

## ОБЗОРНЫЕ СТАТЬИ

Обзорная статья

УДК 611.018; 591.8+611.013;591.3; 591.4  
doi:10.18499/2225-7357-2025-14-3-84-93  
1.5.22 – клеточная биология



## Гистогематические барьеры

Н. Н. Шевлюк✉, Е. В. Блинова, М. Ф. Рыскулов

Оренбургский государственный медицинский университет, Оренбург, Россия

**Аннотация.** Целью обзора явился анализ морфофункциональной характеристики гистогематических барьеров. Создание концепции о гистогематических барьерах связано с именем академика Лины Соломоновны Штерн (1878 – 1969). Под гистогематическими барьерами понимают барьеры между кровью в сосудах микроциркуляторного русла и клеточными элементами паренхимы того или иного органа, обеспечивающие баланс обменных процессов между кровью и тканями, регулирующие избирательный транспорт веществ между кровью и определенными замкнутыми пространствами различных органов. Количество структурно-функциональных систем, позиционируемых как гистогематический барьер, к настоящему времени составляет несколько десятков. К числу наиболее изученных гистогематических барьеров относятся гематоэнцефалический, гематотестикулярный и плацентарный. Компонентами любого гистогематического барьера являются: клетки эндотелия кровеносных капилляров, базальная мембрана эндотелия, интерстициальный матрикс, паренхима органа (в большинстве гистогематических барьеров это эпителий, лежащий на базальной мембране). Важнейшей особенностью гистогематических барьеров является наличие большого числа различных видов плотных контактов между клеточными элементами сосудистой и паренхиматозной частей барьера. Важная роль в функционировании плотных контактов принадлежит трансмембранным белкам, прежде всего, окклюдинам и клаудинам, а также ряду других белков (кадгеринов, катенинов, каркасным белкам, различным молекулам адгезии). Наиболее сложно устроенным гистогематическим барьером является гематотестикулярный барьер. В него входят (по направлению от крови к клеткам сперматогенного эпителия): эндотелий капилляров, расположенных в интерстиции семенника (яичка), базальная мембрана эндотелия, слой фибробластоподобных клеток, базальная мембрана и расположенные на ней 2–3 слоя миоидных клеток, базальная мембрана сперматогенного эпителия, базальная часть sustentocytov (клеток Сертоли). До сих пор отсутствует универсальная классификация гистогематических барьеров. Трактовка некоторых барьерных систем как гистогематических барьеров является дискуссионной. Очевидно, гистогематическими барьерными системами являются только такие барьеры, которые создают препятствия для проникновения тех или иных веществ из крови внутрь тканей организма.

**Ключевые слова:** гистогематический барьер; плотные контакты; базальная мембрана; трансмембранные белки; эндотелий; капилляры; окклюдин; кадгерины, клаудины

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Шевлюк Н.Н., Блинова Е.В., Рыскулов М.Ф. Гистогематические барьеры // Журнал анатомии и гистопатологии. 2025. Т. 14, №3. С. 84–93. <https://doi.org/10.18499/2225-7357-2025-14-3-84-93>

## REVIEW ARTICLES

Review article

## Histohematic Barriers

N. N. Shevlyuk✉, E. V. Blinova, M. F. Ryskulov

Orenburg State Medical University, Orenburg, Russia

**Abstract.** The aim of this review was to analyze the morphofunctional characteristics of histohematic barriers. The development of the concept of histohematic barriers is associated with the name of Academician Lina Solomonovna Shtern (1878–1969). Histohematic barriers are defined as the barriers between the blood in the vessels of the microvasculature and the cellular elements of the parenchyma of a given organ. They maintain the balance of metabolic processes between the blood and tissues and regulate the selective transport of substances between the blood and specific enclosed spaces of various organs. The number of structural-functional systems classified as histohematic barriers currently amounts to several dozen. Among the most extensively studied histohematic barriers are the blood-brain, blood-testis, and placental barriers. The components of any histohematic barrier are: endothelial cells of the blood capillaries, the endothelial basement membrane, the interstitial matrix, and the organ parenchyma (which, in most histohematic barriers, is an epithelium resting on a basement membrane). A crucial feature of histohematic barriers is the presence of a large number of different types of tight junctions between the cellular elements of the vascular and parenchymal parts of the barrier. An important role in the functioning of tight junctions is played by transmembrane proteins, primarily occludins and claudins, as well as a number of other proteins (cadherins, catenins, scaffolding proteins, and various adhesion molecules). The most complex histohematic barrier is the blood-testis barrier. It consists of the following components (in the direction from the blood to the cells of the spermatogenic epithelium): the

© Шевлюк Н.Н., Блинова Е.В., Рыскулов М.Ф., 2025

endothelium of the capillaries located in the testicular interstitium, the endothelial basement membrane, a layer of fibroblast-like cells, the basement membrane and 2–3 layers of myoid cells situated on it, the basement membrane of the spermatogenic epithelium, and the basal portion of the sustentocytes (Sertoli cells). A universal classification of histohematic barriers is still lacking. The interpretation of some barrier systems as histohematic barriers is a subject of debate. It is evident that only those barriers which impede the penetration of certain substances from the blood into the body's tissues can be considered histohematic barrier systems.

**Keywords:** histohematic barrier; tight contacts; basement membrane; transmembrane proteins; endothelium; capillaries; occluding; cadherins; claudins

**Conflict of interests:** the authors declare no conflict of interests.

**For citation:** Shevlyuk N.N., Blinova E.V., Ryskulov M.F. Histohematic barriers. *Journal of Anatomy and Histopathology*. 2025. V. 14, №3. P. 84–93. <https://doi.org/10.18499/2225-7357-2025-14-3-84-93>

## История разработки концепции гистогематических барьеров

Представления о неодинаковой проницаемости для различных веществ из крови в ткани органов появились еще в XIX веке. Впервые на наличие барьера между кровью и нервной тканью мозга обратил внимание Пауль Эрлих в 1885 году, когда, наблюдая распределение витальных красителей в мозге, он обнаружил, что введенный в кровоток витальный краситель не окрашивал нервные клетки мозга [2].

Создание концепции о гистогематических барьерах связано с именем академика Лины Соломоновны Штерн (1878–1969). Термин «гистогематический барьер» был предложен ею в 1929 году [1, 3, 17, 22, 30]. Первоначально представление о барьерных системах рассматривало их преимущественно как физиологический механизм. Представление о гистогематических барьерах как структурно-функциональных системах было сформировано в 50–60-е годы XX века после серии электронно-микроскопических исследований, показавших наличие структурных эквивалентов барьерных функций, установивших специфические морфофункциональные элементы, обеспечивающие барьерные функции и транспорт веществ через эти барьеры. Проведенный в 60-е годы XX в ультраструктурный анализ установил наличие многочисленных плотных контактов между эндотелиоцитами кровеносных капилляров в составе барьеров и наличие различных видов плотных соединений между клетками тканевых структур, формирующих паренхиму органа. Большое значение для изучения морфофункциональной характеристики гистогематических барьеров имело широкое внедрение в морфологические исследования методов молекулярной биологии и открытие на основе этих методов многих сотен белковых молекул, обеспечивающих барьерные и обменные функции гистогематических барьеров [2, 13, 14, 26, 29, 45, 46, 48, 52, 58, 59, 62, 63, 69, 70].

