

## КЛЕТОЧНАЯ БИОЛОГИЯ (БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ)

---

Естественные науки. 2023. № 1 (10). С. 15–22.

*Yestestvennye nauki = Natural Sciences*. 2023; 1 (10): 15–22 (In Russ.)

Научная статья

УДК 57.575.854

doi 10.54398/1818507X\_2023\_1\_15

### МОРФОЛОГИЯ СОСУДИСТЫХ СПЛЕТЕНИЙ ГОЛОВНОГО МОЗГА РЕПТИЛИЙ

**Сентюрова Людмила Георгиевна<sup>1✉</sup>, Теплый Давид Львович<sup>2</sup>,  
Берлякова Елена Михайловна<sup>1</sup>, Шерышева Юлия Владимировна<sup>1</sup>,  
Мазлов Алексей Михайлович<sup>1</sup>, Морозов Владимир Дмитриевич<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Астраханский государственный медицинский университет Минздрава  
России, Астрахань, Россия

<sup>2</sup>Астраханский государственный университет имени В. Н. Татищева,  
Астрахань, Россия

<sup>1</sup>[sentlj2012@yandex.ru](mailto:sentlj2012@yandex.ru) ✉

**Аннотация.** Описаны морфометрические параметры сосудистых сплетений головного мозга желудочков головного мозга рептилий на примере черепахи степной (*Testudo horsfieldi*) и проанализированы возможные механизмы их созревания в процессе постнатального онтогенеза. Детализированы количественные характеристики соотношений компонентов сосудистых сплетений: эпителия, сосудов, соединительной ткани. Эпителий посредством базальной мембраны тесно соприкасается с сосудами, что способствует оптимальному обмену. Предложены формализованные показатели, характеризующие функциональные возможности морфологического субстрата гематоэнцефалического барьера. Описаны особенности микроциркуляторного русла ворсин желудочков.

**Ключевые слова:** онтогенез, сосудистые сплетения головного мозга, позвоночные, морфометрия

**Для цитирования:** Сентюрова Л. Г., Теплый Д. Л., Берлякова Е. М., Шерышева Ю. В., Мазлов А. М., Морозов В. Д. Морфология сосудистых сплетений головного мозга рептилий // Естественные науки. 2023. № 1 (10). С. 15–22. [https://doi.org/10.54398/1818507X\\_2023\\_1\\_15](https://doi.org/10.54398/1818507X_2023_1_15).

### MORPHOLOGY OF VASCULAR PLEXUSES OF THE REPTILIAN BRAIN

**Sentyurova Lyudmila G.<sup>1✉</sup>, Teply David L.<sup>2</sup>, Berlyakova Elena M.<sup>1</sup>,  
Sherysheva Yulia V.<sup>1</sup>, Mazlov Alexey M.<sup>1</sup>, Morozov Vladimir D.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Astrakhan State Medical University of the Ministry of Health of Russia,  
Astrakhan, Russia

<sup>2</sup>Tatischev Astrakhan State University, Astrakhan, Russia

<sup>1</sup>[sentlj2012@yandex.ru](mailto:sentlj2012@yandex.ru) ✉

**Abstract.** Morphometric parameters of the cerebral vascular plexuses of the ventricles of the reptilian brain are described on the example of the steppe turtle (*Testudo horsfieldi*) and possible mechanisms of their maturation in the process of postnatal ontogenesis are analyzed. The quantitative characteristics of the ratios of the components of vascular plexuses: epithelium, vessels, connective tissue are detailed. The epithelium through the basement membrane is in close contact with the vessels, which contributes to optimal metabolism. Formalized indicators characterizing the functional capabilities of the morphological substrate of the blood-brain barrier are proposed. The features of the microcirculatory bed of ventricular villi are described.

**Keywords:** ontogenesis, vascular plexuses of the brain, vertebrates, morphometry

**For citation:** Sentyurova L. G., Teply D. L., Berlyakova E. M., Sherysheva Yu. V., Mazlov A. M., Morozov V. D. Morphology of vascular plexuses of the reptilian brain. *Yestestvennyye nauki = Natural Sciences*. 2023; 1 (10): 15–22. [https://doi.org/10.54398/1818507X\\_2023\\_1\\_15](https://doi.org/10.54398/1818507X_2023_1_15).

