

Татьяна Игоревна Устинова^{1✉}, Владислав Николаевич Никифоров²,
Владимир Николаевич Теленков³, Эмма Владимировна Баданова⁴

^{1,2,3,4}Омский государственный аграрный университет, Омск, Россия

¹ti.ustinova1921@omgau.org

²vn.nikiforov1621@omgau.org

³vn.telenkov@omgau.org

⁴ev.badanova@omgau.org

МИКРОМОРФОЛОГИЯ ЛИМФАТИЧЕСКИХ УЗЛОВ ОБЛАСТИ ГОЛОВЫ И ШЕИ У КРОЛИКОВ

Цель исследования – выявить структурные особенности лимфоузлов, определяющие их функциональную специализацию в иммунной системе. Задачи: комплексно изучить микроморфологию лимфатических узлов головы и шеи кроликов с применением микроскопических, статистических и морфометрических методов. Объекты исследования – тушки клинически здоровых кроликов калифорнийской породы в возрасте от одного года до двух лет в количестве шести голов. Для выявления лимфатических узлов использовались такие методы исследования, как обычное и тонкое препарирование. Производилась гистологическая обработка (последовательная обработка образцов в спиртах возрастающей концентрации, заливка в парафин, приготовление срезов, окрашивание). Для исследования лимфатических узлов использовались гистологический, морфометрический и статистический методы. Проведен анализ поверхностных и глубоких лимфоузлов, включая заглоточные, околоушные шейные. Проведенный сравнительный анализ выявил значительные межтопографические различия, отражающие адаптацию к региональным функциональным требованиям: капсула заглоточного лимфатического узла демонстрирует наибольшую толщину ($9,29 \pm 0,39$ мкм), наименьшее значение имеет околоушной лимфоузел ($6,16 \pm 0,22$ мкм); максимальная толщина перегородок у околоушного лимфатического узла ($4,95 \pm 0,55$ мкм), минимальная – у заглоточного ($3,58 \pm 0,32$ мкм); наибольший диаметр имеет вторичный лимфоидный фолликул поверхностного шейного лимфатического узла ($610,62 \pm 18,9$ мкм), наименьший – заглоточного ($353,16 \pm 21,85$ мкм). Эта градация коррелирует с анатомическим положением и интенсивностью антигенной нагрузки.

Ключевые слова: микроморфология, лимфатические узлы кроликов, голова кролика, шея кролика, кролики, гистология, иммунная система кроликов

Для цитирования: Устинова Т.И., Никифоров В.Н., Теленков В.Н., и др. Микроморфология лимфатических узлов области головы и шеи у кроликов // Вестник КрасГАУ. 2025. № 9. С. 229–239. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-9-229-239.

Tatyana Igorevna Ustinova^{1✉}, Vladislav Nikolaevich Nikiforov², Vladimir Nikolaevich Telenkov³,
Emma Vladimirovna Badanova⁴

^{1,2,3,4}Omsk State Agrarian University, Omsk, Russia

¹ti.ustinova1921@omgau.org

²vn.nikiforov1621@omgau.org

³vn.telenkov@omgau.org

⁴ev.badanova@omgau.org

LYMPH NODES MICROMORPHOLOGY IN THE HEAD AND NECK REGION IN RABBITS

The aim of the study is to identify the structural features of lymph nodes that determine their functional specialization in the immune system. Objectives: to comprehensively study the micromorphology of the lymph nodes of the head and neck of rabbits using microscopic, statistical and morphometric methods. The objects of the study were carcasses of clinically healthy Californian rabbits aged from one to two years, in the amount of six heads. To identify the lymph nodes, the following research methods were used: conventional and fine dissection. Histological processing was performed (sequential processing of samples in alcohols of increasing concentration, embedding in paraffin, preparing sections, staining). Histological, morphometric and statistical methods were used to study the lymph nodes. The analysis of superficial and deep lymph nodes, including retropharyngeal, parotid and cervical, was performed. The conducted comparative analysis revealed significant intertopographic differences reflecting adaptation to regional functional requirements: the capsule of the retropharyngeal lymph node demonstrates the greatest thickness ($9.29 \pm 0.39 \mu\text{m}$), the parotid lymph node has the smallest value ($6.16 \pm 0.22 \mu\text{m}$); the maximum thickness of the septa is in the parotid lymph node ($4.95 \pm 0.55 \mu\text{m}$), the minimum is in the retropharyngeal ($3.58 \pm 0.32 \mu\text{m}$); the secondary lymphoid follicle of the superficial cervical lymph node has the largest diameter ($610.62 \pm 18.9 \mu\text{m}$), the smallest - in the retropharyngeal ($353.16 \pm 21.85 \mu\text{m}$). This gradation correlates with the anatomical position and intensity of the antigen load.

Keywords: micromorphology, rabbit lymph nodes, rabbit head, rabbit neck, rabbits, histology, rabbit immune system

For citation: Ustinova TI, Nikiforov VN, Telenkov VN, et al. Lymph nodes micromorphology in the head and neck region in rabbits. *Bulletin of KSAU*. 2025;(9):229-239. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2025-9-229-239.

Введение. Лимфатические узлы (ЛУ) представляют собой периферические органы иммунной системы, выполняющие критически важные функции в поддержании гомеостаза организма. Являясь ключевыми компонентами лимфатической системы, они осуществляют фильтрацию лимфы, обеспечивают антиген-презентирующие механизмы и инициируют адаптивный иммунный ответ [1, 2]. Их гистологическая организация, включающая корковое, паракортикальное и мозговое вещество, оптимизирована для эффективного взаимодействия иммунокомпетентных клеток, что делает их основным звеном в защите от патогенов, опухолевых клеток и чужеродных антигенов [3].