Однако и ныне ряд исследователей придерживается представлений о гистогема-

тическом барьере как физиологическом механизме. Так, например, С.Б. Бережанская и соавт. [2] полагают, что гематоэнцефалический барьер в большей степени не анатомическое образование, а функциональное понятие, характеризующее определенный физиологический механизм. Подобную же точку зрения в отношении гематоофтальмического барьера высказывал В.И. Морозов [13, 14].

В числе первых были детально описаны ультраструктурные характеристики гематоэнцефалического, гематотестикулярного, плацентарного, гематотимического и гематоти-реоидного барьеров, и к началу 80-х годов XX века было сформулировано представление о наличии гистогематических барьеров в центральной нервной и репродуктивной системах [6, 8, 26, 27, 67]. К гистогематическим барьерам стали относить барьеры между кровью в сосудах микроциркуляторного русла и клеточными элементами паренхимы того или иного органа. Гистогематические барьеры как сложноорганизованные динамические морфофункциональные системы обеспечивают баланс обменных процессов между кровью и тканями, регулируя избирательный транспорт веществ между кровью и определенными замкнутыми пространствами различных органов. То есть, эти структурно-функциональные системы обеспечивают постоянство внутренней среды организма [6, 8, 11, 12, 15, 19, 26, 28, 33, 34, 38, 48, 61, 67].

Во второй половине XX века к гистогематическим барьерам без достаточных на то оснований стали относить и другие барьеры, существующие в организме человека и животных, например, аэрогематический (между кровью и воздухом в альвеолах), фильтрационный барьер в почках (между кровью и первичной мочой), интестинальный (между кровью и химусом в кишечнике), гематосаливарный (между кровью и слюной), гематобилиарный (между кровью и желчью), гематоплевральный (между кровью и плевральной жидкостью) и ряд других барьеров, не являющимися барьером между кровью и тканями. Четкое представление о гистогематических барьерах стало не очень определенным.

Целью обзора явился анализ морфо-функциональной характеристики гистогематических барьеров.

### **Вопросы классификации гистогематических барьеров**

В связи с многообразием барьерных систем и отсутствием единых классификационных признаков у столь разнородных структурно-функциональных систем до настоящего времени не создана универсальная классификация гистогематических барьеров. Представления о классификации гистогематических барьеров нуждаются в углублении, уточнении и дополнении.

Акцентируя внимание на типических чертах гистогематических барьеров, следует также иметь в виду и органические различия в структурно-функциональной характеристике этих барьеров. При этом органические особенности могут касаться как сосудистых компонентов барьеров, так и паренхиматозных.

Кроме того, гистогематические барьеры могут различаться и направленностью транспорта веществ через них. Например, гематоренальный барьер характеризуется односторонней проницаемостью (только из крови в капсулу Боумена–Шумлянского). Функциональное значение аэрогематического барьера заключается в создании возможности беспрепятственной диффузии газов в обоих направлениях.

Количество структурно-функциональных систем, позиционируемых как гистогематический барьер, к настоящему времени составляет несколько десятков: аэрогематический (между кровью и воздухом в альвеолах), гематоартикулярный (между кровью и синовиальной жидкостью), гематобилиарный (гематожелчный, гематогепатический, гематопеченочный, барьер между кровью и желчью), гематолабиринтный (между кровью и эндолимфой), гематоликворный (между кровью и цереброспинальной жидкостью), гематолимфатический (между кровью и лимфой), гематонейрональный (между кровью и периферическими отростками нейронов), гематоофтальмический (между кровью и внутриглазной жидкостью), гематоплевральный (между кровью и жидкостью в плевральной полости), гематоренальный (фильтрационный барьер почек, гломерулярный фильтрационный) (между кровью и первичной мочой), гематосаливарный (между кровью и внутренним секретом слюнных желез), гематотестикулярный (между кровью и постмейотическими сперматогенными клетками), гематотимусный (между кровью и дифференцирующимися лимфоцитами коркового вещества дольки тимуса), гематотиреоидный (между кровью полостью фолликула), гематоцеллюлярный (между кровью и специализированными клетками органов), гематоэнцефалический

(между кровью и нейронами центральной нервной системы), гематоэпидидимальный (между кровью и сперматозоидами в просвете канальцев придатка), гематоовариальный (фолликулярный) (между кровью и развивающимися женскими половыми клетками), гистогематический барьер мышц (между кровью и мышечной тканью), плацентарный (между кровью плода и матери), энтерогематический (между кровью и кишечным химусом) [6, 8, 11, 12, 19, 26, 28, 33, 34, 35, 36, 38, 41, 43, 44, 48, 53, 55].

При этом следует отметить, что исследователи в ряде случаев в структуре гистогематического барьера выделяют более мелкие барьерные системы. Так, например, В.И. Морозов [13] в составе гематоофтальмического барьера выделяет три барьерных системы – гематоцилиарный барьер, гематоретинальный барьер и гематопапиллярный барьеры.

К числу наиболее изученных гистогематических барьеров относятся гематоэнцефалический, гематотестикулярный, плацентарный.

Выяснение факторов и механизмов регуляции проницаемости тех или иных барьеров имеет не только фундаментальное, но и прикладное значение, например, при анализе различных патологических состояний, при клинических испытаниях фармпрепаратов [31, 32].

Анализ литературы показывает, что представление о гистогематических барьерах, казавшееся стройной теорией в середине XX века, к настоящему времени таковой не является. Необходимо указать, что трактовка некоторых барьерных систем как гистогематических барьеров, является дискуссионной.

### **Морфофункциональная характеристика гистогематических барьеров**

Компонентами любого гистогематического барьера являются: клетки эндотелия кровеносных капилляров, базальная мембрана эндотелия, интерстициальный матрикс, паренхима органа (в большинстве гистогематических барьеров это эпителий, лежащий на базальной мембране).

Так, в состав гематоэнцефалического барьера входят: эндотелий гемокapилляра, базальная мембрана эндотелия, глиальные клетки, окружающие тела и отростки нервных клеток, а также перicytes [2, 26].

