

Histoarchitectonics of the parenchyma of lymph nodes of mammals with different structure of intranodal lymphatic channel

P.N. Gavrilin, E.G. Gavrilina, V.V. Evert

*Dnipropetrovsk State Agro-Economical University
Akad. Sergey Efremov Str., 25, Dnipro, 49600, Ukraine
Tel.: +38-099-545-33-31 E-mail: morfologagro@gmail.com
Submitted: 11.05.2017. Accepted: 15.07.2017*

The article analyzes the features of the histoarchitectonics of the lymph nodes of the bull (*Bos taurus*) and the pig (*Sus scrofa domestica*), depending on the type of structure and localization of the intranodal lymphatic channel. We studied somatic (Lymphonodi (L.) cervicales superficiales) and visceral (L. jejunales) lymph nodes of clinically healthy mature male bulls and swine (16 and 6 months old, respectively). A complex of classical histological techniques was used, as well as the method of impregnating sections of lymph nodes with silver nitrate, modified by the authors. The main accumulative-distribution link in the lymph nodes of the bull is the subcapsular sinus (type I lymphatic collector), and in the lymph nodes of the pig - the capsular (intratrabecular) lymphatic tanks (type II lymphatic collector). In nodes with collectors of type I, the cortex has a simple layered structure, its outer layer is formed by a compact cortical plateau (interfollicular zone), and the inner layer is formed by a complex of spherical units of the deep cortex. In nodes with collectors of type II, the cortex is layered-folded, uneven in width. Cortical folds are formed along the capsular trabeculae with intratrabecular lymphatic tanks. The cortex plateau in the layered-folded cortex is more developed at the base of the folds, and the units of the deep cortex are at their apexes, where they form clusters in the form of specific nest-shaped structures. In nodes, regardless of the type of intranodal lymphatic channel, the surface cortex (cortical plateau) is located directly under the underlying lymphatic collectors, repeating their shape, the zones of clonal proliferation of B-lymphocytes are formed along the main collector on the basis of cortical plateau and its derivative structures (on the basis of paracortical and medullary cords). The zones of proliferation of T-lymphocytes are maximally close to the main collector, separated from it by a strip of cortical plateau, form a complex of spherical thickenings, which together form a deep cortex. The stroma and parenchyma are more developed in the nodes with collectors of type II (cumulative relative volume of stroma – 9-14% and 6-10%, parenchyma – 80-87% and 70-81%, respectively), and lymphatic sinuses - in nodes with collectors of I type (13-20% and 4-6% respectively). In the parenchyma of the lymph nodes of both groups, the zones of proliferation of T-lymphocytes predominate (the centers of deep cortex units are 27-42%), as well as the zones of accumulation of plasma cells and antibody formation (medullary cords – 17-29%), the first of which are more developed in the pig, and the latter at the nodes of the bull. The cumulative relative volume of the interfollicular zone (cortical plateau) in the studied nodes does not exceed 6-11%, and the zone of clonal proliferation of B lymphocytes (lymph nodule) is 5-14%. These zones are more developed in the lymph nodes of the pig. Paracortical cords have the minimum and practically equivalent relative volume in the nodes of both groups (3-5%). The study shows that the principles of localization of the main specialized cellular zones in the lymph nodes of the domestic bull and the pig are universal, and the histoarchitectonics of the parenchyma has a clearly expressed specificity. Features of the histoarchitectonics of the parenchyma and its quantitative characteristics are determined by the type of structure of the intranodal lymphatic channel (the character of the localization and spatial configuration of the main accumulative-distributive unit of the nodes).