Анатомо-функциональные характеристики лимфатических узлов значительно варьируют в зависимости от их топографической локализации. Эта вариабельность обусловлена различиями в антигенной нагрузке, дренируемых анатомических областях и специфике регионально-го иммунного ответа [1, 4]. Например, ЛУ брыжейки кишечника подвергаются постоянному воздействию антигенов пищевого происхождения, тогда как узлы головы и шеи преимущественно реагируют на патогены, проникающие

через слизистые оболочки респираторного тракта и ротовой полости [5–7].

В области головы и шеи лимфатические узлы формируют первый барьер на пути инфекционных агентов, поступающих через верхние дыхательные пути, ротоглотку, конъюнктиву и слуховые проходы [8]. Их стратегическое расположение и высокая функциональная активность подчеркивают ключевую роль в поддержании регионального иммунитета. При этом их морфофункциональные особенности могут существенно отличаться от таковых у ЛУ в других регионах, что требует отдельного изучения [9, 10].

Кролики (*Oryctolagus cuniculus*) широко используются в качестве модельных животных в иммунологических, патологических и регенеративных исследованиях [11]. Их применение охватывает изучение инфекционных заболеваний, разработку вакцин, тестирование иммунотерапевтических стратегий и ветеринарную медицину [12]. Однако, несмотря на широкое использование этой модели, детальные данные о тонкой морфологии их лимфатических узлов, особенно в головно-шейной области, остаются недостаточно систематизированными.

Большинство существующих исследований сфокусировано на лимфатических узлах грудной и брюшной полостей, что связано с их доступностью и клинической значимостью при изучении системных иммунных реакций [13]. В то же время структурные особенности регионарных ЛУ головы и шеи, включая их клеточный состав, архитектуру стромальных элементов, особенности ангиоархитектоники и нейроиммунные взаимодействия, описаны фрагментарно [14, 15].

Отсутствие комплексных морфологических данных создает существенные пробелы в интерпретации экспериментальных результатов, затрудняет диагностику лимфопролиферативных и воспалительных заболеваний у кроликов, а также ограничивает возможности сравнительной иммуноморфологии. В связи с этим проведение детального исследования микроморфологии лимфатических узлов головы и шеи у данного вида представляется актуальной научной задачей.

Проведение данного исследования позволит восполнить существующий пробел в знаниях о тонкой организации лимфатических узлов головы и шеи у кроликов. Полученные данные могут найти применение в ветеринарной морфологии, экспериментальной иммунологии, ветеринарной патологии.

Цель исследования – выявить структурные особенности лимфоузлов, определяющие их функциональную специализацию в иммунной системе.

Задачи: комплексно изучить микроморфологию лимфатических узлов головы и шеи кроликов с применением микроскопических, статистических и морфометрических методов.

Объекты и методы. Объекты исследования – тушки клинически здоровых кроликов калифорнийской породы в возрасте от одного года до двух лет в количестве шести голов. Для выявления лимфатических узлов использовались такие методы исследования, как обычное и тонкое препарирование. Производилась гистологическая обработка (последовательная обработка образцов в спиртах возрастающей концентрации, заливка в парафин, приготовление срезов, окрашивание). Для исследования лимфатических узлов использовались гистологический, морфометрический и статистический методы.

Результаты и их обсуждение. Структурная организация капсулы заглоточного лимфатического узла характеризуется наличием плотной волокнистой соединительной ткани, преимущественно состоящей из коллагеновых волокон первого типа с единичными фибробластами (рис. 1). Коллагеновые волокна, являясь основным структурным компонентом капсулы, обеспечивают ее механическую прочность и устойчивость к деформации. Количественный морфометрический анализ выявил среднюю толщину капсулярного слоя – $(9,29 \pm 0,39)$ мкм, что свидетельствует о его относительно небольшой толщине при сохранении высокой структурной прочности. Минимальные колебания значений толщины указывают на выраженную морфологическую однородность капсулы, обеспечивающую как механическую поддержку органа, так и выполнение барьерной функции по предотвращению распространения патогенных агентов. Внутренняя поверхность капсулы граничит с субкапсулярным синусом, представляющим собой важный компонент лимфатической дренажной системы. Субкапсулярный синус выполняет роль первичного фильтрационного барьера, через который осуществляется дренаж лимфы, содержащей антигены и клеточные элементы.

Из капсулы внутрь паренхимы отходят соединительнотканые трабекулы, морфологически аналогичные капсулярной ткани, но имеющие меньшую толщину – $(3,58 \pm 0,32)$ мкм (см. рис. 1). Эти перегородки формируют пространственную сеть, разделяющую лимфоидную ткань на отдельные секторы и содержащую сосудистые элементы, которые отвечают за трофическое обеспечение структуры. Равномерное распределение трабекулярных образований, подтверждаемое низкими значениями стандартного отклонения, способствует поддержанию архитектурной целостности узла при воздействии антигенной нагрузки. Трабекулы играют ключевую роль в организации внутренней структуры лимфатического узла, обеспечивая не только механическую поддержку, но и оптимальное расположение кровеносных сосудов для доставки питательных веществ и кислорода в различные участки паренхимы. При этом их меньшая толщина по сравнению с капсулой позволяет минимизировать механическое

препятствие для миграции иммунных клеток и перемещения лимфы внутри узла.