Более сложно устроены гистогематические системы в репродуктивных органах. Так, гематотестикулярный барьер включает (по направлению от крови к клеткам сперматогенного эпителия): эндотелий капилляров, расположенных в интерстиции семенника (яичка), базальную мембрану эндотелия, слой фибробластоподобных клеток, базальную мембрану и расположенные на ней 2–3 слоя

миоидных клеток, базальную мембрану сперматогенного эпителия, базальную часть сустентоцитов (клеток Сертоли) [7, 28, 57]. В состав гематозэпидидимального барьера входят: псевдомногослойный столбчатый эпителий, лежащий на базальной мембране, рыхлая соединительная ткань собственной пластинки слизистой и эндотелий капилляров, расположенный на базальной мембране [28, 42, 49, 57]. Плацентарный барьер состоит из следующих структур (по направлению от крови плода к крови матери): эндотелий капилляров ворсины хориона, базальная мембрана эндотелия, соединительная ткань ворсины, базальная мембрана трофобласта и лежащие на ней цитотрофобласт и симпластотрофобласт (во второй половине на поверхности многих ворсин появляется еще и слой фибриноида) [11, 12].

Гематоовариальный барьер демонстрирует разную степень организации в зависимости от стадии зрелости фолликула, наиболее просто устроен он в примордиальных и первичных фолликулах и достигает большой сложности в третичных (антральных) фолликулах [24, 68]. Это связано с тем, что развивающиеся половые клетки на ранних стадиях овогенеза не являются антигенными. Антигенную специфичность они приобретают только после завершения профазы первого деления мейоза. Следует отметить, что у некоторых млекопитающих мейоз в развивающихся женских половых клетках наблюдается даже после овуляции, либо незадолго до нее.

Одним из ведущих компонентов гистогематических барьеров является эндотелий кровеносных капилляров и базальная мембрана эндотелия. В ее составе содержится коллаген IV типа, ламинин, недоген, различные гликопротеины и протеогликаны [6]. Как правило, в капиллярах, входящих в состав гистогематических барьеров, и эндотелий, и базальная мембрана являются непрерывными. Например, в гематозэнцефалическом барьере эндотелиальная выстилка капилляров является сплошной, не содержит фенестр и межклеточных щелей [2, 44, 48, 53, 55, 59, 63, 64, 66, 69, 72, 73, 74, 76]. При этом обращает на себя внимание более высокое содержание митохондрий в эндотелиоцитах в составе гистогематического барьера (в 5–10 раз превышающих содержание митохондрий в эндотелиоцитах капилляров, не входящих в состав гистогематического барьера) [2]. Однако в ряде гистогематических барьеров (например, в аэрогематическом, гематоренальном) эндотелий является фенестрированным. Согласно данным В.К. Верина и соавт. [4], в гематобилиарном барьере клеточная выстилка печеночных синусоидов высших позвоночных образована эндотелием прерывистого типа, а у низших позвоночных – непрерывным и фенестрированным в слабой или сильной степени фенестрации. Следует отметить сложную ор-

ганизацию базальной мембраны в системе некоторых барьеров (например, в гематотестикулярном барьере) [7, 28, 57]. Так, например, одной из особенностей гематотестикулярного барьера в семенниках крупного рогатого скота является то, что базальная мембрана, на которой расположены сустентоциты (внутренний не клеточный слой стенки извитого семенного канальца), является многослойной и представлена 5–6 параллельно расположенными фибриллярными слоями [7]. Следует также отметить, что эта базальная мембрана обладает максимальной толщиной среди аналогичных структур семенников различных млекопитающих.

В последнее время повысился интерес к выяснению роли и значимости перицитов в обеспечении функционирования гистогематических барьеров. Выяснено, что перициты не только изменяют просвет капилляров и регулируют кровяное давление в сосудах микроциркуляторного русла. Так, получены сведения об их важной роли в системе гистогематических барьеров: установлена их способность к синтезу ряда вазоактивных веществ, а также иммуномодуляторных цитокинов, показана их роль в регуляции формирования плотных контактов между эндотелиоцитами, выявлено их влияние на регенерацию эндотелия, показана способность к фагоцитозу [2, 6, 26, 41]. Однако, до настоящего времени многие аспекты роли перицитов в функционировании сосудистой части гистогематических барьеров исследована недостаточно. Так, для перицитов пока еще не выявлены надежные специфические маркеры, что затрудняет их идентификацию [6].

Следует также отметить и участие клеточных элементов рыхлой соединительной ткани в функционировании гистогематических барьеров, прежде всего, за счет наличия в ней иммунокомпетентных клеток.

Важнейшей особенностью гистогематических барьеров является наличие большого числа различных видов плотных контактов между соответствующими видами клеточных элементов. Например, в гематозэпидидимальном барьере ведущую роль играют контакты между главными клетками псевдомногослойного столбчатого эпителия [42, 57]. В гематотестикулярном барьере различные виды плотных контактов выявляются между базальными частями клеток Сертоли, между миоидными клетками и между фибробластоподобными клетками [28, 57]. В аэрогематическом барьере пневмоциты I типа связаны друг с другом и с пневмоцитами II типа с помощью плотных межклеточных контактов, замыкающих межклеточные промежутки с апикальной стороны [10, 75].

В составе плотных контактов между клеточными элементами гистогематических барьеров важная роль принадлежит трансмембранным и цитоплазматическим белкам,

обеспечивающим барьерные, транспортные и сигнальные функции [2, 26, 29, 46, 52, 62, 70]. Трансмембранные белки образуют три семейства: клаудины, MARVEL-протеины (окклюдин, трицеллюлин и marvelD3) и JAM (junctional adhesion molecules)-белки. Основными белками плотных контактов являются окклюдины и разнообразные клаудины (прежде всего, клаудин-5 и клаудин-24), находящиеся в непосредственном контакте с кровью. Так, например, блокирование гена, ответственного за синтез клаудина-5, приводило к повышенной проницаемости гематоэнцефалического барьера.

Важнейшими белками плотных контактов в составе гистогематических барьеров являются также различные молекулы адгезии, которые обычно располагаются в щелевидных пространствах между эндотелиальными клетками (суперсемейство иммуноглобулинов – эндотелиальные иммуноглобулиноподобные белки, интегрины – трансмембранные белки, расположенные на поверхности клеток, способные связываться с другими белками и передавать внеклеточные сигналы, селектины – комплиментарные белки, расположенные на поверхности эндотелия, а также на тромбоцитах, лейкоцитах) [2, 26, 46, 49, 52]. Следует также указать на важную роль и ряда других белков, среди которых кадгерины, катенины, каркасные белки ZO-1, ZO-2, ZO-3. Роль клаудинов заключается в формировании параклеточного барьера, а каркасные белки стабилизируют структуру и связывают плотные контакты с цитоскелетом. Плотные контакты являются своеобразными фильтрами с пропускной способностью менее 4 нм: они как физический барьер позволяют проникать в ткани и из них только небольшим газообразным и липофильным молекулам. Перенос крупных молекул осуществляется посредством специальных транспортных систем [6].

Важная роль в нарушении структурно-функциональной целостности гистогематических барьеров принадлежит протеиназам, прежде всего, из семейства матриксных металлопротеиназ, которых в настоящее время выявлено несколько десятков. Они могут разрушать структуру базальной мембраны [6, 63].

