

application of study medication. To achieve this goal was used gamma-spectrometric method for the determination of radiocaesium in the organs and tissues of animals. The percentage of cesium removal from the body when using radionita was 90%. The percentage of cesium removal from the body, using a zeolite was 75.9%. The biological half-life of radioactive cesium from the body when using radionita is 1 day. The biological half-life of radioactive cesium from the body when using a zeolite is 4.5 days. The research results can be used for the in the breeding of livestock in areas with radioactive contamination.

**Сведения об авторе:**

**Ковалев Иван Игоревич**, соискатель ученой степени кандидата биологических наук, инженер кафедры радиобиологии и вирусологии им. Академиков РАСХН А.Д. Белова и В.Н. Сюрин ФГБОУ ВО МГАВМиБ – МВА им. К.И. Скрябина д.23, ул. Академика Скрябина, Москва, Россия, 109472; тел.: 8-915-311-08-01; e-mail: kovalev\_01@mail.ru.

**Author affiliation:**

**Kovalyov Ivan Igorevich**, Competitor of an academic degree of Candidate of Biology, the Engineer of Department of Radiobiology and Virology of Academicians of Russian Academy of Agrarian Sciences A.D. Belov and V.N. Syurin of the Moscow Veterinary Academy them. K.I. Scriabin; str. Academician Skryabin, 23, Moscow, Russia, 109472; tel.: 8-915-311-08-01; e-mail: kovalev\_01@mail.ru

УДК 611.8:636.5

**Дроздова Л.И., Мадоннова С.В.**

## **МИКРОСТРУКТУРА ГЕМАТОЭНЦЕФАЛИЧЕСКОГО БАРЬЕРА У РАЗНОВОЗРАСТНОЙ ПТИЦЫ**

**Ключевые слова:** цыпленок-бройлер, головной мозг, гематоэнцефалический барьер, микро-структура, эндотелий, глиальная клетка, перичит

**Резюме:** Целью работы было изучение ультрамикроскопического строения гематоэнцефалического барьера у цыплят-бройлеров разного возраста. Для исследования был взят головной мозг цыплят-бройлеров, принадлежащих одной из птицефабрик Свердловской области, в суточном возрасте, а так же в 20 и 38 суток. В результате проведенных исследований можно сделать следующее заключение: после вылупления из яйца гематоэнцефалический барьер цыпленка имеет вполне сформированную структуру. Такие элементы барьера, как базальная мембрана, эндотелиальные клетки, глиальные «муфты» присутствуют. Эндотелиоциты имеют плотные контакты между собой. Слой базальной мембраны структурирован и оформлен. Глиальные клетки плотно окружают сосуд. В дальнейшей жизнедеятельности цыпленка-бройлера структура барьера сохраняется. Элементы становятся более оформленными. Начинают просматриваться перичиты. Тем не менее, отмечаются периваскулярные отеки и просветления в цитоплазме ножек астроцитов. В финишный период продуктивности цыплят-бройлеров гематоэнцефалический барьер не теряет своей морфологической сущности. Эндотелиоциты становятся крупнее, места ми набухшими. Что касается глиальных клеток, в них проявляются признаки деструкции в виде просветления нуклеоплазмы и разрушения внутренней структуры. Кроме того, встречаются периваскулярные отеки, что свидетельствует о патологических процессах в структуре гематоэнцефалического барьера.

**Введение**

Гематоэнцефалический барьер (ГЭБ)

– высокоорганизованная морфофункциональная система, включающая церебраль-

ные эндотелиоциты и комплекс поддерживающих структур: базальную мембрану, перициты и астроциты [1- 3]. За редким исключением ГЭБ хорошо развит во всех сосудах церебрального микроциркуляторного русла диаметром менее 100 мкм. Эти сосуды, включающие в себя собственно капилляры, а также пред- и посткапилляры, объединяются в понятие микрососуды. ГЭБ выполняет барьерную, метаболическую, транспортную, иммунную и нейросекреторную функции, без которых невозможно нормальное функционирование ЦНС [4, 5].