**Введение.** В ряду позвоночных рептилии являются следующей эволюционной ступенью, следуя за земноводными. Отмечено увеличение как размеров самого головного мозга, так и его отделов [1]. Например, у рептилий лучше развит передний мозг и мозжечок. Однако нет сведений как это отражается на структуре гематоэнцефалического барьера (ГЭБ) — главного морфофизиологического субстрата в циркумвентрикулярной истеме желудочков головного мозга, в частности на сосудистых сплетениях. Усложнение взаимодействия с окружающей средой влияет на морфофункциональные характеристики систем всего организма [2; 3]. Особенно это важно для функционирования нервной системы, что в первую очередь зависит от степени зрелости гематоэнцефалического барьера [5; 6].

Именно ГЭБ способен обеспечить надёжное функционирование центральной нервной системы [7]. Это подтверждается исследованиями D. A. Sufieva, O. V. Kirik, D. E. Korzhevskii [8; 9]. Однако сведения о морфогенезе сосудистых сплетений головного мозга (ССГМ) рептилий очень скупы. Так, нет информации об особенностях ССГМ боковых, третьего и четвёртого желудочков. Отсутствуют количественные характеристики структурных элементов ССГМ желудочков (эпителий, ядра, соединительная ткань). Именно структурное обеспечение может обеспечить полноценное осуществление необходимой функции. Таким образом очевиден интерес к морфофункциональному становлению (ГЭБ).

Нами были изучены особенности структурной, а также морфометрической организации сосудистых сплетений головного мозга боковых, третьего и четвёртого желудочков у степной черепахи (*Testudo horsfieldi*) из семейства сухопутных черепах (Testudinidae).

**Материалы и методы исследования.** В работе использованы методы: микроанатомические окраска гематоксилином и эозином, по Ван-Гизону, Харту, толуидиновым синим). Проводилось определение высоты клеток хориоидного эпителия (в мкм), средний диаметр их ядер (в мкм), толщина соединительнотканной стромы (в мкм), средний диаметр отдельных звеньев микроциркуляторного русла (в мкм). Статистическую обработку полученных данных осуществляли на персональном компьютере с использованием пакета

«Анализ данных» в рамках программы “Microsoft Excel” и “BioStat 2008 Professional 5.8.4”.

Материалом для исследования служили ССГМ черепахи в постнатальном периоде онтогенеза длиной от 45 до 260 мм. В работе применялось устройство для фиксации мелких лабораторных животных в эксперименте [4].

**Результаты исследований и их обсуждение.** Животные исследовались в летний период. Нервная система у черепах более совершенная, чем у амфибий. Полушария большого мозга у них крупнее. Есть кора из серого мозгового вещества, однако развита она слабо. Головной мозг анатомически имеет те же отделы, что и у взрослого животного. Циркумвентрикулярное пространство представлено желудочковой системой: боковыми желудочками, третьим и четвёртым. У рептилий продолжается структурное совершенствование оболочек. Для удобства описания сходные по морфологии изучавшиеся сроки онтогенеза сгруппированы. Черепахи длиной от 45 до 138 мм. Сосудистые сплетения структурно оформлены. В боковых желудочках сосудистые сплетения представлены двумя складками видоизменённой эпендимы. Вторичные ворсины представлены слабо. Эпителий ворсин имеет кубическую форму. При окраске гематоксилином и эозином преимущественно светлые. Содержат большей частью два ядра. Эпителий в некоторых участках выглядит как многорядный эпителий. Соединительной ткани в ворсинках немного. Коллагеновые волокна единичные. Из клеточных элементов встречаются фибробласты. В непосредственной близости к эндотелию сосудов можно встретить в периваскулярной ткани параваскулярные тканевые базофилы. Помимо тканевых базофилов, содержащих кислые гликозаминогликаны, можно встретить единичные клетки с ортохроматическими гранулами. Разнообразие тканевых базофилов в сосудистых сплетениях боковых желудочков этим не исчерпываются. Так, можно встретить частично и почти полностью деградировавшие тканевые базофилы. Такие клетки наблюдаются и в составе эндотелия кровеносного сосуда. В ворсинах пролегают капилляры. В основании сплетения более крупные сосуды. По площади сосудистые сплетения боковых желудочков наиболее мощные. Заметно выраженным изменениям подвергается диаметр сосудов в сторону увеличения (табл. 1).