Корковый слой лимфатического узла содержит вторичные лимфоидные фолликулы с четко выраженной структурой, включающей герминативный центр и мантийную зону (см. рис. 1). Вторичные фолликулы являются ключевыми структурами, участвующими в гуморальном иммунном ответе. Средний диаметр фолликулярных структур составляет $(353,16 \pm 21,85)$ мкм, что демонстрирует их существенную вариативность по размеру, обусловленную различными фазами иммунного ответа – от начального формирования до зрелого состояния и последующей инволюции. Герминативные центры содержат популяции лимфоцитов и макрофагальных клеток, что подтверждает наличие активных процессов антиген-индуцированной дифференцировки лимфоидных элементов. В частности герминативные центры являются местом пролиферации В-лимфоцитов, их соматической гипермутации и селекции, что приводит к формированию высокоаффинных антител. Мантийная зона, окружающая герминативный центр, состоит преимущественно из малых по-

коящихся лимфоцитов, готовых к активации при контакте с антигеном. Высокие показатели стандартного отклонения могут быть обусловлены неравномерностью антигенной стимуляции в различных участках лимфатического узла. Это может быть связано с различиями в интенсивности лимфодренажа и концентрации антигенов в разных областях узла.

Помимо герминативных центров, в структуре лимфатического узла выделяют также паракортикальную зону и медуллярные тяжи. Паракортикальная зона является преимущественно Т-зависимой областью, где происходит взаимодействие между антигенпрезентирующими клетками и Т-лимфоцитами. Медуллярные тяжи, расположенные в центральной части узла, содержат плазматические клетки, продуцирующие антитела, а также макрофаги, участвующие в фагоцитозе и презентации антигенов. Таким образом, заглочный лимфатический узел представляет собой высокоорганизованную структуру, где каждая зона выполняет специфические функции, направленные на поддержание иммунологической защиты организма.

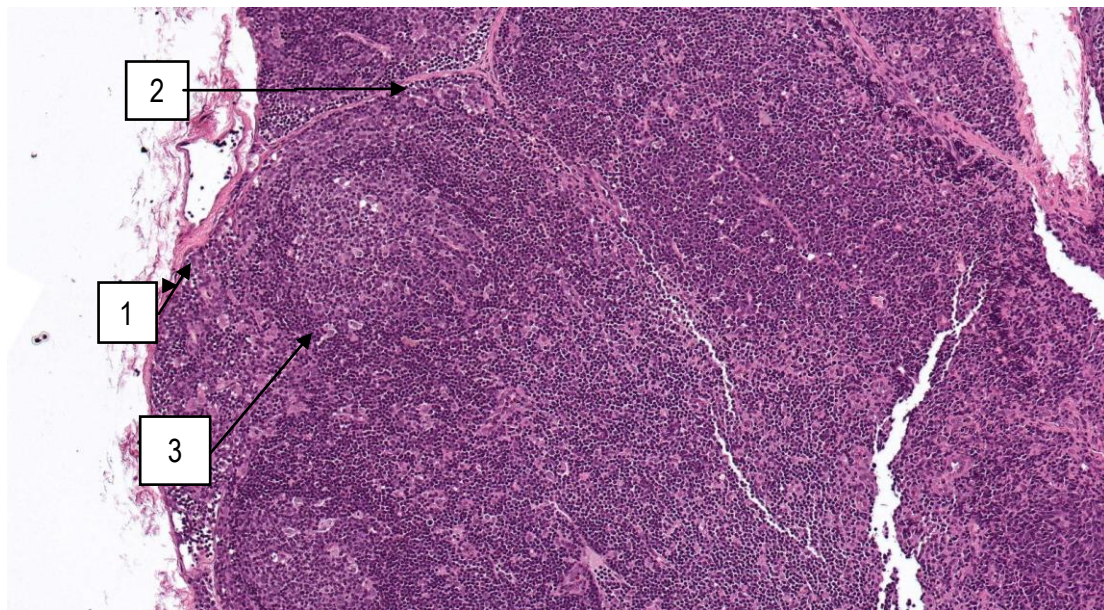


Рис. 1. Заглочный лимфатический узел кролика. Окраска гематоксилин и эозин. Увеличение ок. $\times 10$, об. $\times 10$: 1 – капсула; 2 – трабекулы; 3 – вторичный лимфоидный фолликул
 Rabbit's pharyngeal lymph node. Hematoxylin and eosin staining. Magnification is approx. $\times 10$, vol. $\times 10$:
 1 – capsule; 2 – trabeculae; 3 – secondary lymphoid follicle

Архитектоника лимфатического узла, включая его капсулу, трабекулы и паренхиматозные

компоненты, обеспечивает эффективное взаимодействие различных клеточных и молекуляр-

ных элементов иммунной системы. При этом структурная организация узла адаптирована для выполнения как защитных, так и фильтрационных функций. Капсула и трабекулы обеспечивают механическую стабильность и компартментализацию ткани, что важно для координации иммунного ответа. Лимфоидные фолликулы и другие паренхиматозные компоненты обеспечивают реализацию специфических этапов гуморального и клеточного иммунитета. Взаимодействие этих структурных элементов создает условия для эффективной защиты организма от патогенов и поддержания гомеостаза.

Капсула околоушного лимфатического узла состоит из плотной волокнистой соединительной ткани, организованной в виде упорядоченных пучков коллагеновых волокон, среди которых локализуются фибробласты и миофибробласты (рис. 2). Коллагеновые волокна, являясь основным структурным компонентом капсулы, обеспечивают ее механическую прочность и способность противостоять деформации. Средняя толщина капсулярного слоя составляет $(6,16 \pm 0,22)$ мкм, что указывает на относительно небольшую толщину при сохранении высокой структурной упорядоченности. Минимальные колебания значений толщины, подтвержденные низким стандартным отклонением, свидетельствуют о морфологической однородности капсулы, что обеспечивает баланс между механической жесткостью и гибкостью. Такая организация позволяет капсуле адаптироваться к динамическим изменениям, возникающим при лимфооттоке, а также выполнять защитную функцию, предотвращая распространение патогенов за пределы узла. Под капсулой находится субкапсулярный синус, выстланный ретикулярными клетками, которые играют ключевую роль в фильтрации лимфы и представлении антигенов иммунокомпетентным клеткам.