Key words: connective and lymphoid tissues; lymphatic collectors and sinuses; specialized cell zones; domestic pig and bull

Гистоархитектоника паренхимы лимфатических узлов млекопитающих с различными типами строения внутриузлового лимфатического русла

П.Н. Гаврилин, Е.Г. Гаврилина, В.В. Эверт

Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет

ул. Акад. С.Ефремова, 25, Днепр, 49600, Украина

Tel.: +38-099-545-33-31 E-mail: morfologagro@gmail.com

В статье проанализированы особенности гистоархитектоники лимфатических узлов быка (*Bos taurus*) и свиньи (*Sus scrofa domestica*) домашних в зависимости от типа строения и локализации внутриузловых лимфатических коллекторов. Исследовали соматические (*Limphonodi (L.) cervicales superficiales*) и висцеральные (*L. jejunales*) лимфатические узлы клинически здоровых половозрелых самцов быка и свиньи (возраст 16 и 6 месяцев соответственно). Использовали комплекс классических гистологических методик, а также модифицированный авторами метод импрегнации срезов лимфатических узлов азотнокислым серебром. Основным накопительно-распределительным звеном в лимфатических узлах быка является субкапсулярный синус (лимфатический коллектор I типа), а в лимфатических узлах свиньи – капсулярная (интратрабекулярная) лимфатическая цистерна (лимфатический коллектор II типа).

В узлах с коллекторами I типа кора имеет простую слоистую структуру, ее наружный слой образован целостным корковым плато (интерфолликулярная зона), а внутренний – комплексом сферообразных единиц глубокой коры. В узлах с коллекторами II типа кора слоисто-складчатая, неравномерная по ширине. Складки коры формируются вдоль капсулярных трабекул с интратрабекулярными лимфатическими цистернами. Корковое плато в слоисто-складчатой коре более развито в основании складок, а единицы глубокой коры – на их вершинах, где они формируют скопления в виде специфических гнездообразных структур. В узлах, независимо от типа внутриузлового лимфатического русла, поверхностная кора (корковое плато) располагается непосредственно под основными лимфатическими коллекторами, повторяя их форму; зоны клональной пролиферации В-лимфоцитов формируются вдоль основного коллектора на основе коркового плато и его дочерних структур (на основе паракортикальных и мозговых тяжей). Зоны пролиферации Т-лимфоцитов максимально приближены к основному коллектору, отделяются от него полоской коркового плато, образуют множество сферообразных утолщений, которые в совокупности формируют глубокую кору. Строма и паренхима более развиты в узлах с лимфатическими коллекторами II типа (совокупный относительный объем стромы – 9-14% и 6-10%, паренхимы – 80-87% и 70-81%, соответственно), а лимфатические синусы – в узлах с коллекторами I типа (13-20% и 4-6% соответственно). В паренхиме лимфатических узлов обеих групп преобладают зоны пролиферации Т-лимфоцитов (центры единиц глубокой коры – 27-42%), а также зоны аккумуляции плазматических клеток и антителообразования (мозговые тяжи 17-29%), первые из которых более развиты в узлах свиньи, а вторые в узлах быка. Совокупный относительный объем интерфолликулярной зоны (коркового плато) в исследованных узлах не превышает 6-11%, а зона клональной пролиферации В-лимфоцитов (лимфатических узелков) – 5-14%. Данные зоны больше развиты в лимфатических узлах свиньи. Минимальный и практически равнозначный относительный объем в узлах обеих групп имеют паракортикальные тяжи (3-5%). Полученные результаты свидетельствуют, что принципы локализации основных специализированных клеточных зон в лимфатических узлах быка и свиньи домашних являются универсальными, а гистоархитектоника паренхимы имеет четко выраженную видовую специфичность. Особенности гистоархитектоники паренхимы и ее количественные характеристики обусловлены типом строения внутриузлового лимфатического русла (характером локализации и пространственной конфигурации основного накопительно-распределительного звена узлов).

Ключевые слова: соединительная и лимфоидная ткани, лимфатические коллекторы и синусы, специализированные клеточные зоны, свинья и бык домашние.

Введение

Известно, что лимфатические узлы у млекопитающих, наряду с иммунобиологической и рядом других функций, активно накапливают циркулирующую по лимфатическим сосудам лимфу, являясь основными лимфатическими коллекторами (Sapin and Borziak, 1982; Ikomi et al., 2012; Chandrasekaran and King, 2014).