В настоящее время обоснована морфологическая организация ГЭБ, включающая три уровня клеточных систем: первый – это двухмембранный слой эндотелиоцитов, второй – базальная мембрана, имеющая в своём составе перициты и фибриллярные компоненты, и третий – астроцитарная муфта (из отростков астроцитов), покрывающая 90% поверхности барьера. Строение ГЭБ одинаково практически во всех отделах головного мозга, за исключением гипоталамо-гипофизарной области [6].

Основу барьера составляют капилляры головного мозга. Так для эндотелиоцитов, входящих в состав нейроваскулярной единицы, характерно: повышенное содержание митохондрий, отсутствие фенестраций капилляров, высокая трансэндотелиальная электрическая устойчивость, минимальная пиноцитозная активность, наличие плотных контактов, что значительно ограничивает парацеллюлярную проницаемость.

К функции пероцитов относятся: поддержание тонуса базальной мембраны, осуществление сократительной функции, а также опосредованное влияние на регенерацию эндотелия ГЭБ через секрецию трансформирующего фактора роста [7]. Астроциты принимают активное участие в активном транспорте ряда ионов, иммунном ответе мозга, стимуляции синтеза миелина и регуляции обмена нейромедиаторов. Считается, что именно астроглия обеспечивает сохранение фенотипа ГЭБ и способствует регенерации эндотелия [8]. Ранее общепринятым постулатом являлось то, что нейроны не находятся в непосредственном контакте с эндотелиоцитами, в качестве «посредников» выступают астроциты, обеспечивающие трофику и метаболизм нейронов. Однако недавние сообщения ряда исследователей свидетельствуют о том, что аксоны нейронов

все-таки могут иметь непосредственный контакт с базальной мембраной [9, 10].

Обобщая и анализируя данные доступной литературы, можно заключить, что имеющиеся сведения о морфологии головного мозга птиц недостаточно полно отражены в возрастном аспекте. Исследованиями морфологии головного мозга, в основном, занимаются ученые медицины.

#### **Материалы и методы исследований**

Исследования по изучению микроструктуры гематоэнцефалического барьера проводили в 2015 году на кафедре анатомии и физиологии Уральского ГАУ и птицефабриках Свердловской области.

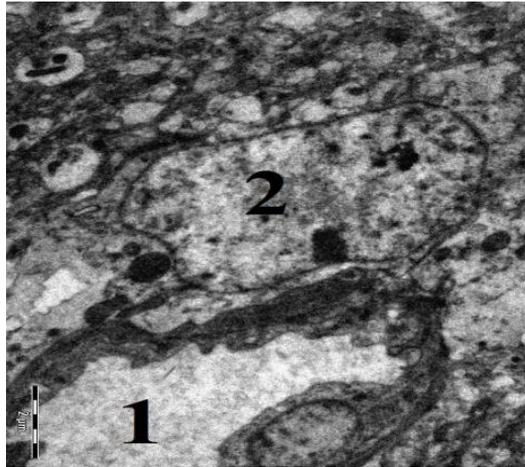
Материал взят у цыплят-бройлеров суточного возраста, а также в 20 и 38 суток.

Для ультрамикроскопических исследований материал фиксировали в 2,5% растворе глутар-альдегида, заливали в эпон и аралдит идентичных фирм. Срезы готовили на микротоме LKB-III и просматривали под микроскопом «Morgagni 268». Для исследования взят материал из конечного мозга и мозжечка.