Нарушение целостности гистогематических барьеров (например, энтерогематического, и попадание в кровь продуктов жизнедеятельности кишечной микрофлоры, вовлечено в патогенез многих острых и хронических заболеваний кишечника [29, 39, 50, 54, 56, 58, 59, 60, 62, 65, 73].

#### **Гистогематические барьеры в системе гистологической терминологии**

Сама трактовка термина «гистогематический барьер» предполагает, что это барьер между кровью и определенной тканью организма. Исходя из этого, корректно считать

гистогематическими барьерными системами только такие, основой функционирования которых является создание препятствий для проникновения тех или иных веществ из крови внутрь тканей организма. Тогда, многие из перечисленных выше гистогематических барьеров таковыми не являются (например, аэрогематический, гематоренальный).

Проницаемость различных барьеров существенно различается. Так, ряд барьеров (например, гематоэнцефалический, гематотестикулярный, гематотиреоидный, гематоэпидидимальный, плацентарный) характеризуются не только высокой избирательной проницаемостью, но и лишают иммунологической толерантности расположенные за барьером структуры. При повреждении целостности этих барьеров против клеточных и тканевых элементов забарьерных структур (являющихся чужеродными для организма) возникает аутоиммунный ответ. Очевидно, именно эти барьеры и являются истинно гистогематическими барьерами, поскольку обеспечивают возможность существования забарьерным антигенным структурам в составе органов. Например, такими антигенными структурами являются сперматозоиды в извитых канальцах семенников и в канальцах придатка семенника, тироглобулин в щитовидной железе.

Другие барьеры, например, гематосаливарный [16, 18, 20], гематогепатический [4] являются более проницаемыми. Так, более высокая проницаемость гематосаливарного барьера позволяет использовать слюну для анализа ряда гормонов (хотя их концентрация и ниже таковой в плазме крови, тем не менее, она значительная). Такая более высокая проницаемость этого барьера позволяет высказывать сомнение в его барьерной функции. Вероятно, не корректно приписывать барьерную функцию для структур, основной функцией которых является секреторная, поскольку в этом случае барьер разграничивает не кровь и другую ткань, а кровь и секреторный продукт, тканью не являющийся.

Исходя из этого вряд ли корректно именовать гистогематическими барьерами фильтрационный барьер в почках, аэрогематический, гематосаливарный, гематоинтестинальный, гематобилиарный барьеры, поскольку они разграничивают не кровь и другую ткань, а кровь и внешнюю среду, поскольку воздух в полости альвеол, формирующаяся моча во внутреннем пространстве нефрона, химус во внутреннем пространстве кишечника, и желчь в желчевыводящих путях не являются тканями организма, а, по существу, являются внешней средой.

Необходимо указать, что система терминов, относящаяся к гистогематическим барьерам, находится в стадии оформления. Так, из большого разнообразия терминов, именующих барьеры, в систему гистологиче-

ской терминологии Terminologia Histologica [24, 68] включено всего несколько терминов, касающихся барьеров (в такой транскрипции – аэро-гематический, гемато-ликворный, гемато-тестикулярный, гемато-тимический, гемато-энцефалический), причем, основные структурные компоненты в данном своде терминов указаны только для аэрогематического барьера (слой альвеолярных клеток, базальная пластинка, слой эндотелиальных клеток). В Terminologia Anatomica [23] термины, относящиеся к гистогематическим барьерам, отсутствуют. В Terminologia Embryologica [25] включен только термин «гематотимический барьер».

Поскольку устоявшейся всеми признанной терминологии нет, для обозначения одной и той же структурно-функциональной единицы используют несколько терминов, например, барьер между кровью и первичной мочой (просветом капсулы Боумена–Шумлянского) именуют гематоренальным, либо фильтрационным барьером почек, либо гломерулярным фильтрационным, либо гематонефридиальным барьером [19, 21, 31, 37, 40, 47, 51, 71]. Нередко вместо термина «гистогематический барьер» используют термины «гематопаренхиматозный барьер», «гистопаренхиматозный барьер», «внутренний барьер», «тканевой барьер» [2, 19, 27, 32]. В ряде случаев вместо термина «гистогематический барьер» авторы используют термин «гематоцеллюлярный барьер» [9].

Ряд авторов высказывают мнение о том, что термин «гистогематический барьер» является устаревшим и нуждается в замене, например, на термин «гистион» [5, 19]. Так, по мнению Р.К. Данилова [5], «...с позиций гистионов теряет смысл понятие «гистогематический барьер», а на первый план выступает клеточная кооперация (трофический и пограничный гистионы), так как сосудистый эндотелий приобретает свойство важнейшей составляющей гистиона, определяющего особенности течения реактивных и патологических процессов, концепция гистионной организации, не меняя существенно классических представлений о строении органов, открывает пути для более глубокого анализа свойств органа с позиций взаимодействия клеток, входящих в состав гистиона, и их дифференциальной реакции на регуляторные стимулы».

### Заключение

Очевидно, гистогематическими барьерными системами являются только такие барьеры, которые создают препятствия для проникновения тех или иных веществ из крови внутрь тканей организма. Следует отметить, что концептуальное оформление, касающиеся некоторых барьеров нуждается в дополнительной аргументации и дополнительных исследованиях. Вероятно, стремление обнару-

живать гистогематические барьеры в составе всех органов является не совсем оправданным. Степень изученности различных гистогематических барьеров существенно различается. Так, наиболее изученными являются гематоэнцефалический, гематотестикулярный и плацентарный.

До настоящего времени не существует удовлетворительной классификации гистогематических барьеров. Представления о классификации гистогематических барьеров нуждаются в углублении, уточнении и дополнении. Несмотря на более чем столетнюю историю изучения различных барьерных систем организма, представление о гистогематических барьерах далеко от оформления в стройную концепцию.