Трабекулы (соединительнотканые перегородки), отходящие от капсулы внутрь паренхимы, гистологически представлены плотной волокнистой соединительной тканью, но отличаются меньшей толщиной по сравнению с капсулой – $(4,95 \pm 0,55)$ мкм (см. рис. 2). Эти перегородки содержат большое количество коллагеновых и эластических волокон, что обеспечивает их способность к обратимой деформации при изменении объема узла. Эластичные во-

локна придают трабекулам дополнительную гибкость, позволяя им адаптироваться к механическим нагрузкам, возникающим при наполнении узла лимфой или увеличении его размеров во время иммунного ответа. Умеренная вариативность толщины трабекул, подтверждаемая стандартным отклонением, вероятно, связана с функциональной адаптацией к локальной антигенной нагрузке. Трабекулы формируют трехмерную поддерживающую сеть, разделяющую лимфоидную ткань на дольки, и содержат микрососуды, обеспечивающие трофическое снабжение паренхимы. Равномерное распределение трабекул способствует сохранению архитектурной целостности узла при воздействии антигенной стимуляции.

Вторичные лимфоидные фолликулы, расположенные в корковом веществе околоушного лимфатического узла, характеризуются крупными размерами: их средний диаметр достигает $(471,27 \pm 12,96)$ мкм (см. рис. 2). Фолликулы имеют четко выраженную структуру, включающую герминативный центр и мантийную зону. Герминативные центры состоят из популяций лимфоцитов и макрофагов, что отражает активные процессы пролиферации, соматической гипермутации и селекции клонов В-лимфоцитов в ответ на антигенную стимуляцию. Низкое стандартное отклонение свидетельствует о высокой степени однородности размеров фолликулов, что может быть связано с синхронизацией иммунного ответа в условиях постоянного антигенного воздействия, характерного для околоушной области. Близость слюнных желез и кожных покровов создает специфическую микроэкологию, способствующую постоянной антигенной стимуляции и поддержанию активности лимфоидных структур. Мантийная зона, окружающая герминативный центр, состоит преимущественно из малых покоящихся лимфоцитов, готовых к активации при контакте с антигеном.

Структурная организация околоушного лимфатического узла оптимизирована для выполнения иммунологических функций. Капсула и трабекулы обеспечивают механическую поддержку и компартментализацию ткани, что важно для координации иммунного ответа. Лимфоидные фолликулы и другие паренхиматозные компоненты обеспечивают реализацию специфических этапов гуморального и клеточ-

ного иммунитета. В частности герминативные центры являются местом активной пролиферации В-лимфоцитов, их соматической гипермутации и селекции клонов с высокой аффинностью к антигену. Мантийная зона служит резервуаром покоящихся лимфоцитов, готовых к быстрой активации в случае необходимости. Паракортикальная зона, расположенная вокруг фолликулов, является преимущественно Т-зависимой областью, где происходит взаимодействие между антигенпрезентирующими клетками и Т-лимфоцитами. Медуллярные тяжи, находящиеся в центральной части узла, содержат плазматические клетки, продуцирующие антитела, а также макрофаги, участвующие в фагоцитозе и презентации антигенов. Таким образом, околоушной лимфатический узел представляет собой высокоорганизованную структуру, где каждая зона выполняет специфические функции, направленные на поддержание иммунологической защиты организма.

Особенности локализации околоушного лимфатического узла обуславливают его участие в защите организма от патогенов, проникающих через кожные покровы лица и полости рта. Слюнные железы, выделяющие секрет, богатый органическими и неорганическими веществами, создают благоприятную среду для

размножения микроорганизмов, что требует активного участия узла в процессах иммунного надзора. Высокая степень организации капсулы и трабекул обеспечивает механическую стабильность узла при изменении его объема во время иммунного ответа. В то же время наличие развитой сети лимфатических синусов и кровеносных сосудов способствует эффективному дренажу лимфы и доставке антигенов в соответствующие зоны для презентации иммуннокомпетентным клеткам.

Архитектоника околоушного лимфатического узла, включая его капсулу, трабекулы и паренхиматозные компоненты, обеспечивает эффективное взаимодействие различных клеточных и молекулярных элементов иммунной системы. При этом структурная организация узла адаптирована для выполнения как защитной, так и фильтрационной функции. Капсула и трабекулы обеспечивают механическую стабильность и компартментализацию ткани, что важно для координации иммунного ответа. Лимфоидные фолликулы и другие паренхиматозные компоненты обеспечивают реализацию специфических этапов гуморального и клеточного иммунитета. Взаимодействие этих структурных элементов создает условия для эффективной защиты организма от патогенов и поддержания гомеостаза.

