



СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О МЕХАНИЗМАХ СИНТЕЗА ПЕРИЛИМФЫ ВО ВНУТРЕННЕМ УХЕ

Е.Н. Морозова, Е.А. Баянова, В.Н. Морозов, С.В. Заболотная, Т.А. Михайлик

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы, д. 85, корп. 10, г. Белгород, 308015, Россия

Резюме. Целью работы явилось обобщить и систематизировать данные научной литературы, касающиеся синтеза перилимфы во внутреннем ухе. Поиск источников проведён с использованием системы по биомедицинским исследованиям Pubmed и научной электронной библиотеки Elibrary до 01.08.2025 года. Существует две основные гипотезы синтеза перилимфы. Гипотеза I – формирование перилимфы путём фильтрации плазмы крови из сосудов внутреннего уха. От лабиринтной артерии отходят артериолы, разделяющиеся на капилляры, имеющие поры для прохождения молекул, которые отфильтровываются гематолабиринтным барьером. Из-за градиента давления ионы натрия и калия, а также молекулы до 100 дальтон проходят через капилляры, образуя первичный фильтрат крови, который поступает в перилимфатическое пространство, где его клетки регулируют состав перилимфы. Перилимфа удаляется из внутреннего уха через перилимфатический проток в субарахноидальное пространство, где она смешивается с ликвором. Гипотеза II – формирование перилимфы из ликвора. Это возможно только при условии повреждения барьера, который отделяет ликвор от перилимфы в области перилимфатического протока. Такое сообщение позволяет ликвору непосредственно влиять на объём и состав перилимфы, если формирование жидкости из плазмы крови затруднено (например, при гиповолемии). Ликвор может выступать буфером ионов, если местная регуляция ионного состава нарушена, является средой, в которую выделяются продукты метаболизма из перилимфатического пространства. В настоящее время вопрос синтеза перилимфы остается изученным не до конца и для внесения полной ясности необходимы дополнительные исследования.

Ключевые слова / Keywords [MeSH]: внутреннее ухо / inner ear [D007758]; перилимфа / perilymph [D010543]; сосудистая полоска / stria vascularis [D013316]; гематолабиринтный барьер / blood-labyrinth barrier [D001812 (blood-Brain Barrier)*]; спиральный орган / organ of Corti [D009915]; эндолимфа / endolymph [D004710]; ликвор / cerebrospinal fluid [D002555]; улитка / cochlea [D003051]; гомеостаз / homeostasis [D006706]; ионный баланс / ion balance [D007477 (Ions)].

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование проводилось без спонсорской поддержки.

Для цитирования: Морозова Е.Н., Баянова Е.А., Морозов В.Н., Заболотная С.В., Михайлик Т.А. Современные представления о механизмах синтеза перилимфы во внутреннем ухе. *Вестник медицинского института «РЕАВИЗ»: Реабилитация, Врач и Здоровье.* 2025;15(6):113–120. <https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2025.6.MORPH.4>

MODERN IDEAS ABOUT THE MECHANISMS OF PERILYMPH SYNTHESIS IN THE INNER EAR

Elena N. Morozova, Ekaterina A. Balyanova, Vitaliy N. Morozov, Svetlana V. Zabolotnaya, Tamara A. Mikhaylik

Belgorod State National Research University, Pobedy St., 85, bldg. 10, Belgorod, 308015, Russia

Abstract. The aim of the work was to summarize and systematize the scientific literature data on the synthesis of perilymph in the inner ear. The search for sources was carried out using the Pubmed biomedical research system and the Elibrary scientific electronic library until 01.08.2025. There are two main hypotheses for the synthesis of perilymph. Hypothesis I. - the formation of perilymph by filtration of blood plasma from the vessels of the inner ear. Arterioles branch off from the labyrinthine artery, dividing into capillaries with pores for the passage of molecules, which are filtered out by the blood-labyrinth barrier. Due to the pressure gradient, sodium and potassium ions, as well as molecules up to 100 daltons, pass through the capillaries, forming a primary blood filtrate. It enters the perilymphatic space, where its cells regulate the composition of the perilymph. The perilymph is removed from the inner ear through the perilymphatic duct into the subarachnoid space, where it mixes with cerebrospinal fluid. Hypothesis II. - formation of perilymph from cerebrospinal fluid. This is possible only if the barrier that separates the cerebrospinal fluid from the perilymph in the area of the perilymphatic duct is damaged. Such a message allows the cerebrospinal fluid to directly affect the volume and composition of the perilymph if the formation of fluid from blood plasma is difficult (for example, with hypovolemia). Cerebrospinal fluid can act as an ion buffer if the local regulation of the ionic composition is disrupted, it is a medium into which metabolic products are released from the perilymphatic space. Currently, the issue of perilymph synthesis remains not fully understood, and additional research is needed to clarify the issue.

Competing interests. The authors declare no conflicts of interest.

Funding. This research received no external funding.