### Список источников / References

1. Бабий Т.П., Коханова Л.Л., Костюк Г.Г., Задорожный А.Г., Матвеев С.А., Погребняк Л.П., Теплицкая Е.В., Труханов В.А. Биологи: биографический справочник. Киев: Наукова думка; 1984. 816.  
Babij TP, Kohanova LL, Kostyuk GG., Zadorozhnyj AG., Matveenko SA., Pogrebnyak LP, Teplickaya EV, Truhanov VA. Biologi: biograficheskij spravochnik [Biologi: biographical reference book]. Kiev: Naukova Dumka; 1984. 816. (In Russ.).
2. Бережанская С.Б., Лукьянова Е.А., Жаворонкова Т.Э., Каушанская Е.Я., Созаева Д.И. Современная концепция структурно-функциональной организации гематоэнцефалического барьера и основные механизмы нарушения его резистентности. Педиатрия. 2017;96(1):135–141.  
Berezhanskaya SB, Luk'yanova EA, Zhavoronkova TE, Kaushanskaya EYa, Sozaeva DI. Sovremennaya koncepciya strukturno-funkcional'noj organizacii gematoencefalicheskogo bar'era i osnovnye mekhanizmy narusheniya ego rezistentnosti [The modern concept of the structural and functional organization of the blood-brain barrier and the main mechanisms of violation of its resistance]. Pediatrics. 2017;96(1):135–141. (In Russ.).
3. Биографический словарь деятелей естествознания и техники: [в 2-х томах]. – Москва: Большая советская энциклопедия; Т. 1. 1958. Т. 2. 1959.  
Biograficheskii slovar' deyatelei estestvoznaniya i tekhniki: [v 2-kh tomakh]. – Moskva: Bol'shaya sovetskaya entsiklopediya; T. 1. 1958. T. 2. 1959. (In Russ.).
4. Верин В.К., Волкова Р.И., Иванов В.В., Мерабишвили Э.Н., Филимонова Г.Ф. Гематобилиарный барьер печеночной балки: структура, функции регуляции. Вопросы морфологии XXI века. Сборн. трудов. Вып. 5. Под ред. И.А.Одинцовой, С.В.Костюкевича. СПб.: «Изд-во ДЕАН»; 2018:85–87.  
Verin VK, Volkova RI, Ivanov VV, Merabishvili E.N., Filimonova G.F. Gemato-biliarnyi bar'er pechenochnoi balki: struktura, funktsii regulyatsiya. Voprosy morfologii XXI veka. Sborn. trudov. Vyp. 5. Pod red. I.A.Odintsovoi, S.V.

- Kostyukevicha. SPb.: «Izd-vo DEAN»; 2018:85–87. (In Russ.).
5. Данилов Р.К. Раневой процесс: гистогенетические основы. СПб.: ВМЕДА им. С.М. Кирова. 2008. 380. Danilov RK Ranevoj process: gistogeneticheskie osnovy. St. Petersburg: VMEDA named after S.M. Kirov. 2008. 380. (In Russ.).
6. Дятлова А.С., Новикова Н.С., Юшков Б.Г., Корнева Е.А., Черешнев В.А. Гематоэнцефалический барьер в нейроиммунных взаимодействиях и развитии патологических процессов. Вестник Российской академии наук. 2022;92(10):950–960. Dyatlova AS, Novikova NS, Yushkov BG, Korneva EA, Chereshevnev VA. Gematoencefalicheskiy bar'er v nejroimmunnyh vzaimodejstviyah i razvitiy patologicheskikh processov. Vestnik Rossiiskoi akademii nauk. 2022;92(10):950–960. (In Russ.). doi: 10.31857/So869587322100048.
7. Каюмов Ф.Г., Шевлюк Н.Н., Боков Д.А., Блинова Е.В., Ковбык Л.В., Обухова Н.В. Морфофункциональная характеристика семенников быков казахской белоголовой породы крупного рогатого скота. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2016;4(60):221–223. Kayumov FG, Shevlyuk NN, Bokov DA, Blinova EV, Kovbyk LV, Obuhova NV. Morfofunktsional'naya harakteristika semennikov bykov kazahskoy belogolovoy porody krupnogo rogatogo skota. Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2016;4(60):221–223.
8. Коржевский Д.Э. Структурные основы становления гематоликоврного барьера у человека. Успехи физиологических наук. 2002;133(4):43–52. Korzhevskii DE. Strukturnye osnovy stanovleniya gematolikvornogo bar'era u cheloveka. Uspekhi fiziologicheskikh nauk. 2002;133(4):43–52. (In Russ.).
9. Красноперов Р.А., Глумова В.А. Концепция стереологического анализа гематоцеллюлярных барьеров. Морфологические ведомости. 2008;1–2:171. Krasnoperov RA., Glumova VA. Kontseptsiya stereologicheskogo analiza gematotsellyulyarnykh bar'erov. Morfologicheskie vedomosti. 2008;1–2:171. (In Russ.).
10. Маргарян А.В., Рашевских О.В., Шидин В.А., Матвиенко В.В. Ремоделирование компонентов аэрогематического барьера в условиях ландшафта Крайнего Севера. Журнал анатомии и гистопатологии. 2023;12(3):41–48. Margaryan AV, Rashevskikh OV, Shidin VA, Matvienko VV. Remodelirovanie komponentov aerogematicheskogo bar'era v usloviyakh landshafta Krainego Severa. Zhurnal anatomii i gistopatologii. 2023;12(3):41–48. (In Russ.). doi:10.18499/2225-7357-2023-12-3-41-48.
11. Милованов А.П., Ерофеева Л.М., Александрович Н.В., Золотухина И.А. Строение плаценты человека во II и III триместрах беременности. Морфология. 2012;142(5):64–67. Milovanov AP, Erofeeva LM, Aleksandrovich NV, Zolotuhina IA. Stroenie placenty cheloveka vo II i III trimestrah beremennosti [The structure of the human placenta in the second and third trimesters of pregnancy]. Morphology. 2012; 142(5):64–67. (In Russ.). doi:10.17816/morph.398566.
12. Милованов А.П., Ерофеева Л.М., Золотухина И.А., Александрович Н.В. Морфогенез плаценты человека в I триместре беременности. Морфология. 2011;139(2):72–76. Milovanov AP, Erofeeva LM, Zolotukhina I.A., Aleksandrovich N.V. Morfogenez platsenty cheloveka v I trimestre beremennosti. Morfologiya. 2011;139(2):72–76. (In Russ.). doi:10.17816/morph.399514.
13. Морозов В.И. Гематофтальмический барьер: структурно-функциональные особенности. Российский офтальмологический журнал. 2017;4:68–72. Morozov VI. Gematooftal'micheskii bar'er: strukturno-funktsional'nye osobennosti. Rossiiskii oftalmologicheskii zhurnal. 2017;4:68–72. (In Russ.). doi: 10.21516/2072-0076-2017-10-4-68-72.
14. Морозов В.И., Яковлев А.А. Гематофтальмический барьер (клинические и функциональные наблюдения). Офтальмохирургия. 2002;2:45–40. Morozov VI, Yakovlev AA. Gematooftal'micheskii bar'er (klinicheskie i funktsional'nye nablyudeniya). Oftal'mokhirurgiya. 2002;2:45–40. (In Russ.).
15. Новикова Л.Н. Ультроструктура гематоликоврного барьера в сосудистом сплетении боковых желудочков головного мозга кролика при острой ишемии. Журнал Гродненского гос. мед. ун-та. 2009;2:76–78. Novikova LN. Ul'trastruktura gematolikvornogo bar'era v sosudistom spletenii bokovykh zheludochkov golovnogogo mozga krolika pri ostroi ishemii. Zhurnal Grodnenskogo gos. med un-ta. 2009;2:76–78. (In Russ.).
16. Петрович Ю.А., Подорожная Р.П., Киченко С.М. Гематосаливарный барьер. Российский стоматологический журнал. 2004;4:39–45. Petrovich YuA, Podorozhnaya RP, Kichenko SM. Gematosalivarnyj bar'er. Rossiiskii stomatologicheskii zhurnal. 2004;4:39–45. (In Russ.).
17. Росин Я.А., Малкин В.Б. Лина Соломоновна Штерн. М.: Наука. 1987. 192. Rosin YaA, Malkin VB. Lina Solomonovna Shtern. M.: Science. 1987. 192. (In Russ.).
18. Рувинская Г.Р., Мухамеджанова Л.Р. Гематосаливарный барьер: морфофункциональные особенности в норме и патологии. Практическая медицина. 2013;4(72):21–25. Ruvinskaya GR, Mukhamedzhanova LR. Gematosalivarnyi bar'er: morfofunktsional'nye osobennosti v norma i patologii. Prakticheskaya meditsina. 2013;4(72):21–25. (In Russ.).
19. Русакова С.Э. Гистогематические барьеры или функциональные гистины? В сборнике: Инновационные технологии изучения гистогенеза, реактивности и регенерации тканей (Труды Военно-медицинской академии). Под ред. Макеева Р.Г., Одинцовой И.А. Сборник научных трудов. Санкт-Петербург, 2024:38–46. Rusakova SE. Gistogematicheskie bar'ery ili funktsional'nye gistiony? V sbornike: Innovatsionnye tekhnologii izucheniya gistogeneza, reaktivnosti i regeneratsii tkanei (Trudy Voenno-meditsinskoi akademii). Pod red. Makieva R.G., Odintsovoi I.A. Sbornik nauchnykh trudov. Sankt-Peterburg, 2024:38–46. (In Russ.).
20. Сельмизова И.А., Гельмизова Ф.Н., Тлустенко В.С., Доменюк Д.А., Гусякова О.А., Колотьева