Внутриузловое лимфатическое русло в лимфатических узлах подавляющего большинства видов млекопитающих представлено комплексом лимфатических пространств или синусов, которые включают в себя подкапсулярный (краевой и воротный синусы), а также синусы коркового и мозгового вещества (Sapin et al., 1978; Vyrenkov et al., 1995;

Sixt et al., 2005). При этом, основным накопительно-распределительным звеном или главным коллектором лимфы, является краевой синус, который окружает паренхиму лимфатического узла практически со всех сторон, получая лимфу из афферентных лимфатических сосудов и направляя ее преимущественно в синусы коры узлов и далее в эфферентные лимфатические сосуды (Jia et al., 2012; Houston et al., 2016; Iwasaki et al., 2016).

Вследствие непосредственного сообщения краевого синуса с приносящими лимфу сосудами он также является основным «получателем» и «накопителем» антигенпрезентирующих клеток, большая часть которых из его полости или полости его дочерних корковых синусов проникает в паренхиму узлов и стимулирует процессы антигензависимой пролиферации популяций Т- и В- лимфоцитов (Willard-Mack, 2006; Platt and Randolph, 2013; Shipman et al., 2017). В результате в лимфатических узлах млекопитающих, в которых роль основного лимфатического коллектора выполняет краевой синус, основные структурно-функциональные зоны паренхимы максимально приближены к данному синусу или его производным (корковым синусам) (Gavrilin et al., 2013; Gavrilin et al., 2017a), а общая архитектура паренхимы узлов приобретает четко выраженную относительно равномерную слоистую структуру с подразделением на более плотные поверхностную и глубокую кору и относительно рыхлое мозговое вещество сетчатой структуры (Belisle and Sainte-Marie, 1981).

В тоже время на сегодняшний день установлено, что описанная выше структура внутриузловых лимфатических русел у представителей класса млекопитающих не является однотипной и универсальной (Krishtoforova and Prokushenkova, 2005).

У свиней (Hoshi, 1986; Gavrilin et al., 2014), а также верблюдов (Gavrilin et al., 2017b), слонов (Cave and Aumonier, 1962a), дельфинов (Moskov et al., 1969) и носорогов (Cave and Aumonier, 1962b) основными лимфатическими коллекторами в лимфатических узлах являются не краевые синусы, а специализированные хорошо развитые лимфатические цистерны, расположенные в толще мощных капсулярных трабекул. В отличие от коллектора в виде краевого синуса, отток лимфы из которого происходит преимущественно однонаправленно в корковые синусы узлов, из трабекулярной лимфатической цистерны лимфа через многочисленные интратрабекулярные каналы одновременно поступает в различные синусы паренхимы, как поверхностные, так и глубокие (Hoshi, 1986). В результате антигенпрезентирующие клетки, вероятно, также распределяются более или менее равномерно в пределах паренхимы, что также должно отражаться на ее общей гистоархитектонике.

Следует также отметить, что особенности зональной структуры паренхимы в лимфатических узлах млекопитающих с трабекулярными лимфатическими цистернами исследованы на сегодня крайне недостаточно, что является фактором, который оказывает негативное влияние на степень адекватности и объективности оценки различных структурно-функциональных преобразований лимфоидной ткани узлов данного типа в процессе их морфогенеза, а также различных внешних воздействиях и развитии патологических процессов.

Исходя из вышеуказанного целью наших исследований было определить особенности гистоархитектоники и зональной структуры паренхимы в лимфатических узлах млекопитающих с различными типами строения основных внутриузловых накопительно-распределительных структур (лимфатических коллекторов субкапсулярного и трабекулярного типов) на примере двух видов млекопитающих – быка и свиньи домашних.