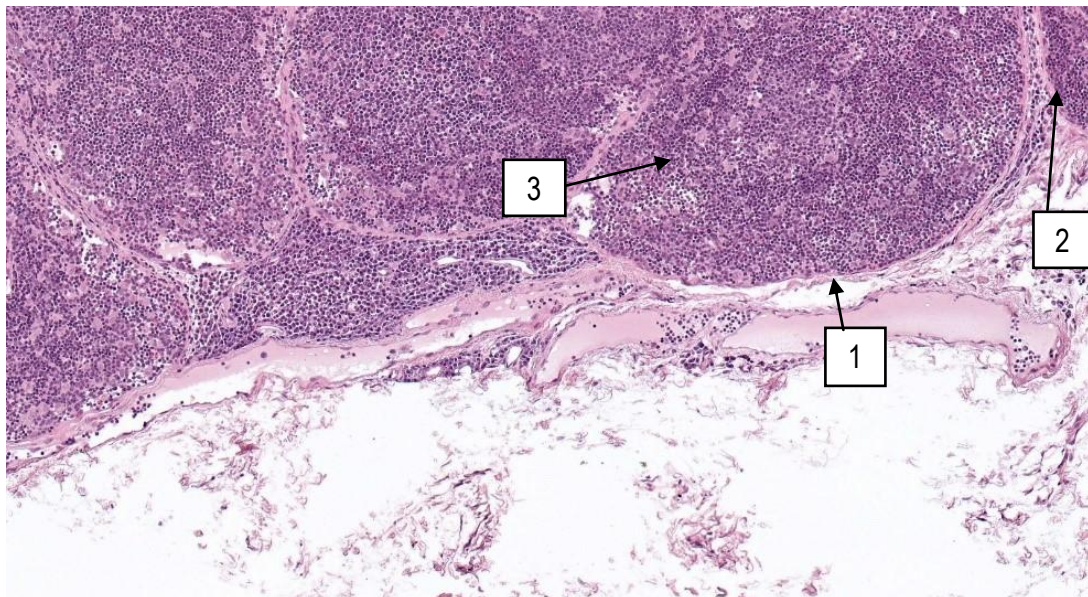


Рис. 2. Околоушной лимфатический узел кролика. Окраска гематоксилин и эозин. Увеличение ок. $\times 10$, об. $\times 10$: 1 – капсула; 2 – трабекулы; 3 – вторичный лимфоидный фолликул
 Rabbit parotid lymph node. Hematoxylin and eosin staining. Magnification is approx. $\times 10$, vol. $\times 10$:
 1 – capsule; 2 – trabeculae; 3 – secondary lymphoid follicle

Капсула шейного лимфатического узла образована плотной волокнистой соединительной тканью, состоящей из компактных пучков коллагеновых с включением единичных эластических волокон и фибробластов (рис. 3). Средняя толщина капсулы составляет $(6,16 \pm 0,17)$ мкм, что характеризует ее как тонкую, но структурно стабильную. Минимальное стандартное отклонение отражает высокую степень морфологической однородности, обеспечивающей механическую целостность узла и эффективную защиту от экстракапсулярного распространения инфекции. Внутренняя поверхность капсулы граничит с субкапсулярным синусом, выстланным эндотелиальными и ретикулярными клетками, которые участвуют в первичной фильтрации лимфы и захвате антигенов.

Трабекулы (перегородки), ответвляющиеся от капсулы в паренхиму узла, гистологически схожи с капсулярной тканью, однако отличаются меньшей толщиной – $(4,76 \pm 0,17)$ мкм (рис. 3). Они содержат выраженную сеть эластических волокон, что обеспечивает гибкость при изменении объема узла в процессе лимфооттока. Низкое стандартное отклонение указывает на равномерное распределение трабекулярной сети, способствующее поддержанию дольчатой архитектоники паренхимы. В толще перегородок локализованы кровеносные сосуды малого калибра и нервные волокна, регулирующие трофику и функциональную активность лимфоидной ткани.

Вторичные лимфоидные фолликулы в корковом веществе шейного узла отличаются наи-

большим диаметром среди изученных групп – $(510,62 \pm 19,92)$ мкм, что подчеркивает их ключевую роль в гуморальном иммунном ответе (рис. 3). Герминативные центры фолликулов состоят из активно пролиферирующих лимфоцитов и макрофагов. Повышенное стандартное отклонение может быть связано с гетерогенностью антигенной стимуляции в различных отделах узла, а также с циклическими изменениями активности фолликулов в зависимости от стадии иммунного ответа.

Сравнительный анализ структурных элементов лимфатических узлов головы и шеи кроликов (табл.; рис. 1–3) выявил существенные межтопографические различия, отражающие их адаптацию к региональным функциональным требованиям. Капсула заглоточного лимфатического узла имеет наибольшую толщину $(9,29 \pm 0,39)$ мкм, превышая показатели околушного $(6,16 \pm 0,22)$ мкм и шейного $(6,19 \pm 0,17)$ мкм узлов на 33,70 и 33,37 % соответственно. Эта особенность, вероятно, связана с анатомическим расположением заглоточного узла, который испытывает повышенную механическую нагрузку из-за близости к глотке и пищеводу, что требует усиленной барьерной функции. Однородность капсулярной структуры во всех группах подтверждает ее стабилизирующую роль, однако большая толщина заглоточного узла подчеркивает его ключевое значение в первичной защите от патогенов, поступающих через верхние дыхательные пути.

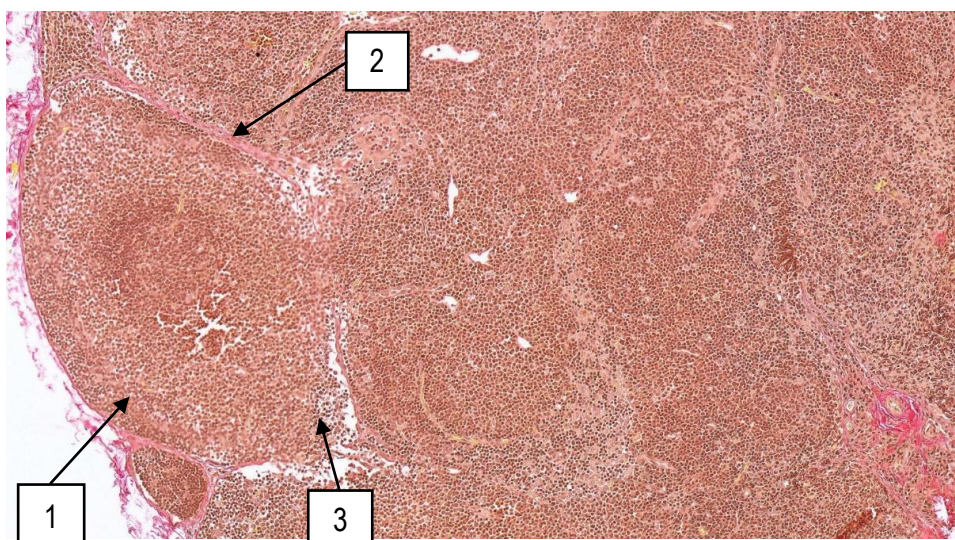


Рис. 3. Поверхностный шейный лимфатический узел кролика. Окраска по Ван Гизону. Увеличение ок. $\times 10$, об. $\times 10$: 1 – капсула; 2 – трабекулы; 3 – вторичный лимфоидный фолликул
 Rabbit's superficial cervical lymph node. Painting by Van Gieson. Magnification is approx. $\times 10$, vol. $\times 10$:
 1 – capsule; 2 – trabeculae; 3 – secondary lymphoid follicle