Cite as: Morozova E.N., Balyanova E.A., Morozov V.N., Zabolotnaya S.V., Mikhaylik T.A. Modern ideas about the mechanisms of perilymph synthesis in the inner ear. *Bulletin of the Medical Institute "REAVIZ": Rehabilitation, Doctor and Health.* 2025;15(6):113–120. <https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2025.6.MORPH.4>



ВВЕДЕНИЕ

Потеря слуха является наиболее распространённым нарушением сенсорной функции, которым страдает около 466 миллионов населения земного шара, и предполагается вовлечение 900 миллионов человек к 2050 году [1]. В большинстве своём снижение слуха связано с нейросенсорной тугоухостью, причиной которой являются дефекты улитки и её спирального органа. Часто нарушение слуховой функции сочетается с вестибулярными симптомами, как при болезни Меньера, характеризующейся постепенной потерей слуха, головокружением, шумом в ушах [2]. При этом заболевании медикаментозная терапия является симптоматической, а при глубоких нарушениях слуха и вестибулярной функции прибегают к хирургическим методам, таким как лабиринтэктомия. Морфологический материал, полученный после операции, представляет большой интерес для изучения, поскольку прижизненная биопсия этого органа для постановки диагноза на клеточном уровне, прогнозирования заболевания или проведения таргетной терапии технически, в настоящий момент, невозможна из-за локализации внутреннего уха в плотной каменистой части височной кости [3, 4].

На сегодня оценка тяжести нейросенсорной тугоухости и вестибулярной дисфункции основывается на данных аудиометрии, записи слуховых реакций ствола мозга и тестов вестибулярного аппарата, а компьютерная и магнитно-резонансная томография позволяют визуализировать только выраженные аномалии развития внутреннего уха из-за низкой разрешающей способности. Таким образом, в режиме реального времени, идеальным диагностическим (прогностическим) тестом представляется взятие образца перилимфы – внеклеточной жидкости, омывающей большинство типов клеток внутреннего уха и обогащённой белками, секретируемыми этими клетками. Перилимфа человека имеет диагностическую ценность при различных причинах нейросенсорной тугоухости, поскольку, как стало известно, она характеризуется своеобразным протеомом, то есть набором уникальных белков, которые могут быть использованы в диагностических и прогностических целях [5]. Логично предположить, что на её состав также оказывают влияние источники её синтеза, которые на сегодняшний день остаются малоизученными.

ЦЕЛЬ ОБЗОРА – обобщить и систематизировать данные научной литературы, касающиеся синтеза перилимфы во внутреннем ухе.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Поиск научной литературы по теме статьи проведён с использованием поисковой системы по биомедицинским исследованиям Pubmed и научной электронной библиотеки Elibrary до 01.08.2025 года включительно по следующим ключевым словам: внутреннее ухо, спиральный орган, перилимфа, inner ear, spiral organ, perilymph. Анализировались только оригинальные исследования вне зависимости от даты, языка и типа публикации (full text или abstract) (обзоры, систематические обзоры и мета-анализы не брались в расчёт). В выбранных работах также проанализированы списки использованной литературы для расширения объёма исследования.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Перилимфа – это жидкость, заполняющая пространство между костным и перепончатым лабиринтами, включая вестибулярную и барабанную лестницы спирального канала улитки. Она выполняет ряд функций [6, 7], приведённых ниже.

1. Трофическая: минеральные соли, глюкоза, кислород и аминокислоты, входящие в состав перилимфы питают волосковые клетки спирального органа, пятен и ампулярных гребешков.

2. Поддержание ионного баланса: в перилимфе, в отличие от эндолимфы, содержится большое количество ионов натрия (Na^+) и калия (K^+), что позволяет ей формировать эндокохлеарный потенциал. Он оказывает влияние на мембранный потенциал волосковых клеток, создавая у них высокий уровень поляризации.

3. Передача звукового сигнала: перилимфа является связующим звеном в слуховом анализаторе, так как механические колебания слуховых косточек трансформируются в колебания жидкости – перилимфы в области овального окна.

Исследования показали, что перилимфа является динамической средой внутреннего уха. Её состав зависит от состояния организма, возраста человека, наличия заболеваний, приёма фармакологических препаратов [5, 8, 9].

Согласно данным литературы, существует две основные гипотезы синтеза перилимфы [10].

Гипотеза I. Формирование перилимфы путём фильтрации плазмы крови из сосудов внутреннего уха.

Гипотеза II. Формирование перилимфы из спинномозговой жидкости (ликвора).

Согласно первой гипотезе, синтез перилимфы связан с сосудами сосудистой полоски, расположенной на латеральной стенке улиткового протока,

то есть с кровоснабжением органа, представленным на рисунке 1.

При этом, внутриорганный циркуляция крови во внутреннем ухе имеет свои особенности. Так, проникновение питательных веществ из крови в его полости осуществляется через специализированную барьерную систему. Она является многокомпонентной и разграничивает жидкости внутреннего уха от крови, циркулирующей в капиллярах микроциркуляторного русла, и других межклеточных жидкостей, поддерживая их специфические физиологические функции.

Барьерная система имеет следующие три составляющие.

