezzoli E., Calì C., De Roo M. et al. Ultrastructural Evidence for a Role of Astrocytes and Glycogen-Derived Lactate in Learning-Dependent Synaptic Stabilization. *Cerebr Cortex*, 2020, vol. 30, pp. 2114-2127.
9. Takahashi S. Metabolic compartmentalization between astroglia and neurons in physiological and pathophysiological conditions of the neurovascular unit. *Neuropathology*, 2020, vol. 40, pp. 121-137.
10. Bak L.K., Walls A.B., Schousboe A., Waagepetersen H.S. Astrocytic glycogen metabolism in the healthy and diseased brain. *J. Biol. Chem*, 2018, vol. 293, no. 19, pp. 7108-7116.
11. Kalinina Yu.A., Gilerovich E.G., Korzhevskij D.E. Astrocytes and their participation in the mechanisms of therapeutic action of MSC in ischemic brain injury. *Genes and Cells*, 2019, vol. 14, no. 1, pp. 33-40. (in Russ.)
12. Gorbachyova L.R., Pomytkin I.A., Surin A.M. et al. Astrocytes and their role in the pathology of the central nervous system. *Russian Pediatric Journal*, 2018, vol. 21, no. 1, pp. 46-53. (in Russ.)
13. Teplyashina E.A., Gorina Ya.V., Khilazheva E.D. et al. Cells of the Cerebral Endothelium and Perivascular Astroglia in the Regulation of Neurogenesis. *Russian Journal of Physiology*, 2022, vol. 108, no. 5, pp. 530-546. (in Russ.)
14. Qiu Z., Yang J., Deng G. et al. Angiopoietin-like 4 promotes angiogenesis and neurogenesis in a mouse model of acute ischemic stroke. *Brain Res Bull*, 2021, vol. 168, pp. 156-164.
15. Takahashi S. Metabolic compartmentalization between astroglia and neurons in physiological and pathophysiological conditions of the neurovascular unit. *Neuropathology*, 2020, vol. 40, no. 2, pp. 121-137.
16. Zhou T., Li Y., Li X. et al. Microglial debris is cleared by astrocytes via C4b-facilitated phagocytosis and degraded via RUBICON-dependent noncanonical autophagy in mice. *Nat Commun*, 2022, vol. 13, p. 6233.
17. Gorina Ya.V., Salmina A.B., Erofeev A.I. et al. Astrocyte activation markers. *Biochemistry*, 2022, vol. 87, no. 7, pp. 975-998. (in Russ.)
18. Verbitskij E.V. Astrocytes Networks and Slow Wave Sleep Regulation. *Effective Pharmacotherapy*, 2022, vol. 18(36), pp. 8-11. (in Russ.)
19. Shvalev V.N., Sosunov A.A., Chelyshev Yu.A. Astrocytes and plasticity of synapses. Part I. Synaptogenic molecules. *Neurology Bulletin*, 2018, vol. 50, no. 2, pp. 55-60. (in Russ.)
20. Shan L., Zhang T., Fan K. et al. Astrocyte-neuron signaling in synaptogenesis. *Front. Cell. Dev. Biol*, 2021, vol. 9, pp. 680301.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:
Дарья Сергеевна Громова – старший преподаватель кафедры общей и молекулярной биологии, Самарский государственный медицинский университет, Самара; научный сотрудник лаборатории экспериментальной радиобиологии Института теоретической и экспериментальной биофизики Российской Академии Наук, Пущино; e-mail: d.s.gromova@samsmu.ru.
Нелли Рустамовна Попова – кандидат биологических наук, заведующий лабораторией экспериментальной радиобиологии Института теоретической и экспериментальной биофизики Российской Академии Наук, Пущино.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Daria S. Gromova – Senior Lecturer of the Department of General and Molecular Biology, Samara State Medical University, Samara; Researcher of the Laboratory of the Experimental Radiobiology, Institute of Theoretical and Experimental Biophysics of the Russian Academy of Sciences, Pushchino, e-mail: d.s.gromova@samsmu.ru.
Nelli R. Popova – Candidate of Biological Sciences, Head of the Laboratory of the Experimental Radiobiology, Institute of Theoretical and Experimental Biophysics of the Russian Academy of Sciences, Pushchino.

Для цитирования: Громова, Д.С. Современный взгляд на роль астроцитарных глиальных клеток в функционировании нервной системы (обзор проблемы) / Д.С. Громова, Н.Р. Попова // Современные вопросы биомедицины. – 2026. – Т. 10. – № 1(36). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_01_6

For citation: Gromova D.S., Popova N.R. A modern view of the role of astrocytic glial cells in the functioning of the nervous system (review of the problem). *Modern Issues of Biomedicine*, 2026, vol. 10, no. 1(36). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_01_6