Сосудистые сплетения промежуточного мозга (третий желудочек) в этом возрасте представлены несколькими короткими выпячиваниями, ворсинки единичные. В основании выпячивания обязательно располагается сосуд. Эпителий, покрывающий складки, в основном кубический. Так же, как и в сосудистых сплетениях боковых желудочков, среди эпителиальных клеток встречаются тёмные и светлые. Клетки плотно лежат на базальной мембране. Клетки содержат по одному или два ядра. Располагаются ядра чаще в базальной части клеток. Под базальной мембраной изредка встречаются узкие субэпителиальные щели. Кроме того, в строме есть тканевые базофилы с меахроматическими гранулами. Размеры тканевых базофилов не отличаются от клеток, встречающихся в боковых желудочках. Пространство, занимаемое соединительной тканью, очень небольшое. Соединительнотканная

строма представлена небольшим количеством аморфного вещества с единичными коллагеновыми волокнами. Но фибробласты всё же встречаются. В некоторых участках можно видеть эпилексусные клетки. По данным морфометрии (табл. 2) получены количественные характеристики.

Таблица 1 — Морфометрические показатели эпителиальных клеток и сосудов терминальных ворсинок боковых желудочков ССГМ черепахи

Длина тела, мм	Эпителий, мкм $M \pm m$	Ядра эпителиальных клеток, мкм, $M \pm m$	Сосуды, мкм, $M \pm m$
45	10,20 ± 2,30	8,20 ± 0,89	8,10 ± 1,23
72	9,60 ± 1,84	7,80 ± 0,88	10,20 ± 1,40
138	9,48 ± 1,64	7,30 ± 0,72	10,60 ± 1,84
153	8,92 ± 1,50	7,40 ± 0,69	12,10 ± 1,92
155	9,03 ± 1,45	7,25 ± 0,72	12,60 ± 1,98
173	8,60 ± 1,30	6,04 ± 0,82	80,42 ± 15,82 10,38 ± 1,43
175	8,40 ± 1,40	4,30 ± 0,54	74,30 ± 12,14 10,50 ± 2,01
183	7,80 ± 1,21	6,08 ± 0,69	70,10 ± 14,62 12,30 ± 3,14
200	7,02 ± 1,43	6,03 ± 0,73	82,40 ± 14,61 14,20 ± 2,88
260	7,40 ± 1,83	6,14 ± 0,63	85,10 ± 15,18 12,80 ± 4,52

Таблица 2 — Морфометрические показатели эпителиальных клеток и сосудов терминальных ворсинок третьего желудочка ССГМ черепахи

Длина тела, мм	Эпителий, мкм $M \pm m$	Ядра эпителиальных клеток, мкм, $M \pm m$	Сосуды, мкм, $M \pm m$
45	9,46 ± 1,63	8,10 ± 1,06	20,50 ± 4,38
72	9,82 ± 1,81	6,80 ± 0,96	22,60 ± 5,41
138	9,00 ± 1,96	6,90 ± 1,01	25,40 ± 4,82
153	9,20 ± 2,01	6,70 ± 0,93	23,20 ± 3,96
155	9,04 ± 2,18	6,68 ± 1,21	21,60 ± 3,64
173	9,01 ± 1,16	7,70 ± 0,93	61,12 ± 5,42 11,88 ± 1,23
175	7,06 ± 1,08	4,38 ± 0,96	70,18 ± 10,04 14,02 ± 2,68
183	8,45 ± 1,14	7,42 ± 0,88	73,24 ± 12,81 14,68 ± 2,30
200	8,28 ± 2,02	7,04 ± 0,86	75,20 ± 14,62 16,34 ± 3,41
260	8,15 ± 2,10	7,01 ± 0,69	78,40 ± 10,53 15,80 ± 3,02

Сосудистое сплетение четвёртого желудочка сходно по строению со сплетением боковых желудочков. Более заметна ворсинчатость, складки выстланы одним слоем клеток цилиндрической формы. Клетки имеют мутную цитоплазму, содержат одно – два ядра. Можно различить тёмные и светлые клетки. Ядра также делятся на тёмные и светлые. Подлежащая соединительная