1. Гематолабиринтный барьер характеризуется наличием капилляров нефенестрированного типа, в которых эндотелиальные клетки соединены плотными контактами, что обеспечивает снижение скорости проникновения соединений с увеличивающейся молекулярной массой из крови в перилимфу (рис. 2, 3, табл. 1). В улитке одним из составляющих гематолабиринтного барьера является гематоэндолимфатический барьер, имеющий более сложное строение. В нём соединённые плотными контактами эндотелиальные клетки отделяют просвет сосуда от пространства сосудистой полоски, содержащей жидкость. Соединённые плотными контактами краевые клетки эпителия сосудистой полоски вместе с клетками эндотелия сосудов ограничивают вышеуказанное пространство, которое отделяет жидкость в нём от эндолимфы [11, 12]. Основной функцией барьера является поддержание гомеостаза эндо- и перилимфы, защита от вредных веществ, содержащихся в крови, обеспечение стабильности сенсорных клеток.

2. Барьер между стенкой перилимфатического протока, в который оттекает перилимфа из барабанной лестницы, и субарахноидальным пространством, в котором циркулирует спинномозговая жидкость. Установлено, что изменения давления ликвора могут передаваться в перилимфатическое пространство через перилимфатический проток, так же как и изменения концентрации белков и мочевины в ликворе сопровождаются изменением их уровней в перилимфе [13].

3. Барьер на границе среднего и внутреннего уха – образован мембраной, закрывающей круглое окно, ведущее в барабанную лестницу перилимфатического пространства. В эксперименте установлена проницаемость данной мембраны для ототоксических препаратов, бактериальных токсинов, которые могут быть причиной повреждения сенсорных клеток лабиринта и расстройств функции слуха и равновесия [13, 14, 15].

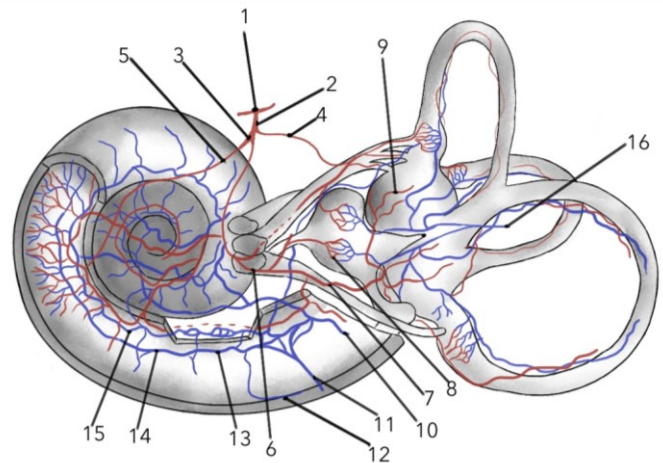


Рисунок 1. Строение кровеносного русла внутреннего уха: 1 – передняя нижняя мозжечковая артерия; 2 – лабиринтная артерия; 3 – общая улитковая артерия; 4 – передняя вестибулярная артерия; 5 – собственная улитковая артерия; 6 – преддверно-улитковая артерия; 7 – вестибулярная ветвь; 8 – артерия мешочка; 9 – артерия маточки; 10 – задняя вестибулярная вена; 11 – вена канальца улитки; 12 – вена окна улитки; 13 – улитковая ветвь; 14 – задняя спиральная вена; 15 – передняя спиральная вена; 16 – вена водопровода преддверия (Источник: Denjiro Nabeya, 1923).

Figure 1. The structure of the bloodstream of the inner ear: 1 – anterior inferior cerebellar artery; 2 – labyrinthine artery; 3 – common cochlear artery; 4 – anterior vestibular artery; 5 – proper cochlear artery; 6 – vestibulocochlear artery; 7 – vestibular branch; 8 – saccule artery; 9 – utricle artery; 10 – posterior vestibular vein; 11 – cochlear canal vein; 12 – cochlear window vein; 13 – cochlear branch; 14 – posterior spiral vein; 15 – anterior spiral vein; 16 – vestibular aqueduct vein (Source: Denjiro Nabeya, 1923)

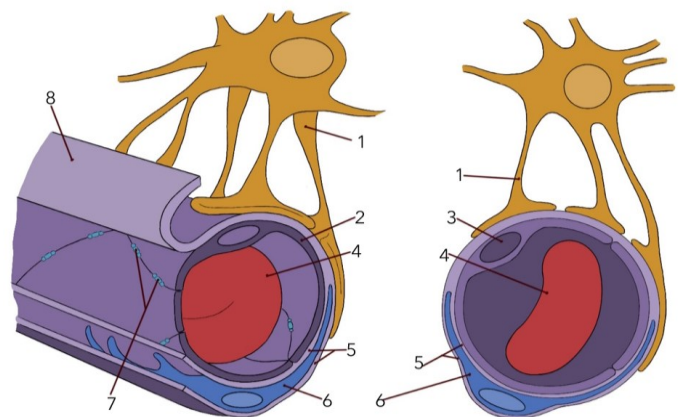


Рисунок 2. Схема гематолабиринтного барьера: 1 – периваскулярные макрофагоподобные меланоциты (резидентные макрофаги с характеристиками меланоцитов); 2 – эндотелиальная клетка кровеносного капилляра; 3 – ядро эндотелиальной клетки; 4 – эритроцит; 5, 8 – базальная мембрана; 6 – перicyт; 7 – плотный контакт (Источник: Xiaorui Shi, 2017)