Материалы и методы исследований

Исследовали соматические: поверхностные шейные (*Lymphonodi (L.) cervicales superficiales*) и висцеральные (*L. jejunales*) лимфатические узлы половозрелых быка (*Bos taurus*) и свиньи (*Sus scrofa domestica*) (Zelenevsky, 2013.). Материал отбирали от клинически здоровых половозрелых самцов быка (16 месяцев) и свиньи (6 месяцев) домашних, после убоя на мясокомбинате. Органы были получены от 12 животных каждого вида: поверхностные шейные лимфатические узлы (n = 24); тощей кишки (n = 12). Образцы для гистологических исследований отбирали с учетом особенностей макроскопического строения лимфатических узлов быка и свиньи. Лимфатические узлы быка домашнего, которые представляют собой компактные бобовидные (поверхностные шейные) или компактные лентообразные (тощей кишки) органы (Gavrilin, 2000), рассекали в сегментальной плоскости, перпендикулярно их воротам, отбирая по 3 срединных фрагмента. Лимфатические узлы свиньи имеют вид конгрегатов из частично сросшихся отдельных узлов (субъединиц), в виде бугристых узловидных образований (поверхностные шейные) или в виде узлов, расположенных цепью в один ряд между листками брыжейки тощей кишки (Prokushenkova, 2005). От каждого лимфатического узла свиньи отбирали по 3 наиболее крупные субъединицы, из которых вырезали по одному перпендикулярному воротам сегменту. Отобранные образцы фиксировали в 10% растворе нейтрального забуференного формалина. Фиксированные образцы заливали в парафин (гистопласт) или использовали в нативном виде для получения замороженных срезов на микротоме-криостате.

Тотальные парафиновые срезы, толщиной 3-5 мкм, окрашивали гематоксилином и эозином. Для получения на микротоме-криостате тотальных целостных срезов использовали глицерин-желатиновую смесь, подготовленную методом чередования ее замораживания и кипячения, которую наносили на поверхность блока перед изготовлением каждого среза. Замороженные срезы импрегнировали нитратом серебра по методу Фута в модификации автора (Gavrilin, 1999). Основные методические особенности модификации заключаются в предварительном «пропитывании» поверхности блока специально обработанной смесью глицерина и желатина, которая дает эффект катализации на последующих этапах обработки срезов. В результате этого пребывания срезов в растворе марганцовокислого калия не превышает 5 мин, щавелевой кислоты – 10 мин, азотнокислого серебра – 35 мин, аммиачного серебра – 30 секунд, формалина – 15 секунд. В итоге мы получали тотальные гистопрепараты лимфатических узлов, на которых

просматривалась общая гистоархитектоника лимфоидной паренхимы, а также различались все основные ее структурные составляющие (специализированные клеточные зоны), в том числе и отдельные участки звеньев лимфатического и кровеносного микроциркуляторного русла, что связано со специфическим для каждой зоны пространственным расположением ретикулярных волокон, а также преимущественным выпадением оксида серебра в стенках лимфатических сосудов, венул и мелких вен.

Гистопрепараты исследовали с использованием световых микроскопов *Olympus CX-41* и *Leica DM1000* (окуляр x10, объективы x10, x40). В гистопрепаратах, окрашенных гематоксилином и еозином, определяли степень развития и дифференцировки системы внутриузловых синусов, стромы и паренхимы узлов, особенности гистоархитектоники паренхимы, а также принцип локализации ее отдельных структурных компонентов.

В гистопрепаратах импрегнированных нитратом серебра определяли процентную объемную плотность или относительный объем (V_v , %) лимфатических синусов стромы (капсула, трабекулы) и лимфоидной паренхимы. Вычисляли совокупный относительный объем отдельных зон паренхимы - интерфолликулярной зоны (корковое плато) и паракортикальных тяжей (зона транзита лимфоцитов), центральных участков единиц глубокой коры (зон клональной пролиферации Т-лимфоцитов), лимфатических узелков (зон клональной пролиферации В-лимфоцитов и мозговых тяжей (зон аккумуляции плазмочитов и синтеза антител), а также особенности их синтопии.

При определении относительного объема вышеуказанных компонентов использовали методику «точечного счета» (Avtandilov, 1990) при помощи окулярных тестовых систем с равноудаленными точками (100 точек).

Относительный объем различных тканевых компонентов лимфатических узлов вычисляли по формуле:

$$V_{vi} = P_i / P_t \times 100\%,$$

где V_{vi} – относительный объем тканевого компонента; P_i – число точек попавших на соответствующий компонент; P_t – общее число точек тестовой системы попавших на гистопрепарат.