ткань занимает толщу ворсинок и отделяет капилляры от эпителия. В среднем толщина соединительной ткани составляет  $12,9 \pm 0,09$  мкм. Встречаются субэпителиальные щели. Из клеточных элементов встречаются фибробласты, тканевые базофилы с метахроматическими мелкими гранулами и энтерохромафиноподобные клетки. Встречаются перициты в периваскулярной ткани. Корень сплетения лишён ворсин. Лишь в свободной части различают немногочисленные ветвления. Отдельные ворсины расширяются к периферии в виде теннисной ракетки. Так же, как и в боковых и третьем желудочках, на апикальной поверхности клеток выявляется каёмка, хорошо прокрашивающаяся альциановым синим. Под эпителием располагается соединительнотканная строма с кровеносными сосудами. Встречаются мелкие субэпителиальные щели. Из клеточных элементов в строме преобладают фибробласты. Встречаются тканевые базофилы с ортохроматическими и метахроматическими гранулами. Первые имеют средний диаметр  $4,82 \pm 0,31$  мкм, вторые —  $5,06 \pm 0,33$  мкм. Выявляются энтерохромафиноподобные клетки.

По данным морфометрии (табл. 3) получены количественные характеристики.

Таблица 3 — Морфометрические показатели эпителиальных клеток и сосудов терминальных ворсинок четвёртого желудочка ССГМ черепахи

Длина тела, мм	Эпителий, мкм $M \pm m$	Ядра эпителиальных клеток, мкм, $M \pm m$	Сосуды, мкм, $M \pm m$
45	$9,60 \pm 2,10$	$8,10 \pm 1,06$	$30,20 \pm 3,30$ $18,90 \pm 3,64$
72	$9,80 \pm 2,40$	$7,68 \pm 1,22$	$38,60 \pm 4,10$ $20,30 \pm 4,03$
138	$9,10 \pm 2,60$	$8,61 \pm 1,30$	$48,40 \pm 6,50$ $24,40 \pm 5,14$
153	$8,90 \pm 1,96$	$7,40 \pm 1,08$	$56,50 \pm 8,40$ $23,80 \pm 6,25$
155	$7,80 \pm 1,58$	$6,80 \pm 0,96$	$68,40 \pm 9,50$ $21,60 \pm 5,63$
173	$6,05 \pm 0,94$	$5,83 \pm 0,46$	$75,50 \pm 8,51$ $14,23 \pm 2,48$
175	$7,10 \pm 0,84$	$5,42 \pm 0,61$	$78,10 \pm 8,51$ $14,10 \pm 1,92$
183	$7,30 \pm 0,91$	$5,24 \pm 0,68$	$80,10 \pm 15,40$ $14,30 \pm 3,41$
200	$7,50 \pm 0,98$	$6,04 \pm 0,75$	$82,40 \pm 14,80$ $18,30 \pm 4,26$
260	$8,04 \pm 1,06$	$6,93 \pm 0,83$	$80,30 \pm 12,86$ $15,30 \pm 3,84$

Анализируя морфометрические показатели можно отметить, что высота эпителия сосудистых сплетений в желудочках головного мозга черепахи существенно не отличается у всех изученных особей независимо от длины тела (табл. 1–3). Однако наблюдается тенденция к уменьшению высоты эпителия максимально в 1,3 раза (в боковом желудочке), в 1,15 раза в третьем

желудочке и в 1,2 раза — в четвёртом желудочке к величине 260 мм длины тела животного. Содружественно уменьшается диаметр ядра эпителиальной клетки в 1,3 раза (в боковом желудочке) и в 1,17 раза (в четвёртом желудочке), практически не изменяется в третьем желудочке. Сосудистое русло можно условно поделить на крупные сосуды в основании сплетения и мелкие, расположенные в свободной части. По данным морфометрии наиболее мелкие сосуды свободной части сплетения наблюдаются в боковом желудочке сосудистых сплетений головного мозга черепахи (табл. 2), в то время как в третьем желудочке сосуды подобного калибра в 2,5 раза шире (табл. 3), и в 2,25 раза — в четвёртом желудочке (табл. 3).