Figure 2. Schematic diagram of the blood-labyrinth barrier: 1 – perivascular macrophage-like melanocytes (resident macrophages with melanocyte characteristics); 2 – endothelial cell of the blood capillary; 3 – endothelial cell nucleus; 4 – erythrocyte; 5, 8 – basement membrane; 6 – pericyte; 7 – tight junction (Source: Xiaorui Shi, 2017)

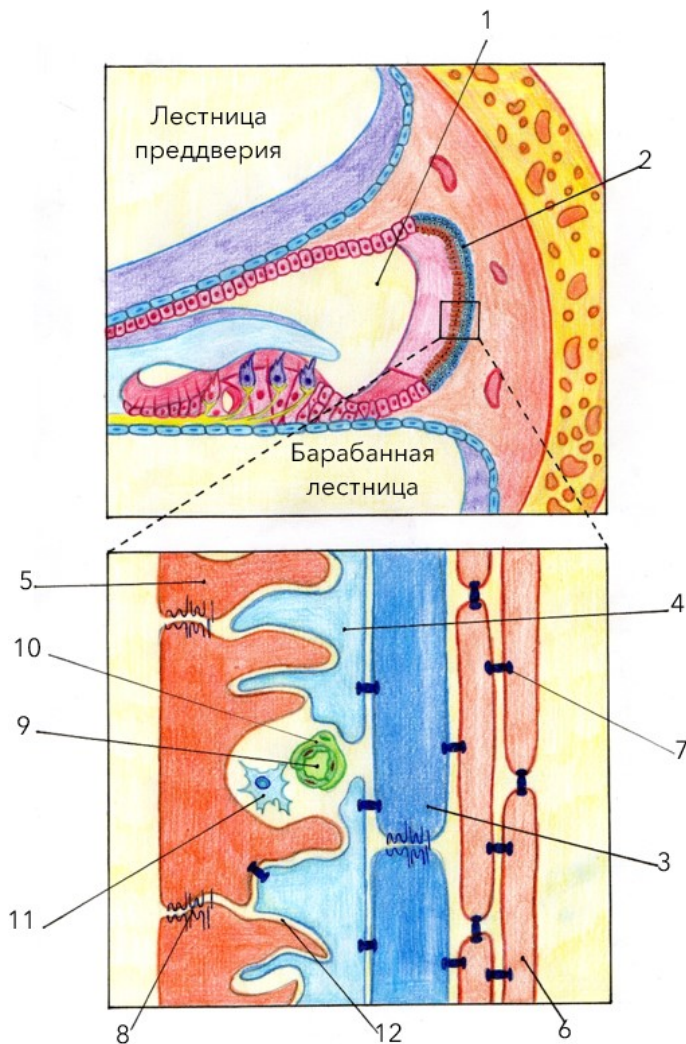


Рисунок 3. Сосудистая полоска: 1 - улитковый проток; 2 - сосудистая полоска; 3 - базальная клетка; 4 - промежуточная клетка; 5 - краевая клетка; 6 - фиброцит; 7 - щелевой контакт; 8 - плотный контакт; 9 - кровеносный капилляр; 10 - перицит; 11 - периваскулярный макрофагоподобный меланоцит; 12 - пространство сосудистой полоски (Источник: Sonny Bovee et al., 2024)

Figure 3. Stria vascularis: 1 - cochlear duct; 2 - stria vascularis; 3 - basal cell; 4 - intermediate cell; 5 - marginal cell; 6 - fibrocyte; 7 - gap junction; 8 - tight junction; 9 - blood capillary; 10 - pericyte; 11 - perivascular macrophage-like melanocyte; 12 - space of the stria vascularis (Source: Sonny Bovee et al., 2024)

В целом, клеточный состав гематолабиринтного барьера и барьера на границе среднего и внутреннего уха схожий, а в барьере между перилимфой и спинномозговой жидкостью, помимо эндотелиальных клеток и базальной мембраны, выявляется ещё два вида клеток (табл. 2) [13].

Проницаемость всех барьеров внутреннего уха для молекул веществ составляет приблизительно до 100 дальтон, из чего следует, что молекулы, имеющие меньший размер, например молекула глицерина (92 дальтона), будет свободно проникать в перилимфатическое пространство, а молекула преднизолона (360 дальтонов), уже проникнуть в него не сможет [17, 18].

По данным литературы, ионный и белковый состав перилимфы и плазмы крови сходен, что свидетельствует об их родстве и является одним из подтверждений гипотезы I [19] (табл. 3, 4).

Вероятный механизм синтеза перилимфы, согласно этой гипотезе, включает два этапа:

А. Система притока или синтеза перилимфы.