- Н.А., Гельмиева И.Е., Назаркина И.А. Гематосаливарный барьер: строение, функции, методы (обзор литературы). Клиническая лабораторная диагностика. 2022;67(6):334–338. Selezneva IA, Gel'miyarova FN, Tlustenko VS, Domenyuk DA, Gussyakova OA, Kolot'eva NA, Gel'miyarova IE, Nazarkina IA. Gematosalivarnyi bar'er: stroenie, funktsii, metody (obzor literatury). Klinicheskaya laboratornaya diagnostika. 2022;67(6):334–338. (In Russ.). doi: 10.51620/0869-2084-2022-67-6-334-338.
21. Скворцова М.Ю., Кожухарь В.Г., Валькович Э.И., Шарф О.Я., Петриченко Ю.С. Особенности формирования фильтрационного барьера почек при патогенном воздействии через систему мать – плацента – плод. Морфология. 2018;153(3):251–252. Skvortsova M.Yu., Kozhukhar' V.G., Val'kovich E.I., Sharf O.Ya., Petrichenko Yu.S. Osobennosti formirovaniya fil'tratsionnogo bar'era pochk pri patogenom vozdeistvii cherez sistemu mat' – platsenta – plod. Morfologiya. 2018;153(3):251–252. (In Russ.). doi:10.17816/morph.409451.
22. Словарь физиологических терминов. Ответств. Ред. акад. О.Г. Газенко. М.: Наука. 1987. 447. Slovar' fiziologicheskikh terminov. Otvetstv. Red. akad. O.G. Gazenko. M.: Nauka. 1987. 447. (In Russ.).
23. Terminologia Anatomica. Международная анатомическая терминология. Под ред. Л.Л. Колесникова. М.: Медицина. 2003. 424. Terminologia Anatomica. Mezhdunarodnaya anatomicheskaya terminologiya. Pod red. L.L. Kolesnikova. M.: Meditsina. 2003. 424. (In Russ.).
24. Terminologia Histologica. Международные термины по цитологии и гистологии человека с официальным списком русских эквивалентов. Под редакцией чл.-корр. РАМН В.В. Банина и проф. В.Л. Быкова. М.: ГЭОТАР-Медиа. 2009. 272. Terminologia Histologica. Mezhdunarodnye terminy po tsitologii i gistologii cheloveka s ofitsial'nym spiskom russkikh ekvivalentov. Pod redaktsiei chl.-korr. RAMN V.V. Banina i prof. V.L. Bykova. M.: GEOTAR-Media. 2009. 272. (In Russ.).
25. Terminologia Embryologica. Международные термины по эмбриологии человека (с официальным списком русских эквивалентов). Под ред. акад. РАН Л.Л. Колесникова, проф. Н.Н. Шевлюка, проф. Л.М. Ерофеевой. М.: ГЭОТАР-Медиа. 2014. 417. Terminologia Embryologica. Mezhdunarodnye terminy po embriologii cheloveka (s ofitsial'nym spiskom russkikh ekvivalentov). Pod red. akad. RAN L.L. Kolesnikova, prof. N.N. Shevlyuka, prof. L.M. Erofevoi. M.: GEOTAR-Media. 2014. 417. (In Russ.).
26. Чехонин В.П., Баклаушев В.П., Юсубалиева Г.М., Волгина Н.Е., Гурина О.И. Фундаментальные и прикладные аспекты изучения гематоэнцефалического барьера. Вестник Российской академии медицинских наук. 2012;67(8):66–78. Chekhonin VP, Baklaushev V.P., Yusubalieva G.M., Volgina N.E., Gurina O.I. Fundamental'nye i prikladnye aspekty izucheniya gematoentsefalicheskogo bar'era. Vestnik Rossiiskoi akademii meditsinskikh nauk. 2012;67(8):66–78. (In Russ.).
27. Чуйкин С.В., Акмалова Г.М. Концепция гематосаливарного барьера. Медицинский вестник Башкортостана. 2015;10(5):103–107. Chuikin SV, Akmalova G.M. Kontseptsiya gematosalivarnogo bar'era. Meditsinskii vestnik Bashkortostana. 2015;10(5):103–107. (In Russ.).
28. Шевлюк Н.Н. Сравнительная гистология мужской репродуктивной системы позвоночных. Оренбург: Изд-во ОГМУ. 2017. 168. Shevlyuk N.N. Sravnitel'naya gistologiya muzhskoi reproduktivnoi sistemy pozvonochnykh. Orenburg: Izd-vo OrGMU. 2017. 168. (In Russ.).
29. Шефер Т.В., Вакуненко О.А., Ивницкий Ю.Ю., Головкин А.И. Энтерогематический барьер при критических состояниях организма. Успехи современной биологии. 2022;142(2):138–152. Shefer TV., Vakunenkov OA, Ivnikskii YuYu, Golovko AI. Enterogematicheskii bar'er pri kriticheskikh sostoyaniyakh organizma. Uspekhi sovremennoi biologii. 2022;142(2):138–152. (In Russ.). doi: 10.31857/S0042132422020065.
30. Штерн Л.С. Гемато-энцефалический барьер. М.-Л.: Биомедгиз. 1935. 544. Shtern LS. Gemato-entsefalicheskii bar'er. M.-L.: Biomedgiz. 1935. 544. (In Russ.).
31. Ягмуров О.Д. Гистогематический барьер нефрона как биологическая система при патологии почек. Нефрология. 2003;7(1):7–12. Yagmurov OD. Gistogematicheskii bar'er nefrona kak biologicheskaya sistema pri patologii pochk. Nefrologiya. 2003;7(1):7–12. (In Russ.). doi: 10.24884/1561-6274-2003-7-1-7-12.
32. Ягмуров О.Д. Гистогематический барьер как диагностический критерий при морфологических исследованиях в судебной медицине. Судебно-медицинская экспертиза. 2013;1:58–62. Yagmurov O.D. Gistogematicheskii bar'er kak diagnosticheskii kriterii pri morfologicheskikh issledovaniyakh v sudebnoi meditsine. Sudebno-meditsinskaya ekspertiza. 2013;1:58–62. (In Russ.).
33. Abbott NJ, Patabendige AA, Dolman DE, Yusof SR, Begley DJ. Structure and function of the blood-brain barrier. Neurobiol Dis. 2010 Jan;37(1):13–25. doi: 10.1016/j.nbd.2009.07.030.
34. Abbott NJ, Ronnback L, Hansson E. Astrocyte-endothelial interactions at the blood-brain barrier. Nat Rev Neurosci. 2006 Jan;7(1):41–53. doi: 10.1038/nrn1824.
35. Ayloo S, Gu C. Transcytosis at the blood-brain barrier. Current Opinion in Neurobiology. 2019; 57: 32–38.
36. Ballabh P, Braun A, Nedergaard M. The blood-brain barrier: an overview structure, regulation and clinical implications. Neurobiology of Disease. 2004; 16: 1–13.
37. Ballermann BJ. Contribution of the endothelium to the glomerular permselectivity barrier in health and disease. Nephron Physiol. 2007;106(2):p19–25. doi: 10.1159/000101796.
38. Banks WA, Erickson MA. The blood-brain barrier and immune function and dysfunction. Neurobiol Dis. 2010 Jan;37(1):26–32. doi: 10.1016/j.nbd.2009.07.031.
39. Chopyk DM, Grakoui A. Contribution of the Intestinal Microbiome and Gut barrier to Hepatic Disorders. Gastroenterology. 2020;159(3):849–863. doi: 10.1053/j.gastro.2020.04.077.
40. Daehn IS, Duffield JS. The glomerular filtration barrier: a structural target for novel kidney