Определение необходимого числа подсчетов точек в процессе планиметрического анализа методом полей проводили с использованием графика Вейбеля (Aherne and Dunnill, 1982). Найденное по графику число подсчетов позволяет получить достоверные результаты в 95% доверительном интервале. Измерения проводили на световом микроскопе «*Olympus CX-41*» (объектив 10x/0,25; 40x/0,65). Микрофотографии получали на микроскопе «*Leica DM1000*» (окуляр 4x, объектив 10x/0,25; 40x/0,65), интегрированном с персональным компьютером и «*Olimpus CX-41*».

Результаты исследований статистически обработаны и представлены с помощью *Statistica 12.0* (StatSoft Inc., USA). Вероятность разницы значений в различных группах лимфатических узлов оценивали при помощи t-критерия Стьюдента после проверки нормальности распределения и разницы между генеральными дисперсиями.

Результаты и их обсуждение

Установлено, что независимо от типа строения внутриузлового лимфатического русла, наиболее развитым тканевым компонентом лимфатических узлов животных обоих видов является лимфоидная паренхима, относительный объем которой в соматических узлах достигает 70-80%, а в висцеральных – 81-87%. Характерно, что у свиньи в лимфатических узлах обеих групп относительное количество паренхимы больше, чем в соответствующих органах быка (рис. 1). Относительный объем стромы (капсула и трабекулы) в исследованных лимфатических узлах не превышает 6-14%. В отличие от паренхимы стромальные компоненты лучше развиты в соматических лимфатических узлах и в большей степени в соответствующих органах свиньи домашней (рис. 2).

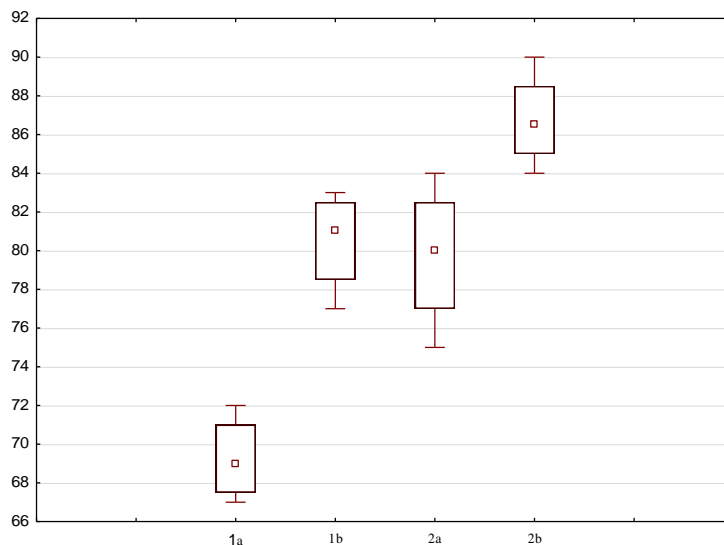


Рис. 1. Относительный объем паренхимы на площади тотальных срединных сегментальных срезов лимфатических узлов. 1 – поверхностного шейного; 2 – лимфатического узла тощей кишки (а – быка; b - свиньи); по оси абсцисс – лимфатические узлы, по оси ординат – относительный объем паренхимы, %.

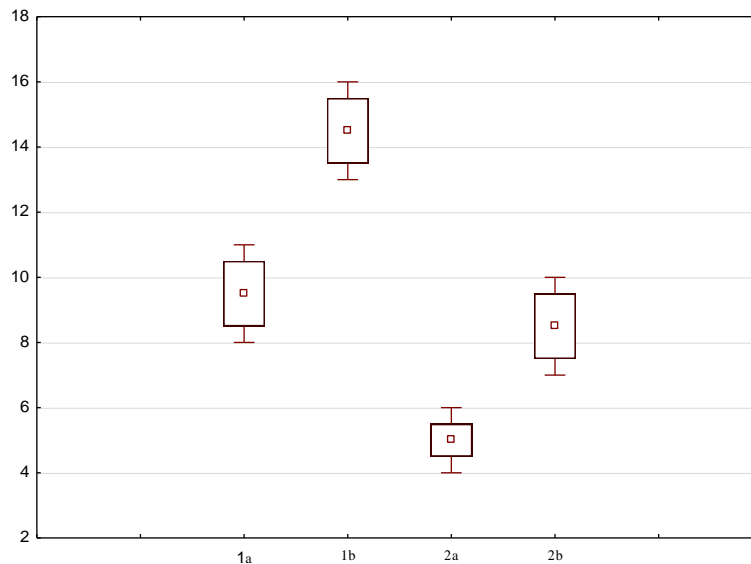


Рис. 2. Относительный объем стромы (капсулы и трабекул) на площади тотальных срединных сегментальных срезов лимфатических узлов. 1 – поверхностного шейного; 2 – лимфатического узла тощей кишки (a – быка; b - свиньи); по оси абсцисс – лимфатические узлы, по оси ординат – относительный объем стромы, %.