Лабиринтная артерия разветвляется на артериолы, от них в свою очередь отходит сеть капилляров, пронизывающие стенку преддверия и улитки костного лабиринта. Они имеют высокую проницаемость, а также поры и щели для прохождения молекул, которые отфильтровываются гематолабиринтным барьером. Из-за градиента давления ионы натрия и калия, а также молекулы до 100 дальтон проходят через капилляры, образуя первичный фильтрат крови. Фильтрат крови попадает в перилимфатическое пространство, где клетки его стенки и пространства регулируют состав перилимфы [20] (табл. 5).

Б. Система оттока или удаления перилимфы.

Перилимфа удаляется из внутреннего уха через перилимфатический проток, проходящий в канальце улитки. Этот проток соединяет перилимфатическое пространство с субарахноидальным пространством, где перилимфа смешивается с ликвором [21].

Исходя из вышеизложенного, можно сделать заключение, что плазма крови сосудов внутреннего уха является одним из вероятных источников образования перилимфы.

Таблица 1. Характеристика клеток гематолабиринтного барьера
Table 1. Characteristics of the cells of the blood-labyrinth barrier

Название клетки	Местонахождение	Особенности морфологии	Функция
Эндотелиальные клетки	Выстилают внутреннюю поверхность кровеносных капилляров костного лабиринта (улитки и преддверия)	Плоские клетки, выпячивающиеся в просвет капилляров; соединены плотными контактами	Ограничивают проницаемость сосудов, что препятствует свободному попаданию молекул из крови в перилимфу; обеспечивают селективный транспорт ионов, глюкозы и других веществ, необходимых для поддержания нормальной функции внутреннего уха; участвуют в эндоцитозе некоторых веществ
Перициты	Окружают эндотелиальные клетки капилляров. Расположены снаружи базальной мембраны	Перициты имеют отростки, охватывающие эндотелиальные клетки; содержат сократительные белки (актин, миозин), влияющие на тонус сосудов; тесно связаны с эндотелиальными клетками посредством контактов и сигнальных молекул	Обеспечивают механическую поддержку сосудистой стенки; влияют на проницаемость сосудов; секретируют факторы роста, которые влияют на эндотелиальные клетки и базальную мембрану; способны к фагоцитозу погибших клеток
Базальные клетки (основной слой)	Окружают эндотелиальные клетки и перициты, образуя внешний слой капилляра и отделены от них базальной мембраной	Образует сплошной слой; он имеет сетчатую структуру; базальная мембрана состоит из коллагена IV типа, протеогликанов (гепарансульфат), ламинина, фибронектина и других компонентов	Ограничивает проницаемость сосудов для крупных молекул; обеспечивает поддержку сосудистой полоски; участвует в регуляции пролиферации, миграции и дифференцировки эндотелиальных клеток и перицитов
Периваскулярные макрофагоподобные меланоциты [16]	Залегают между пограничным и базальным слоями клеток сосудистой полоски	Имеют дендритные отростки, контактирующие со стенкой капилляра; в цитоплазме содержат гранулы меланина; положительны к некоторым маркерам поверхности макрофагов (F4/80, CD68, CD11b) и меланоцитов (GST α 4, GST, Kir4.1)	Играют важную роль в регуляции целостности барьера между кровью капилляров и жидкостью в полости сосудистой полоски, а также в поддержании нормального порога слуха

Таблица 2. Клеточный состав барьера между перилимфой и спинномозговой жидкостью
Table 2. Cellular composition of the barrier between perilymph and cerebrospinal fluid

Клетки	Локализация	Морфология	Функции
Астроциты	Сенсорный эпителий Кортиева органа (данное утверждение является спорным)	Имеют характерную звёздчатую форму, контактируя многочисленными отростками с нейронами и капиллярами	Обеспечивают структурную и метаболическую поддержку нейронов слухового и вестибулярного нервов; участвуют в регуляции концентрации ионов (особенно калия) в микроокружении нейронов; удаляют нейротрансмиттеры (например, глутамат) из синаптической щели, предотвращая эксайтотоксичность; участвуют в формировании гематоневрального барьера в слуховом нерве; в ответ на повреждение могут подвергаться реактивному глиозу, изменяя свою морфологию и функцию, что может влиять на выживаемость нейронов
Микроглия	В сенсорных эпителиях Кортиева органа (количество клеток небольшое в нормальных условиях, но их количество может увеличиваться при повреждении)	В состоянии покоя имеют разветвленную форму с длинными отростками; при активации принимают амёбную форму и становятся фагоцитами	Выполняют функцию иммунного надзора, мониторя микроокружение на предмет повреждений или инфекций; фагоцитируют поврежденные клетки и патогены; секретируют цитокины и другие факторы, регулирующие воспаление

Таблица 3. Ионный состав перилимфы, эндолимфы, плазмы крови и ликвора
Table 3. Ionic composition of perilymph, endolymph, blood plasma and cerebrospinal fluid