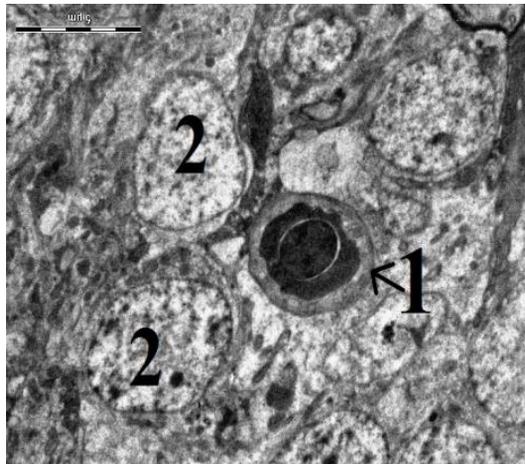
#### **Результаты и обсуждение**

При гистологическом исследовании материала, полученного от суточных цыплят, отмечена хорошо сформированная стенка кровеносных сосудов. Слой базальной мембраны отчетливо просматривается, она непрерывна. Эндотелиоциты плотно контактируют друг с другом. Ядра этих клеток округлые, контуры ядра ровные. Контакт сосудистой стенки с прилежащей глиальной клеткой плотный на всем протяжении. В прилежащих ножках астроцитов отмечено просветление цитоплазмы (рис. 1, 2).

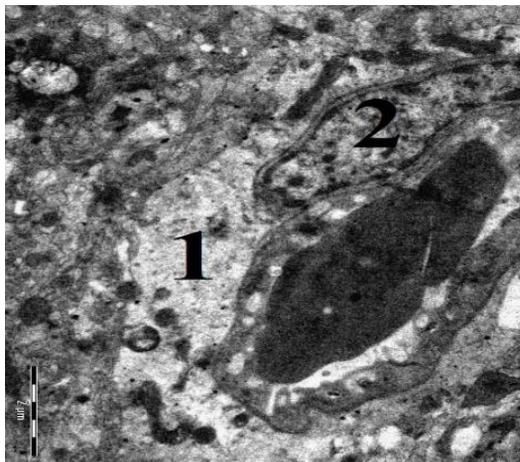
У 20-суточных цыплят сосудистая стенка в своем составе часто имеет крупные клетки - перициты. Границы сосудов отчетливо просматриваются. Эндотелиоциты имеют хорошо выраженную клеточную структуру. Внутри просматриваются цитоплазматические элементы. Четко видна клеточная мембрана каждого эндотелиоцита. Ядра эндотелиоцитов округлые, внутри их видны равномерно распределенные зерна хроматина. Клеточные контакты плотные. В пероцитах, находящихся на периферии, хорошо просматриваются контуры и некоторые клеточные элементы. Ножки астроцитов плотно прилегают к сосудам, цитоплазма их более просветлена. Имеются элементы деструкции в виде отека (рис. 3, 4). Так же обнаружен нейрон, не-



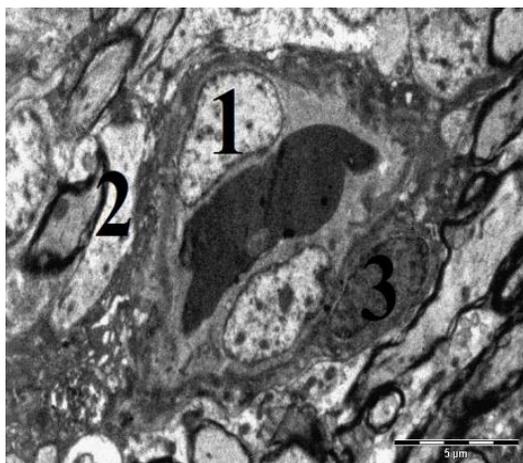
**Рис.1. Суточные цыплята. Кора больших полушарий.**  
Обозначения:1-Просвет кровеносного сосуда. 2-Глиальная клетка. Увеличение  $\times 5600$ .



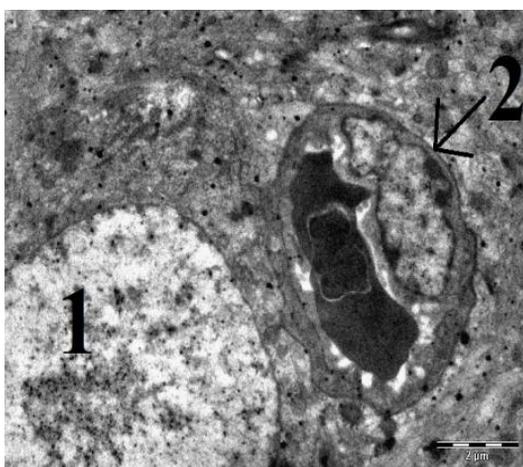
**Рис.2 Суточные цыплята. Кора мозжечка.**  
Обозначения: 1-Кровеносный сосуд. 2-Глиальные клетки. Увеличение  $\times 4400$ .