В то же время, сравнивая полученные данные, следует отметить, что наибольшее соотношение высоты эпителиальных клеток к размерам ядра в боковых желудочках у черепах от 45 до 155 мм длины составляет от 1,20 до 1,24. Далее у черепах 173 до 183 мм показатель увеличивается от 1,42 до 1,92. Регистрируемое уменьшение размеров ядра может свидетельствовать о снижении активности в нём синтетических процессов. Однако у черепах 200 и 260 мм вновь отмечается увеличение размеров ядра.

Из структурно-функциональных особенностей ССГМ третьего желудочка у черепах длиной 45, 155–260 мм в эпителиоцитах можно отметить снижение активности синтетических процессов в ядре. Формализованный коэффициент составляет от 1,13 до 1,16. Лишь у черепах 72–183 мм длины он составляет 1,37–1,44.

В четвёртом желудочке в ССГМ аналогичный показатель составляет от 1,03 до 1,30, наименьший — у черепах длиной от 138 до 183 мм.

Что касается микроциркуляторного русла ворсин второго и третьего желудочков, обращает на себя внимание: наличие сосудов малого диаметра у черепах от 45 до 155 мм. В дальнейшем сосуды в ворсинах присутствуют малого и большого диаметра. В четвёртом желудочке во все изученные возрастные периоды наблюдаются сосуды малого и большого диаметра. Очевидно, что это требует дальнейших исследований в функциональной значимости полученных морфометрических данных.

**Заключение.** Изучение сосудистых сплетений головного семейства сухопутной черепахи (Testudinidae) позволило выявить особенности гистогенеза элементов гематоэнцефалического барьера рептилий. Определены формализованные показатели, характеризующие функциональное становление морфологического субстрата.

Описаны количественные элементы характеристики эпителиоцитов ССГМ боковых, третьего и четвёртого желудочков рептилий.

Вместе с тем некоторые вопросы требуют дальнейшего изучения: функциональная значимость сосудов микроциркуляторного русла большого и малого диаметра.

#### **Список литературы**

1. Дунаев, Е. А. Земноводные и пресмыкающиеся России. Атлас-определитель / Е. А. Дунаев, В. Ф. Орлова. — Москва : Фитон+, 2012. — 320 с.

2. Коржевский, Д. Е. Сосудистое сплетение головного мозга и структурная организация гематоликворного барьера у человека / Д. Е. Коржевский // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. — 2003. — № 3. — С. 5–14.

3. Сентюрова, Л. Г. Морфогенез сосудистых сплетений головного мозга позвоночных животных и человека / Л. Г. Сентюрова, Д. Л. Теплый // Естественные науки. — 2013. — № 4. — С. 82–87.

4. Патент RU 110976 U1, 10.12.2011. Устройство для фиксации мелких лабораторных животных в эксперименте / Сентюрова Л. Г., Голубкина С. А., Красовский В. С., Дуйко В. В. — Заявка № 2011104213/13 от 07.02.2011.

5. Ткачева, Н. В. Структурные особенности сосудистых сплетений желудочков головного мозга в онтогенезе при обычных условиях и гипоксии / Н. В. Ткачева, Ю. А. Романов, Л. Г. Сентюрова, В. В. Белопасов // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. — 2002. — Т. 133, № 6. — С. 623–624.

6. Хужахметова, Л. К. Динамика процессов перекисного окисления липидов у крыс при стрессе и после фармакологической коррекции / Л. К. Хужахметова, Л. Г. Сентюрова // Современные проблемы науки и образования. — 2015. — № 4. — С. 47.

7. Chiari, Y. Phylogenomic analyses support the position of turtles as the sister group of birds and crocodiles (Archosauria) / Y. Chiari, V. Cahais, N. Galtier, F. Delsuc // BMC Biol. Journal. — 2012. — Vol. 10, № 65. — doi 10.1186/1741-7007-10-65.

8. Sufieva, D. A. Nucleolin and Nucleoli in Ependymocytes and Tanycytes of the Third Ventricle of the Rat Brain / D. A. Sufieva, O. V. Kirik, D. E. Korzhevskii // Cell and Tissue Biology. — 2018. — № 12 (2). — P. 166–172. — doi 1134/S1990519X18020116.