Вид иона	Перилимфа	Эндолимфа	Кровь	Ликвор
Натрий (Na⁺)	140 ммоль/л	15 ммоль/л	135-145 ммоль/л	138-150 ммоль/л
Калий (K⁺)	5 ммоль/л	150 ммоль/л	3,5-5,0 ммоль/л	2,5-3,5 ммоль/л
Хлор (Cl⁻)	110 ммоль/л	20 ммоль/л	95-105 ммоль/л	115-130 ммоль/л

Таблица 4. Содержание белков в перилимфе, эндолимфе, плазме крови и ликворе
Table 4. Protein content in perilymph, endolymph, blood plasma and cerebrospinal fluid

Белки	Перилимфа	Эндолимфа	Кровь	Ликвор
Альбумины	60-80%	0-5%	55-65%	50-70%
Глобулины	10-30%	0-5%	30-40%	5-15%
Фибриноген	0-5%	0%	2-4%	-

Таблица 5. Состав перилимфы
Table 5. Composition of perilymph

Клетки	Локализация	Морфология	Функции
Фибробласты	Расположены в перилимфатическом пространстве (ПЛП) повсеместно	Веретенообразные клетки, имеют овальное ядро, обладают выраженными отростками, имеют большое количество рибосом, синтезируют компоненты межклеточного вещества	Синтезируют компоненты внеклеточного матрикса (коллаген, эластин, протеогликаны), участвующие в поддержке и организации ПЛП; участвуют в транспорте ионов, секреции и поглощении некоторых веществ
Мезенхимальные клетки	Располагаются вблизи кровеносных сосудов		Мультипотентные клетки, способные к дифференцировке; секретируют факторы, отвечающие за воспалительные и иммунные процессы в ПЛП; участвуют в транспорте ионов
Эндотелиальные клетки	Внутренняя выстилка кровеносных капилляров в костном лабиринте (улитка, преддверие, полукружные каналы)	Плоские клетки, образующие непрерывный слой; соединены плотными контактами	Контроль проницаемости сосудов; селективный транспорт ионов, глюкозы; секреция факторов (вазодилатация, коагуляция, воспаление) эндоцитоз)
Перициты	Окружают эндотелиальные клетки капилляров (расположены снаружи базальной мембраны)	Отростчатые клетки, охватывающие эндотелиальные клетки; содержат сократительные белки (актин, миозин)	Поддержка сосудов; регуляция проницаемости сосудов (влияние на плотные контакты); секреция факторов роста; фагоцитоз
Макрофаги	В ПЛП (в небольшом количестве)	Округлые или амёбовидные клетки; содержат много лизосом (для фагоцитоза)	Фагоцитоз детрита, патогенов; регуляция иммунного ответа (секреция цитокинов); удаление и переваривание веществ, влияющих на концентрацию различных молекул в перилимфе

Согласно второй гипотезе, источником формирования перилимфы может считаться спинномозговая жидкость или ликвор. Данное предположение возможно только при условии повреждения барьера, который отделяет ликвор от перилимфы в области перилимфатического протока. Такое сообщение позволяет спинномозговой жидкости непосредственно влиять на объём и состав перилимфы, если формирование жидкости из плазмы крови затруднено (например, при гиповолемии). Ликвор может выступать буфером ионов, если местная регуляция ионного состава нарушена, является средой, в которую выделяются продукты метаболизма из перилимфатического пространства. В клиническом отношении спинномозговая жидкость может быть связующим звеном в доставке лекарственных средств во внутреннее ухо [22].

Вероятные механизмы формирования перилимфы из ликвора

1. Диффузия – осуществляется как пассивный процесс и играет роль в обмене веществ между спинномозговой жидкостью и перилимфой. Вещества (ионы, небольшие молекулы) перемещаются из области с более высокой концентрацией (ликвор) в область с более низкой концентрацией (перилимфа), стремясь к наступлению равновесия. Эффективность этого процесса напрямую зависит от проницаемости барьера между ликвором и перилимфой: чем выше проницаемость, особенно в области окончания перилимфатического протока или периневральных пространств, тем интенсивнее происходит диффузия. Этот процесс управляется градиентами концентрации, возникающими из-за различий в составе ликвора и перилимфы [23].

2. Массовый поток – гипотетический механизм, посредством которого спинномозговая жидкость перемещается во внутреннее ухо. Он предполагает движение всей жидкости, а не отдельных молекул, под действием градиента давления. Пульсации ликвора, вызванные сердечным сокращением и дыханием, создают изменения давления, которые теоретически могут «проталкивать» ликвор через перилимфатический проток и периневральные пространства в перилимфатическое пространство. Однако эта гипотеза требует дальнейшего подтверждения [24].

3. Аквапорины – специализированные белки, формирующие поры в клеточных мембранах, значительно ускоряющие транспорт воды. Они обнаружены в различных структурах внутреннего уха (сосудистая полоска, эндолимфатический мешок, стенки полукружных каналов, спиральная связка, Кортиев орган) и могут способствовать переносу воды из ликвора в перилимфатическое пространство, тем самым помогая поддерживать объём и осмолярность перилимфы. Активность и количество аквапоринов регулируются различными факторами, позволяя адаптировать транспорт воды в соответствии с потребностями внутреннего уха [25, 26].