Толщина капсулы и перегородок лимфатических узлов кролика, $\bar{X} \pm \bar{x}$, мк
The thickness of the capsule and septa of rabbit lymph nodes, $X \pm x$, μm

Лимфатический узел	Капсула	Перегородка
Заглотоchnый лимфатический узел	9,29±0,39	3,67±0,35
Околоушной лимфатический узел	6,12±0,29	5,19±0,70
Шейный лимфатический узел	6,16±0,17	4,76±0,17*

Примечания: (*) – Различия между показателями в пределах одной группы животных составляет $P > 0,05$.

Трабекулярная сеть также демонстрирует вариативность в зависимости от локализации. Толщина перегородок заглоточного узла ($3,58 \pm 0,32$ мкм) на 27,68 и 24,63 % меньше, чем у околоушного ($4,95 \pm 0,55$ мкм) и шейного ($4,75 \pm 0,17$ мкм) узлов. Это может быть связано с необходимостью минимизировать объем стромы в условиях ограниченного пространства заглоточной области при сохранении функциональности паренхимы. Более высокая доля эластичных волокон в трабекулах околоушных и шейных узлов, особенно выраженная в последних, обеспечивает их пластичность, что важно для адаптации к динамическому лимфооттоку из областей с высокой подвижностью, таких как жевательные мышцы и шея.

Наиболее значительные различия выявлены в размерах вторичных лимфоидных фолликулов. Диаметр фолликулов поверхностного шейного узла ($510,62 \pm 19,92$ мкм) превышает таковой у заглоточного ($353,16 \pm 21,85$ мкм) на 30,84 % и околоушного ($471,27 \pm 12,96$ мкм) на 7,71 %. Эта грация коррелирует с интенсивностью антигенной нагрузки: шейные лимфатические узлы дренируют обширные зоны, включая кожу, мышцы и дыхательные пути, что требует постоянной активности гуморального иммунитета. Низкая вариабельность размеров фолликулов околоушного узла указывает на синхронизированный иммунный ответ, вероятно, обусловленный постоянным воздействием антигенов слюны и кожных патогенов. В отличие от этого высокая вариабельность в заглоточном узле отражает фазовый характер иммунной активности, связанный с периодическим поступлением антигенов из ротоглотки.

Структурные особенности лимфатических узлов головы и шеи кроликов демонстрируют их функциональную специализацию. Заглотоchnый узел, характеризующийся наиболее толстой

капсулой, адаптирован для защиты от патогенов, попадающих в организм через верхние дыхательные и пищеварительные пути. Его тонкие трабекулы минимизируют объем стромы, что важно в условиях ограниченного пространства заглоточной области. Околоушной лимфатический узел, обладающий более толстыми трабекулами с высоким содержанием эластичных волокон, адаптирован к динамическим нагрузкам, возникающим при движении жевательных мышц. Шейный узел, дренирующий обширные зоны, включая кожу, мышцы и дыхательные пути, демонстрирует крупные лимфоидные фолликулы, что отражает высокую интенсивность гуморального иммунного ответа.

Различия в размерах лимфоидных фолликулов также подчеркивают специфику иммунологической активности. Крупные фолликулы шейного узла свидетельствуют о высокой антигенной нагрузке, связанной с дренированием обширных территорий. Умеренные размеры фолликулов околоушного узла указывают на стабильный иммунный ответ, обусловленный постоянным воздействием антигенов слюны и кожных покровов. Фазовый характер иммунной активности заглоточного узла, отражаемый высокой вариабельностью размеров фолликулов, связан с периодическим поступлением антигенов из ротоглотки.

Таким образом, структурные особенности лимфатических узлов головы и шеи кроликов оптимизированы для выполнения специфических функций в зависимости от их локализации и региональных условий. Капсула и трабекулы обеспечивают механическую поддержку и компартментализацию ткани, что важно для координации иммунного ответа. Лимфоидные фолликулы и другие паренхиматозные компоненты обеспечивают реализацию специфических этапов гуморального и клеточного иммунитета.

Взаимодействие этих структурных элементов создает условия для эффективной защиты организма от патогенов и поддержания гомеостаза.

Заключение. Проведенное комплексное морфологическое исследование лимфатических узлов головы и шеи кроликов (заглоточного, околоушного и шейного) выявило значительные структурные различия, отражающие их функциональную специализацию в зависимости от топографической локализации. Полученные данные позволяют сделать ряд важных выводов, имеющих значение как для фундаментальной иммуноморфологии, так и для прикладных аспектов ветеринарной медицины и экспериментальной биологии.