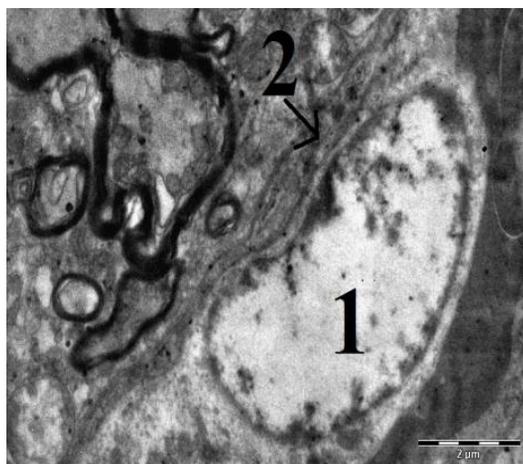
**Рис 3. 20-суточные цыплята. Кора больших полушарий**  
Обозначения: 1-Ножка астроцита. 2-Перицит Увеличение  $\times 8900$



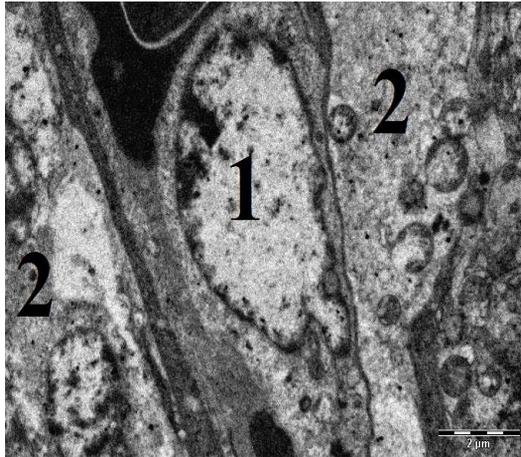
**Рис.4. 20-суточные цыплята. Кора мозжечка**  
Обозначения:1-Эндотелиоцит. 2-Отростки астроцитов. 3-Перицит. Увеличение ×4400.



**Рис. 5. 20-суточные цыплята. Кора больших полушарий**  
Обозначения: 1-Нейрон. 2-Кровеносный сосуд. Увеличение ×7100.



**Рис. 6. 38-суточные цыплята. Кора больших полушарий**  
Обозначения: 1- Эндотелиоцит. 2-Базальная мембрана. Увеличение ×5600.



**Рис.7. 38-суточные цыплята. Кора мозжечка**  
 Обозначения:1-Эндотелиоцит. 2-Отростки астроцитов. Увеличение  $\times 7100$ .

посредственно контактирующий со стенкой кровеносного сосуда (рис.5)

При изучении строения сосудистой стенки мозга цыплят 38-суточного возраста выявлены набухшие эндотелиоциты, выступающие в просвет сосудов (рис.6). Сосуды полнокровны, в просвете видны слажированные эритроциты. Отмечается просветление и опустошение нуклеоплазмы эндотелиоцитов, митохондрии набухшие, матрикс просветлен. Контакты сосудистой стенки с нервными окончаниями плотные, встречаются участки небольших периваскулярных отеков. В цитоплазме глиальных клеток видны участки опустошения, либо бесструктурные зернистые массы (рис.7).

#### Заключение

В результате проведенных исследований можно сделать следующее заключение: после вылупления из яйца гематоэнцефалический барьер цыпленка имеет вполне сформированную структуру. Все элементы барьера присутствуют. Эндотелиоциты имеют плотные контакты между со-

бой. Слой базальной мембраны структурирован и оформлен. Глиальные клетки плотно окружают сосуд. При изучении структуры ГЭБ нами подтверждено утверждение (Begley D.J. с соавт., 2000, Cardoso FL. с соавт., 2010) [10, 11], о возможном непосредственном контакте нейрона и церебрального кровеносного сосуда.