Гистоархитектоника стромы в лимфатических узлах свиньи и быка также имеет ряд существенных отличий. У быка домашнего она представлена капсулой с ее выраженным утолщением в области ворот (воротное утолщение), а также производными капсулы – трабекулами. Среди трабекул более развитыми являются капсулярные трабекулы, которые проникают в паренхиму узлов, где образуют ряд разветвлений. Воротные трабекулы имеют незначительную толщину и располагаются, в основном, среди мозговых тяжей. В лимфатических узлах свиньи, которые представлены конгломератами из частично сросшихся отдельных узлов или субъединиц, имеется общая капсула. В центре каждой субъединицы капсула образует мощные складки (инвагинации), которые доходят практически до основания субъединицы. В результате чего на сегментальном разрезе субъединицы лимфатических узлов свиньи преобладают омегаобразную структуру, когда паренхима полукольцом охватывает расположенные внутри капсулярные трабекулы. Как свидетельствуют наши результаты, внутриузловое лимфатическое русло в лимфатических узлах быка домашнего имеет больший относительный объем (рис. 3), чем в соответствующих органах свиньи, что, вероятно, связано с отсутствием в капсуле и трабекулах узлов быка специализированных лимфоаккумуляторов, которые у свиньи представлены трабекулярными лимфатическими коллекторами или цистернами (Hoshi, 1986). Известно, что роль лимфатического коллектора в лимфатических узлах быка домашнего выполняет подкапсулярный или краевой синус, который без явных границ продолжается в воротный синус, охватывая паренхиму узлов полукольцом (Nicander, 1991). При этом афферентные лимфатические сосуды открываются непосредственно в краевой синус, от которого в свою очередь отходят перитрабекулярные (поперечные) синусы и корковые промежуточные синусы, продолжающиеся в мозговые синусы, являющиеся истоками эфферентных лимфатических сосудов. Таким образом, вероятно, антигены (антигенпрезентирующие клетки) в лимфатических узлах быка домашнего изначально поступают в краевой синус, затем последовательно – в поверхностные, средние и глубокие слои паренхимы от поверхностной коры до мозговых тяжей (Rouse et al., 1984; Platt and Randolph, 2013).

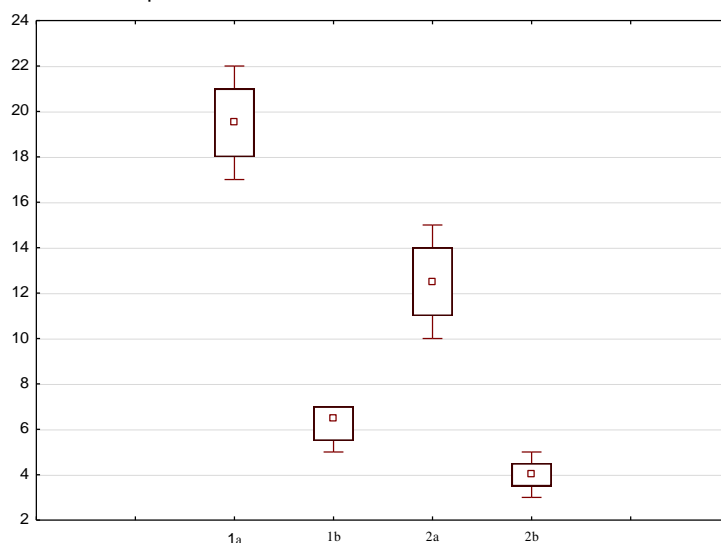


Рис. 3. Относительный объем синусов на площади тотальных срединных сегментальных срезов лимфатических узлов. 1 – поверхностного шейного; 2 – лимфатического узла тощей кишки (a – быка; b - свиньи); по оси абсцисс – лимфатические узлы, по оси ординат – относительный объем синусов, %.