Капсула лимфатических узлов, являясь их внешней оболочкой, выполняет не только механическую, но и барьерную функцию, предотвращая распространение патогенов в окружающие ткани. Наибольшая толщина капсулы зафиксирована у заглоточного лимфатического узла ($(9,29 \pm 0,39)$ мкм), что на 33,37–33,70 % превышает аналогичный показатель у околоушного ($(6,16 \pm 0,22)$ мкм) и шейного ($(6,19 \pm 0,17)$ мкм) узлов. Такое утолщение, вероятно, обусловлено анатомической близостью к глотке и пищеводу, где механическое воздействие (например, при глотании) и высокая антигенная нагрузка требуют усиленной защиты. Низкое стандартное отклонение во всех исследуемых группах свидетельствует о структурной однородности капсулы, что подтверждает ее стабилизирующую роль.

Трабекулы, отходящие от капсулы вглубь паренхимы, формируют опорный каркас, разделяющий лимфоидную ткань на функциональные зоны. Наименьшая толщина перегородок отме-

чена в заглоточном узле ($(3,58 \pm 0,32)$ мкм), что может быть связано с необходимостью экономии пространства в этой анатомической области. В околоушном ($(4,95 \pm 0,55)$ мкм) и шейном ($(4,75 \pm 0,17)$ мкм) узлах трабекулы содержат больше эластических волокон, обеспечивая гибкость при изменении объема лимфы. Различия в толщине и составе трабекул отражают адаптацию к динамическим нагрузкам: шейные узлы, дренирующие подвижные структуры (мышцы, кожу), обладают более пластичной строимой, тогда как заглоточные – более компактной.

Вторичные лимфоидные фолликулы, расположенные в корковом веществе, служат основными центрами пролиферации В-лимфоцитов и антителогенеза. Наибольший диаметр фолликулов зарегистрирован в шейном узле ($(510,62 \pm 19,92)$ мкм), что на 30,84 и 7,71 % превышает показатели заглоточного ($(353,16 \pm 21,85)$ мкм) и околоушного ($(471,27 \pm 12,96)$ мкм) узлов. Это свидетельствует о высокой антигенной нагрузке, связанной с дренированием обширных зон (кожа, дыхательные пути, мышцы). Однородность размеров фолликулов околоушного узла указывает на постоянный иммунный ответ, вероятно, обусловленный контактом с микрофлорой слюны и кожными патогенами. В то же время высокая вариабельность в заглоточном узле отражает фазовый характер иммунной активности, связанный с периодическим поступлением антигенов из ротоглотки.

Таким образом, данное исследование вносит значительный вклад в понимание морфофункциональной организации лимфатических узлов у кроликов, предоставляя важные данные для иммунологии, ветеринарии и биомедицинских исследований.

Список источников

1. Eikelenboom P., Nassy J.J., Post J., et al. The histogenesis of lymph nodes in rat and rabbit // *Anat. Rec.* 1978. № 190 (2). P. 201–215. DOI: 10.1002/ar.1091900204.
2. Jalkanen S., Salmi M. Lymphatic endothelial cells of the lymph node // *Nat Rev Immunol.* 2020. Vol. 20, № 9. P. 566–578.
3. Устинова Т.И., Теленков В.Н., Никифоров В.Н. Морфологические особенности лимфатических сосудов и узлов головы и шеи у животных. В сб.: Национальная (всероссийская) конференция, посвященная 65-летию кафедры анатомии и физиологии Тюмень «Актуальные вопросы современной морфологии, физиологии и патологии», 14–15 ноября 2024 г. Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2024. С. 153–159.
4. Nishi K. Lymphatic system of the rabbit: Morphological and functional aspects // *Anat. Rec.* 2018. P. 45–58.

5. Chechetkina S.A., Bystrova V.I., Nikolaychuk K.M., et al. Morphofunctional parameters of lymph nodes of different anatomical and topographic localization at a young age // *Innovation Science*. 2023. N 1-2. P. 22–26.
6. Hirnle P. Histological findings in rabbit lymph nodes after endolymphatic injection of liposomes containing blue dye // *J. Pharm Pharmacol*. 1991. Vol. 43, N 4. P. 217–218. DOI: 10.1111/j.2042-7158.1991.tb06671.x.
7. Kett K., Csere T., Lukács L., et al. Histological and autoradiographic changes in locally irradiated lymph nodes (an experimental study on rabbits) // *Lymphology*. 1979. Vol. 12, N 2. P. 95–100.
8. Breslin J.W., Yang Y., Scallan J.P., et al. Lymphatic Vessel Network Structure and Physiology // *Compr. Physiol*. 2018. Vol. 9, N 1. P. 207–299. DOI: 10.1002/cphy.c180015.
9. Zhang H., M. Sun, H. Xu, et al. Th-Cell Subsets of Submandibular Lymph Nodes in Peri-Implantitis // *J. Craniofac Surg*. 2024. Vol. 35, N 2. P. 692–698. DOI: 10.1097/SCS.00000000000009927.
10. Nur İ.H., Keleş H., Ünlükal N., et al. A new definition about the relationship of intercellular fluid in the brain with the mandibular and parotid lymph nodes // *Microsc Res Tech*. 2022. Vol. 85, N 1. P. 220–232. DOI: 10.1002/jemt.23898.
11. Веремеева С.А. Гистологическое строение желудочных лимфатических узлов кроликов // *АПК: инновационные технологии*. 2021. № 1. С. 6–10.
12. Никифоров В.Н., Теленков В.Н., Хонин Г.А., и др. Анатомо-топографические особенности лимфатических сосудов и узлов тазовой и брюшной полости у кролика. В сб.: *Международная научно-практическая конференция «Морфология в XXI веке: теория, методология, практика»*, 24–26 апреля 2024 г. М.: Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА им. К.И. Скрябина, 2024. С. 206–209.
13. Никифоров В.Н., Теленков В.Н., Хонин Г.А., и др. Морфо-адаптационные особенности лимфатических капилляров ободочной кишки кроликов разных возрастных групп // *Вестник Омского ГАУ*. 2024. № 4 (56). С. 181–186.
14. Шубина Т.П., Сибилов А.Ю. Особенности лимфатической системы у животных. В сб.: *IV Международная научно-практическая конференция «Современные научные тенденции в ветеринарии»*, 12 дек. 2024. Пенза: Пензенский ГАУ, 2025. С. 297–300.
15. Чепак Н.В. Развитие и составные части лимфатической системы. В сб.: *Международная научно-практическая конференция «Проблемы научно-практической деятельности. Поиск и выбор инновационных решений»*, 27 апр. 2021. Уфа: Омега Сайнс, 2021. С. 190–192.