9. Sufieva, D. A. Astrocyte Markers in the Tanycytes of the Third Brain Ventricle in Postnatal Development and Aging in Rats / D. A. Sufieva, O. V. Kirik, D. E. Korzhevskii // Russian Journal of Developmental Biology. — 2019. — № 50 (3). — P. 146–153. — doi 10.1134/S1062360419030068.

### References

1. Dunaev, E. A., Orlova, V. F. *Zemnovodnye i presmykayushchiesya Rossii. Atlas-opredelitel = Amphibians and reptiles of Russia. Atlas-determinant*. Moscow: Fiton+, 2012; 320 p.

2. Korzhevsky, D. E. Sosudistoe spletenie golovnogo mozga i strukturnaya organi-zatsiya gematolikvornogo barera u cheloveka. *Regionarnoe krovoobrashchenie i mikrotsirkulyatsiya = Regional blood circulation and microcirculation*. 2003; 3: 5–14.

3. Sentyurova, L. G., Teply, D. L. Morfogenez sosudistykh spleteniy golovnogo mozga pozvonochnykh zhivotnykh i cheloveka. *Yestestvennye nauki = Natural Sciences*. 2013; 4: 82–87.

4. Sentyurova, L. G., Golubkina, S. A., Krasovsky, V. S., Duiko, V. V. *Patent RU 110976 U1, 10.12.2011. Device for fixing small laboratory animals in an experiment*. Application no. 2011104213/13 dated 07.02.2011.

5. Tkacheva, N. V., Romanov, Yu. A., Sentyurova, L. G., Belopasov, V. V. Strukturnye osobennosti sossudistykh spleteniy zheludochkov golovnogo mozga v ontogeneze pri obychnykh usloviyakh i gipoksii. *Byulleten eksperimentalnoy biologii i meditsiny = Bulletin of Experimental Biology and Medicine*. 2002; 133 (6); 623–624.

6. Khuzhakhmetova L.K., Sentyurova L.G. Dynamics of lipid peroxidation processes in rats under stress and after pharmacological correction. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya = Modern problems of science and education*. 2015; 4: 47.

7. Chiari, Y.; Cahais, V.; Galtier, N.; Delsuc, F. Phylogenomic analyses support the position of turtles as the sister group of birds and crocodiles (Archosauria). *BMC Biol. Journal*. 2012; 10 (65). doi 10.1186/1741-7007-10-65.

8. Sufieva, D. A., Kirik, O. V., Korzhevskii, D. E. Nucleolin and Nucleoli in Ependymocytes and Tanocytes of the Third Ventricle of the Rat Brain. *Cell and Tissue Biology*. 2018; 12 (2): 166–172. doi 1134/S1990519X18020116.

9. Sufieva, D. A., Kirik, O. V., Korzhevskii, D. E. Astrocyte Markers in the Tanocytes of the Third Brain Ventricle in Postnatal Development and Aging in Rats. *Russian Journal of Developmental Biology*. 2019; 50 (3): 146–153. doi 10.1134/S1062360419030068.

#### **Информация об авторах**

Сентюрова Л. Г. — доктор медицинских наук, профессор;  
Теплый Д. Л. — доктор биологических наук, профессор;  
Берлякова Е.М. — кандидат медицинских наук, доцент;  
Шерышева Ю. В. — кандидат медицинских наук, доцент;  
Мазлов А.М. — старший преподаватель;  
Морозов В. Д. — студент.

#### **Information about the authors**

Sentyurova L. G. — Doctor of Medical Sciences, Professor;  
Teply D. L. — Doctor of Biological Sciences, Professor;  
Berlyakova E. M. — Candidate Of Medical Sciences, Associate Professor;  
Sherysheva Yu. V. — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor;  
Mazlov A. M. — Senior Lecturer;  
Morozov V. D. — student.

#### **Вклад авторов**

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.  
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### **Contribution of the authors**

The authors contributed equally to this article.  
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 15.02.2023; одобрена после рецензирования 17.02.2023; принята к публикации 20.02.2023.

The article was submitted 15.02.2023; approved after reviewing 17.02.2023; accepted for publication 20.02.2023.