Подводя итоги, можно заключить, что вопрос синтеза перилимфы на настоящий момент остаётся не до конца изученным, и предлагается существование двух объясняющих его гипотез. На данный момент более состоятельной является гипотеза, согласно которой основным источником формирования перилимфы является плазма крови кровеносных сосудов внутреннего уха. Для внесения полной ясности в данный вопрос необходимы дополнительные исследования.

Литература [References]

- 1 WHO Deafness and hearing loss. In: World Health Organization [Internet]. 2018. Available: <http://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/deafness-and-hearing-loss>
- 2 Эргашева ЗА. Эпидемиология, патофизиология, диагностические методы и ведение болезни Меньера. *Re-Health Journal*. 2021;1(9):63-72. Ergasheva ZA. Epidemiology, pathophysiology, diagnostic techniques and management of Meniere's disease. *Re-Health Journal*. 2021;1(9):63-72. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/2181-0443/2021-10014>
- 3 Nadol JB, Merchant SN. Schuknecht's Pathology of the Ear. 3rd ed. McGraw-Hill Education (UK). 2002:1-9.
- 4 Giesemann A, Hofmann E. Some Remarks on Imaging of the Inner Ear: Options and Limitations. *Clin Neuroradiol*. 2015;Suppl 2:197-203. <https://doi.org/10.1007/s00062-015-0422-y>
- 5 Lin HC, Ren Y, Lysaght AC, Kao SY, Stankovic KM. Proteome of normal human perilymph and perilymph from people with disabling vertigo. *PLoS One*. 2019;14(6):e0218292. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218292>
- 6 Dohlman GF, Kuehn LA. The role of the perilymph in semicircular canal stimulation. *Acta Otolaryngol*. 1973;75(5):396-404. <https://doi.org/10.3109/0001648730913976>
- 7 Salt AN, Hirose K. Communication pathways to and from the inner ear and their contributions to drug delivery. *Hear Res*. 2018;362:25-37. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2017.12.010>
- 8 Ouda L, Profant O, Syka J. Age-related changes in the central auditory system. *Cell Tissue Res*. 2015;361(1):337-358. <https://doi.org/10.1007/s00441-014-2107-2>
- 9 Salt AN, Plontke SK. Pharmacokinetic principles in the inner ear: Influence of drug properties on intratympanic applications. *Hear Res*. 2018;368:28-40. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2018.03.002>
- 10 Schnieder EA. A contribution to the physiology of the perilymph. 1. The origins of perilymph. *Ann Otol Rhinol Laryngol*. 1974;83(1):76-83. <https://doi.org/10.1177/000348947408300113>
- 11 Nyberg S, Abbott NJ, Shi X, Steyger PS, Dabdoub A. Delivery of therapeutics to the inner ear: The challenge of the blood-labyrinth barrier. *Sci Transl Med*. 2019;11(482):eaao0935. <https://doi.org/10.1126/scitranslmed.aao0935>
- 12 Ohlemiller KK, Dwyer N, Henson V, Fasman K, Hirose K. A critical evaluation of "leakage" at the cochlear blood-stria-barrier and its functional significance. *Front Mol Neurosci*. 2024;17:1368058. <https://doi.org/10.3389/fnmol.2024.1368058>
- 13 Juhn SK. Barrier systems in the inner ear. *Acta Otolaryngol Suppl*. 1988;458:79-83. <https://doi.org/10.3109/00016488809125107>
- 14 Juhn SK, Rybak LP. Labyrinthine barriers and cochlear homeostasis. *Acta Otolaryngol*. 1981;91(5-6):529-534. <https://doi.org/10.3109/00016488109138538>
- 15 Juhn SK, Rybak LP, Prado S. Nature of blood-labyrinth barrier in experimental conditions. *Ann Otol Rhinol Laryngol*. 1981;90(2 Pt 1):135-141. <https://doi.org/10.1177/000348948109000208>
- 16 Zhang W, Dai M, Fridberger A, Hassan A, Degagne J, Neng L, Zhang F. «et al.» Perivascular-resident macrophage-like melanocytes in the inner ear are essential for the integrity of the intrastrial fluid-blood barrier. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2012;109(26):10388-10393. <https://doi.org/10.1073/pnas.1205210109>
- 17 Zhang Z, Li X, Zhang W, Kohane DS. Drug Delivery across Barriers to the Middle and Inner Ear. *Adv Funct Mater*. 2021;26;31(44):2008701. <https://doi.org/10.1002/adfm.202008701>
- 18 Zou J, Pyykkö I, Hyttinen J. Inner ear barriers to nanomedicine-augmented drug delivery and imaging. *J Otol*. 2016;11(4):165-177. <https://doi.org/10.1016/j.joto.2016.11.002>
- 19 Boshier SK. The ionic composition of endolymph and perilymph: a review. *Acta Otolaryngol*. 1979;88(1-2):1-11.
- 20 Hughes De, Chou Jt. The origin of the perilymph of the inner ear. *Life Sci*. 1963;2:107-111. [https://doi.org/10.1016/0024-3205\(63\)90017-1](https://doi.org/10.1016/0024-3205(63)90017-1)
- 21 Marchbanks RJ, Reid A. Cochlear and cerebrospinal fluid pressure: their inter-relationship and control mechanisms. *Br J Audiol*. 1990;24(3):179-187. <https://doi.org/10.3109/03005369009076554>
- 22 Salt AN, Gill RM, Hartsock JJ. Perilymph Kinetics of FITC-Dextran Reveals Homeostasis Dominated by the Cochlear Aqueduct and Cerebrospinal Fluid. *J Assoc Res Otolaryngol*. 2015;16(3):357-371. <https://doi.org/10.1007/s10162-015-0512-1>
- 23 Pararas EE, Borkholder DA, Borenstein JT. Microsystems technologies for drug delivery to the inner ear. *Adv Drug Deliv Rev*. 2012;64(14):1650-1660. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2012.02.004>
- 24 Carlborg BI, Farmer JC Jr. Transmission of cerebrospinal fluid pressure via the cochlear aqueduct and endolymphatic sac. *Am J Otolaryngol*. 1983;4(4):273-282. [https://doi.org/10.1016/s0196-0709\(83\)80071-4](https://doi.org/10.1016/s0196-0709(83)80071-4)
- 25 Beitz E, Zenner HP, Schultz JE. Aquaporin-mediated fluid regulation in the inner ear. *Cell Mol Neurobiol*. 2003;23(3):315-329. <https://doi.org/10.1023/a:1023636620721>
- 26 Dong SH, Kim SS, Kim SH, Yeo SG. Expression of aquaporins in inner ear disease. *Laryngoscope*. 2020;130(6):1532-1539. <https://doi.org/10.1002/lary.28334>