References

1. Eikelenboom P, Nassy JJ, Post J, et al. The histogenesis of lymph nodes in rat and rabbit. *Anat Rec*. 1978;190(2):201-15. DOI: 10.1002/ar.1091900204.
2. Jalkanen S, Salmi M. Lymphatic endothelial cells of the lymph node. *Nat Rev Immunol*. 2020;20(9):566-578.
3. Ustinova TI, Telenkov VN, Nikiforov VN. Morphological features of lymphatic vessels and nodes of the head and neck in animals. In: *Actual issues of modern morphology, physiology and pathology: Proceedings of the national (All-Russian) conference dedicated to the 65th anniversary of the Department of Anatomy and Physiology*; 14–15 Nov 2024. Tyumen: State Agrarian University of the Northern Urals; 2024. P. 153–159. (In Russ.).
4. Nishi K. Lymphatic system of the rabbit: Morphological and functional aspects. *Anat. Rec*. 2018. P. 45–58.
5. Chechetkina SA, Bystrova VI, Nikolaychuk KM, et al. Morphofunctional parameters of lymph nodes of different anatomical and topographic localization at a young age. *Innovation Science*. 2023;(1-2):22-26.
6. Hirnle P. Histological findings in rabbit lymph nodes after endolymphatic injection of liposomes containing blue dye. *J. Pharm Pharmacol*. 1991;43(4):217-218. DOI: 10.1111/j.2042-7158.1991.tb06671.x.

7. Kett K, Csere T, Lukács L, et al. Histological and autoradiographic changes in locally irradiated lymph nodes (an experimental study on rabbits). *Lymphology*. 1979;12(2):95-100.
8. Breslin JW, Yang Y, Scallan JP, et al. Lymphatic Vessel Network Structure and Physiology. *Compr. Physiol.* 2018;9(1):207-299. DOI: 10.1002/cphy.c180015.
9. Zhang H, Sun M, Xu H, et al. Th-Cell Subsets of Submandibular Lymph Nodes in Peri-Implantitis. *J. Craniofac Surg.* 2024;35(2):692-698. DOI: 10.1097/SCS.00000000000009927.
10. Nur İH, Keleş H, Ünlükal N, et al. A new definition about the relationship of intercellular fluid in the brain with the mandibular and parotid lymph nodes. *Microsc Res Tech.* 2022;85(1):220-232. DOI: 10.1002/jemt.23898.
11. Veremeeva SA. Gistologicheskoe stroenie zheludochnykh limfaticeskikh uzlov krolikov. *APK: innovatsionnye tekhnologii*. 2021;(1):6-10. (In Russ.).
12. Nikiforov VN, Telenkov VN, Khonin GA, et al. Anatomico-topographic features of lymphatic vessels and lymph node stations in the abdominal cavity of a rabbit. In: *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya «Morfologiya v XXI veke: teoriya, metodologiya, praktika»*; 24–26 Apr 2024. Moscow: FGBOU VO Moskovskaya gosudarstvennaya akademiya veterinarnoy mediciny i biotekhnologii – MVA im. K.I. Skryabina; 2024. P. 206–209. (In Russ.).
13. Nikiforov VN, Telenkov VN, Khonin GA, et al. Morpho-adaptive features of lymphatic capillaries of the colon of rabbits of different age groups. *Vestnik of Omsk SAU*. 2024;(4):181-186. (In Russ.).
14. Shubina TP, Sibilev AY. Features of lymphatic system in rabbits. In: *IV Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya «Sovremennye nauchnye tendentsii v veterinarii»*; 12 Dec 2024. Penza: Penzenskiy GAU; 2025. P. 297–300. (In Russ.).
15. Chepak NV. Development and structural features of lymphatic system. In: *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya «Problemy nauchno-prakticheskoy deyatel'nosti. Poisk i vybor innovatsionnykh resheniy»*; 27 Apr 2021. Ufa: Omega Sayns; 2021. P. 190–192. (In Russ.).

Статья принята к публикации 05.09.2025 / The article accepted for publication 05.09.2025.

Информация об авторах:

Татьяна Игоревна Устинова¹, аспирант кафедры анатомии, гистологии, физиологии и патологической анатомии

Владислав Николаевич Никифоров², ассистент кафедры анатомии, гистологии, физиологии и патологической анатомии

Владимир Николаевич Теленков³, заведующий кафедрой анатомии, гистологии, физиологии, патологической анатомии, доктор ветеринарных наук, доцент

Эмма Владимировна Баданова⁴, доцент кафедры анатомии, гистологии, физиологии, патологической анатомии, кандидат ветеринарных наук

Information about the authors:

Tatyana Igorevna Ustinova¹, Postgraduate student at the Department of Anatomy, Histology, Physiology and Pathological Anatomy

Vladislav Nikolaevich Nikiforov², Assistant at the Department of Anatomy, Histology, Physiology and Pathological Anatomy

Vladimir Nikolaevich Telenkov³, Head of the Department of Anatomy, Histology, Physiology, Pathological Anatomy, Doctor of Veterinary Sciences, Docent

Emma Vladimirovna Badanova⁴, Associate Professor at the Department of Anatomy, Histology, Physiology, and Pathological Anatomy, Candidate of Veterinary Sciences