- therapies. *Nat Rev Drug Discov*. 2021 Oct;20(10):770–788. doi: 10.1038/s41573-021-00242-0.
41. Dore-Duffy P. Pericytes: pluripotent cells of the blood brain barrier. *Curr Pharm Des*. 2008;14(16):1581–93. doi: 10.2174/138161208784705469.
42. Dube E, Hermo L, Chan PT, Cyr DG. Alterations in the human blood-epididymis barrier in obstructive azoospermia and the development of novel epididymal cell lines from infertile men. *Biol Reprod*. 2010 Oct;83(4):584–96. doi: 10.1095/biolreprod.110.084459.
43. Ennis SR., Keep RF. Forebrain ischemia and the blood- cerebrospinal fluid barrier. *Acta Neurochir*. 2005; 96. (Suppl): 278–278.
44. Erickson MA, Banks WA. Neuroimmune Axes of the Blood-Brain Barriers and Blood-Brain Interfaces: Bases for Physiological Regulation, Disease States, and Pharmacological Interventions. *Pharmacol Rev*. 2018 Apr;70(2):278–314. doi: 10.1124/pr.117.014647.
45. France MM, Turner JR. The mucosal barrier at a glance. *J Cell Sci*. 2017 Jan 15;130(2):307–314. doi: 10.1242/jcs.193482.
46. Garcia-Hernandez V, Quiros M, Nusrat A. Intestinal epithelial claudins: expression and regulation in homeostasis and inflammation. *Ann N Y Acad Sci*. 2017 Jun;1397(1):66–79. doi: 10.1111/nyas.13360.
47. Haraldson B, Nystrom J, Deen WM. Properties of the glomerular barrier and mechanisms of proteinuria. *Physiol. Rev*. 2008; 88: 451–487
48. Hawkins BT, Davis TP. The blood-brain barrier/neurovascular unit in health and disease. *Pharmacol Rev*. 2005 Jun;57(2):173–85. doi: 10.1124/pr.57.2.4.
49. Hermo L, Korah N, Gregory M, Liu LY, Cyr DG, D'Azzo A, Smith CE. Structural alterations of epididymal epithelial cells in cathepsin A-deficient mice affect the blood-epididymal barrier and lead to altered sperm motility. *J Androl*. 2007 Sep-Oct;28(5):784–97. doi: 10.2164/jandrol.107.002980.
50. Ivniitsky JJ, Schafer TV, Rejniuk VL, Vakunenkov OA. Secondary Dysfunction of the Intestinal Barrier in the Pathogenesis of Complications of Acute Poisoning. *J Evol Biochem Physiol*. 2022;58(4):1075–1098. doi: 10.1134/S0022093022040123.
51. Kriz W, Lemley KV. Mechanical challenges to the glomerular filtration barrier: adaptations and pathway to sclerosis. *Pediatr Nephrol*. 2017 Mar;32(3):405–417. doi: 10.1007/s00467-016-3358-9.
52. Liman N. The abundance and localization of claudin-1 and -5 in the adult tomcats (*Felis catus*) testis, tubules rectus, rete testis, efferent ductules, and epididymis. *Anat Rec (Hoboken)*. 2023 Aug;306(8):2153–2169. doi: 10.1002/ar.25165.
53. Lin Z., Jiang D., Liu P., Ge Y., Moghekar A., Lu H. Blood-brain barrier permeability in response to caffeine challenge. *Magn Reson Med*. 2022; 88(5): 2259 – 2266. doi: 10.1002/mrm.29355.
54. Linsalata M, Riezzo G, D'Attoma B, Clemente C, Orlando A, Russo F. Noninvasive biomarkers of gut barrier function identify two subtypes of patients suffering from diarrhoea predominant-IBS: a case-control study. *BMC Gastroenterol*. 2018 Nov 6;18(1):167. doi: 10.1186/s12876-018-0888-6.
55. Lippmann ES, Azarin SM, Kay JE, Nessler RA, Wilson HK, Al-Ahmad A, Palecek SP, Shusta EV. Derivation of blood-brain barrier endothelial cells from human pluripotent stem cells. *Nat Biotechnol*. 2012 Aug;30(8):783–91. doi: 10.1038/nbt.2247.
56. Luissint AC, Parkos CA, Nusrat A. Inflammation and the Intestinal Barrier: Leukocyte-Epithelial Cell Interactions, Cell Junction Remodeling, and Mucosal Repair. *Gastroenterology*. 2016 Oct;151(4):616–32. doi: 10.1053/j.gastro.2016.07.008.
57. Mital P, Hinton BT, Dufour JM. The blood-testis and blood-epididymis barriers are more than just their tight junctions. *Biol Reprod*. 2011 May;84(5):851–8. doi: 10.1095/biolreprod.110.087452.
58. Nagatake T, Zhao YC, Ito T, Itoh M, Kometani K, Furuse M, Saika A, Node E, Kunisawa J, Minato N, Hamazaki Y. Selective expression of claudin-5 in thymic endothelial cells regulates the blood-thymus barrier and T-cell export. *Int Immunol*. 2021 Mar 1;33(3):171–182. doi: 10.1093/intimm/dxaa069.
59. Pardridge WM. Molecular biology of the blood-brain barrier. *Mol Biotechnol*. 2005 May;30(1):57–70. doi: 10.1385/MB:30:1:057.
60. Pasini E, Corsetti G, Assanelli D, Testa C, Romano C, Dioguardi FS, Aquilani R. Effects of chronic exercise on gut microbiota and intestinal barrier in human with type 2 diabetes. *Minerva Med*. 2019 Feb;110(1):3–11. doi: 10.23736/S0026-4806.18.05589-1.
61. Pradhan-Sundt T, Monga SP. Blood-Bile Barrier: Morphology, Regulation, and Pathophysiology. *Gene Expr*. 2019 Apr 18;19(2):69–87. doi: 10.3727/105221619X15469715711907.
62. Rao R. Occludin phosphorylation in regulation of epithelial tight junctions. *Ann N Y Acad Sci*. 2009 May;1165:62–8. doi: 10.1111/j.1749-6632.2009.04054.x.
63. Rempe RG, Hartz AMS, Bauer B. Matrix metalloproteinases in the brain and blood-brain barrier: Versatile breakers and makers. *J Cereb Blood Flow Metab*. 2016 Sep;36(9):1481–507. doi: 10.1177/0271678X16655551.
64. Ribeiro MM, Castanho MA, Serrano I. In vitro blood-brain barrier models--latest advances and therapeutic applications in a chronological perspective. *Mini Rev Med Chem*. 2010 Mar;10(3):262–70. doi: 10.2174/138955710791185082.
65. Sabatino A, Regolisti G, Brusasco I, Cabassi A, Morabito S, Fiaccadori E. Alterations of intestinal barrier and microbiota in chronic kidney disease. *Nephrol Dial Transplant*. 2015 Jun;30(6):924–33. doi: 10.1093/ndt/gfu287.
66. Shao X, Ma SJ, Casey M, D'Orazio L, Ringman JM, Wang DJJ. Mapping water exchange across the blood-brain barrier using 3D diffusion-prepared arterial spin labeled perfusion MRI. *Magn Reson Med*. 2019 May;81(5):3065–3079. doi: 10.1002/mrm.27632.
67. Sun N, Ogulur I, Mitamura Y, Yazici D, Pat Y, Bu X, et al. The epithelial barrier theory and its associated diseases. *Allergy*. 2024 Dec;79(12):3192–3237. doi: 10.1111/all.16318.
68. Terminologia Histologica. International Terms for Human Cytology and Histology. Lippincott Williams & Wilkins; 2008. 207.