В дальнейшей жизнедеятельности структура барьера сохраняется. Элементы становятся более оформленными. Начинают просматриваться перicyты. Тем не менее, отмечаются периваскулярные отеки и просветления в цитоплазме ножек астроцитов. В финишный период продуктивности цыплят-бройлеров гематоэнцефалический барьер не теряет своей морфологической сущности. Эндотелиоциты становятся крупнее, местами набухшими. Что касается глиальных клеток, в них проявляются признаки деструкции в виде просветления нуклеоплазмы и разрушения внутренней структуры. Кроме того, встречаются периваскулярные отеки, что свидетельствует о патологических процессах в структуре гематоэнцефалического барьера.

#### Библиографический список:

1. Lefauconnier J.M. The blood brain barrier / J.M. Lefauconnier // *Physiological data*. Paris. – 1989. – vol. 140(1). – P.3-13.
2. Чехонин В.П. Фундаментальные и прикладные аспекты изучения гематоэнцефалического барьера / В.П. Чехонин, В.П. Баклаушев, Г.М. Юсубалиева, Н.Е. Волгина, О.И. Гурина // *Вестник российской академии наук*. – 2012. – №8. – С.66-78.
3. Рябухин И.А. Гематоэнцефалический барьер. Часть 1. (Эмбриогенез, клеточная и субклеточная биология плотных контактов эндотелиоцитов) / И.А. Рябухин, Т.Б. Дмитриева, В.П. Чехонин // *Нейрохимия*. – 2003. – Т.20. – №1. – С.12-23.
4. Mooradian A.D. Effect of aging on the blood-brain barrier / A.D. Mooradian // *Neurobiol Aging*. – 1988. – vol. 9(1). – P.31-91.
5. Лычко В.С. Гематоэнцефалический барьер и современные возможности управления им в эксперименте / В.С. Лычко, В.А. Малахов // *Украинский неврологический журнал*. – 2012. – №4(25). – С. 033-038.
6. Малахов В.А. Гематоэнцефалический барьер как часть нейро-иммуно-эндокринной системы / В.А. Малахов, В.С. Лычко, К.В. Грецих // *Украинский неврологический журнал*. – 2014. – №1(30). – С. 25-30.

7. Бредбери М. Концепция гематоэнцефалического барьера / М. Бредбери; пер. с англ. – М., 1983. – 480 с.
8. Kamouchi M. Brain pericytes: emerging concepts and functional roles in brain homeostasis / M. Kamouchi, T. Ago, T. Kitazono // Cell Mol Neurobiol. – 2011. – Vol.31. – №2. – P. 427-432.
9. Nedergaard M. New roles for astrocytes: redefining the function architecture of the brain / M. Nedergaard, B. Ransom, S.A. Goldman // Trends Neurosci. – 2003. – №26. – P. 525-530.
10. Begley D.J. The blood brain barrier and Drug Delivery to the CNS / D.J. Begley, M.V. Bradbery, J. Kreuter // Marcel Dekker, Inc. New York – 2000.
11. Cardoso F.L. Looking at the blood-brain barrier: Molecular anatomy and possible investigation approaches // F.L. Cardoso, D. Brites, M.A. Brito // Brain res. Review. – 2010. – №64. – P. 328-363.