Авторская справка

Морозова Елена Николаевна

Канд. мед. наук, доцент, доцент кафедры анатомии и гистологии человека, Белгородский государственный национальный исследовательский университет.

ORCID 0000-0002-6117-080X; tiger2910@rambler.ru,

Вклад автора: поиск научной литературы в базе данных "Pubmed", её анализ и обобщение, написание текста статьи.

Балянова Екатерина Алексеевна

Студентка 2 курса, специальность «Лечебное дело», Белгородский государственный национальный исследовательский университет.

ORCID 0009-0003-3482-6775; balyanovaekaterina@rambler.ru

Вклад автора: поиск научной литературы в базе данных "Elibrary", написание текста статьи.

Author's reference

Elena N. Morozova

Cand. Sci. (Med.), Docent, Associate Professor Department of Human Anatomy and Histology, Belgorod State National Research University.

ORCID 0000-0002-6117-080X; tiger2910@rambler.ru

Author's contribution: search of scientific literature in the Pubmed database, analysis and summary, writing of the article.

Ekaterina A. Balyanova

Second-year student, General Medicine, Belgorod State National Research University.

ORCID 0009-0003-3482-6775; balyanovaekaterina@rambler.ru

Author's contribution: search of scientific literature in the Elibrary database, writing of the article.

Морозов Виталий Николаевич

Д-р мед. наук, доцент, доцент кафедры анатомии и гистологии человека, Белгородский государственный национальный исследовательский университет.

ORCID 0000-0002-1169-4285; vitaliymorozov85@mail.ru

Вклад автора: написание и научная редакция статьи, подготовка табличного и графического материала.

Заболотная Светлана Владимировна

Канд. мед. наук, доцент, доцент кафедры анатомии и гистологии человека, Белгородский государственный национальный исследовательский университет.

ORCID 0009-0003-1886-9708; zabolotnaya@bsuedu.ru

Вклад автора: обобщение и анализ найденной научной информации, написание и научная редакция статьи.

Михайлик Тамара Александровна

Канд. мед. наук, доцент, доцент кафедры анатомии и гистологии человека, Белгородский государственный национальный исследовательский университет.

ORCID 0009-0009-0367-5015; michailik@bsuedu.ru

Вклад автора: обобщение и анализ найденной научной информации, написание и научная редакция статьи.

Vitaliy N. Morozov

Dr. Sci. (Med.), Docent, Associate Professor Department of Human Anatomy and Histology, Belgorod State National Research University.

ORCID 0000-0002-1169-4285; vitaliymorozov85@mail.ru

Author's contribution: writing and scientific editing of the article, preparation of tables and graphics.

Svetlana V. Zabolotnaya

Cand. Sci. (Med.), Associate Professor Associate Professor, Department of Human Anatomy and Histology, Belgorod State National Research University.

ORCID 0009-0003-1886-9708; zabolotnaya@bsuedu.ru

Author's contribution: summarizing and analyzing the found scientific information, writing and scientific editing of the article.

Tamara A. Mikhailik

Cand. Sci. (Med.), Docent, Associate Professor Department of Human Anatomy and Histology, Belgorod State National Research University.

ORCID 0009-0003-1886-9708; zabolotnaya@bsuedu.ru

Author's contribution: summarizing and analyzing the found scientific information, writing and scientific editing of the article.