69. Tietz S, Engelhardt B. Brain barriers: Crosstalk between complex tight junctions and adherens junctions. *J Cell Biol.* 2015 May 25;209(4):493-506. doi: 10.1083/jcb.201412147.
70. Tran KA, Zhang X, Predescu D, Huang X, Machado RF, Gothert JR, Malik AB, Valyi-Nagy T, Zhao YY. Endothelial B-Catenin Signaling Is Required for Maintaining Adult Blood-Brain Barrier Integrity and Central Nervous System Homeostasis. *Circulation.* 2016 Jan 12;133(2):177-86. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.115.015982.
71. Uchio-Yamada K, Yasuda K, Monobe Y, Akagi KI, Suzuki O, Manabe N. Tensin2 is important for podocyte-glomerular basement membrane interaction and integrity of the glomerular filtration barrier. *Am J Physiol Renal Physiol.* 2020 Jun 1;318(6):F1520-F1530. doi: 10.1152/ajprenal.00055.2020.
72. Varatharaj A, Galea I. The blood-brain barrier in systemic inflammation. *Brain Behav Immun.* 2017 Feb;60:1-12. doi: 10.1016/j.bbi.2016.03.010.
73. Vorbrodt AW, Dobrogowska DH. Molecular anatomy of intercellular junctions in brain endothelial and epithelial barriers: electron microscopist's view. *Brain Res Brain Res Rev.* 2003 Jun;42(3):221-42. doi: 10.1016/s0165-0173(03)00177-2.
74. Weiss N., Miller F., Cazaubon S., Couraud P.O. The blood-brain barrier in brain homeostasis and neurological disease. *Biochim, Biophys Acta.* 2009; 1788(4): 842 – 857.
75. Whitsett JA, Wert SE, Weaver TE. Diseases of pulmonary surfactant homeostasis. *Annu Rev Pathol.* 2015;10:371-93. doi: 10.1146/annurev-pathol-012513-104644.
76. Wolburg H, Lippoldt A. Tight junctions of blood-brain barrier: development, composition and regulation. *Vasc. Pharmacol.* 2002; 38: 323–337.

#### Информация об авторах

✉ Шевлюк Николай Николаевич – д-р. биол. наук, профессор, заслуженный работник высшей школы РФ, профессор кафедры гистологии, цитологии и эмбриологии; Оренбургский государственный медицинский университет. Ул. Советская, 6, Оренбург, 460000; k\_histology@orgma.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9299-0571> SPIN 6952-0466  
Блинова Елена Владиславовна – канд. биол. наук, доцент, зав. кафедрой гистологии, цитологии и эмбриологии; Оренбургский государственный медицинский университет <https://orcid.org/0009-0007-5589-8232> SPIN 3884-1142  
Рыскулов Марат Фирдатович – канд. биол. наук доцент кафедры гистологии, цитологии и эмбриологии; Оренбургский государственный медицинский университет <https://orcid.org/0009-0002-9569-3585> SPIN 4813-0330

#### Information about the authors

✉ Nikolai N. Shevlyuk – Doct. Sci. (Biol.), Professor, Honored Worker of Higher Education of the Russian Federation, Professor of Histology, Cytology and Embryology department; Orenburg State Medical University. Ul. Sovetskaya, 6, Orenburg, 460000; k\_histology@orgma.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9299-0571> SPIN 6952-0466  
Elena V. Blinova – Cand. Sci. (Biol.), Associate Professor, Head of Histology, Cytology and Embryology department of the Orenburg State Medical University <https://orcid.org/0009-0007-5589-8232> SPIN 3884-1142  
Marat F. Ryskulov – Cand. Sci. (Biol.), Associate Professor at the Histology, Cytology and Embryology department of the Orenburg State Medical University <https://orcid.org/0009-0002-9569-3585> SPIN 4813-0330

Статья поступила в редакцию 12.02.2025; одобрена после рецензирования 28.08.2025; принята к публикации 29.09.2025.  
Submitted 12.02.2025; Revised 28.08.2025; Accepted 29.09.2025.