#### References:

1. Vide supra.
2. Chekhonin V.P. Fundamentalnye i prikladnye aspekty izucheniya gematoentsefalicheskogo baryera [Fundamental and applied aspects of studying brain barrier] / V.P. Chekhonin, V.P. Baklaushiev, G.M. Yusubaliyeva, N.E. Volgina, O.I. Gurina // Vestnik rossyskoy akademii nauk. – 2012. – №8. – S. 66-78.
3. Ryabukhin I.A. Gematoentsefalichesky baryer. Chast 1. (Embriogenez, kletochnaya i subkletochnaya biologiya plotnykh kontaktov endotelitsitov) [The blood-brain barrier. Part 1 (embryogenesis, cellular and subcellular biology of endothelial tight junctions)] / I.A. Ryabukhin, T.B. Dmitriyeva, V.P. Chekhonin // Neurokhimiya. – 2003. – T.20. – №1. – S. 12-23.
4. Vide supra.
5. Lychko V.S. Gematoentsefalichesky baryer i sovremennye vozmozhnosti upravleniya im v eksperimente [The blood-brain barrier and advanced management capabilities they experiment] / V.S. Lychko, V.A. Malakhov // Ukrainskyi nevrologicheskyy zhurnal. – 2012. – №4(25). – S. 033-038.
6. Malakhov V.A. Gematoentsefalichesky baryer kak chast' neyro-immuno-endokrinnoy sistemy [Blood-brain barrier as part of the neuro-immune-endocrine system] / V.A. Malakhov, V.S. Lychko, K.V. Gretsikh // Ukrainskyi nevrologicheskyy zhurnal. – 2014. – №1(30). – S. 25-30.
7. Bredberi M. Kontseptsiya gematoentsefalicheskogo baryera [The concept of blood-brain barrier] / M. Bredberi; per. s angl. – М., 1983. – 480 s.
8. – 11. Vide supra.

**Drozdova L.I., Madonova S.V.**

#### **MICROSTRUCTURE OF BLOOD-BRAIN BARRIER IN BIRDS OF DIFFERENT AGES**

**Key Words:** chicken broiler, brain, blood-brain barrier, microstructure, endothelial, glial cells, pericyte.

**Abstract:** The aim of this work was to study of the ultramicroscopic structure of the blood-brain barrier from broiler chickens of different ages. To study the brain was taken brain of broiler chickens 1, 20 and 38 days old. After studies can draw the following conclusion: after hatching chicken the blood-brain barrier has fully formed structure. Such barrier components as the basement membrane, endothelial cells, glial «clutch» are present. Endothelial cells have a close contact with each other. The layer of the basement membrane is structured. Glial cells surround the vessels tightly. Further barrier structure is maintained. The elements are becoming more structured. Pericytes are viewed. Nevertheless, marked perivascular edema and enlightenment in the cytoplasm of astrocyte ends. In the finishing period of the productivity of broiler chickens the blood-brain barrier has not lost its morphological identity. Endothelial cells become are larger, sometimes swollen. Regarding glial cell, they show signs of degradation in the form of cleaning of nucleoplasm and destruction of the internal structure. Furthermore, there is perivascular edema, which indicates the pathological processes in the structure of the blood-brain barrier.

#### **Сведения об авторе:**

**Дроздова Людмила Ивановна**, доктор ветеринарных наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ, заведующая кафедрой анатомии и физиологии Уральского ГАУ; д. 42, ул. Карла Либкнехта, Екатеринбург, Россия; тел.: 8(343)291- 65- 32; e-mail: drozdova43@mail.ru

**Мадонова Светлана Викторовна**, ассистент кафедры анатомии и физиологии Уральского ГАУ; д. 42, ул. Карла Либкнехта, Екатеринбург, Россия; тел.: +7(902)879-07-20; e-mail: madonova.s@mail.ru

#### **Author affiliation:**

Drozdova Lyudmila Ivanovna, D. Sc in Veterinary Medicine, Professor, Honored Scientist of Russia, Head of the Department of Anatomy and Physiology of the Ural State University of Agriculture; d. 42, str. Karl Liebkecht, Ekaterinburg, Russia; phone: 8 (343) 291- 65-32; e-mail: drozdova43@mail.ru

**Madonova Svetlana Victorovna**, Assistant of the Department of Anatomy and Physiology of the Ural State University of Agriculture; d. 42, str. Karl Liebkecht, Ekaterinburg, Russia; phone: + 7 (902) 879-07-20; e-mail: madonova.s@mail.ru