У свиньи, в отличие от быка, лимфа предварительно аккумулируется в лимфатических коллекторах, непосредственно связанных с афферентными лимфатическими сосудами из которых через многочисленные внутритрабекулярные лимфатические каналы она попадает как в краевые, так и более глубокие синусы и равномерно распределяется по всей паренхиме, охватывающей полукольцом капсулярную трабекулу, с расположенной внутри нее цистерной (Hoshi, 1986). Результаты наших исследований свидетельствуют, что особенности гистоархитектоники паренхимы в лимфатических узлах быка и свиньи домашних в значительной степени обусловлены характером их лимфоснабжения и непосредственно зависят от типа внутриузлового лимфатического русла.

Установлено, что поверхностная кора в лимфатических узлах обоих видов животных концентрируется исключительно вдоль лимфатических коллекторов полностью повторяя их контуры. В результате данная структура паренхимы лимфатических узлов у быка имеет вид широкой, направленной в сторону устья афферентных сосудов, дуги, которая располагается вдоль краевого синуса, а степень ее «кривизны» зависит от формы каждого отдельного лимфатического узла (рис. 4). Основной структурной составляющей дуги является, расположенная под краевым синусом интерфолликулярная зона или корковое плато, где находятся многочисленные венулы с высоким эндотелием, через стенку которых в паренхиму узлов мигрируют лимфоциты (De Bruyn and Cho, 1990; Ruddle, 2016; Ager, 2017) – рис. 5.

Глубокая кора в лимфатических узлах у быка располагается ниже коркового плато и имеет дискретную структуру в виде множества сферообразных единиц глубокой коры, которые отделяются друг от друга перетрабекулярными и корковыми промежуточными синусами (рис. 6). Единицы глубокой коры составляют основу структурно-функциональных единиц паренхимы лимфатических узлов – лимфоидных долек или компартментов. В центральных зонах единиц глубокой коры происходит клональная пролиферация Т-лимфоцитов (Kaldjian, 2001; Caprese and Kim, 2016), их периферические участки обозначаются как паракортикальные тяжи, которые, как и интерфолликулярная зона, обеспечивают транссосудистый транзит лимфоцитов.

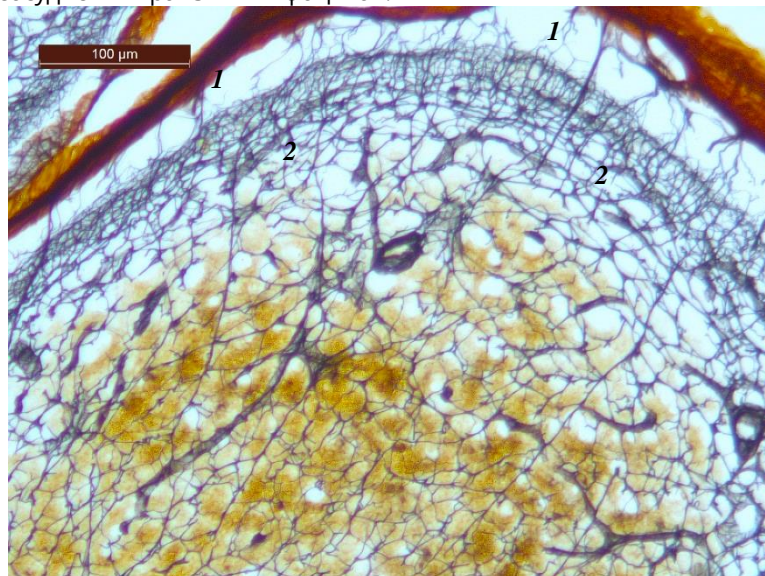


Рис. 4. Краевой синус (1) и поверхностная кора (корковое плато) (2) в поверхностном шейном лимфатическом узле быка домашнего. Импрегнация азотнокислым серебром.

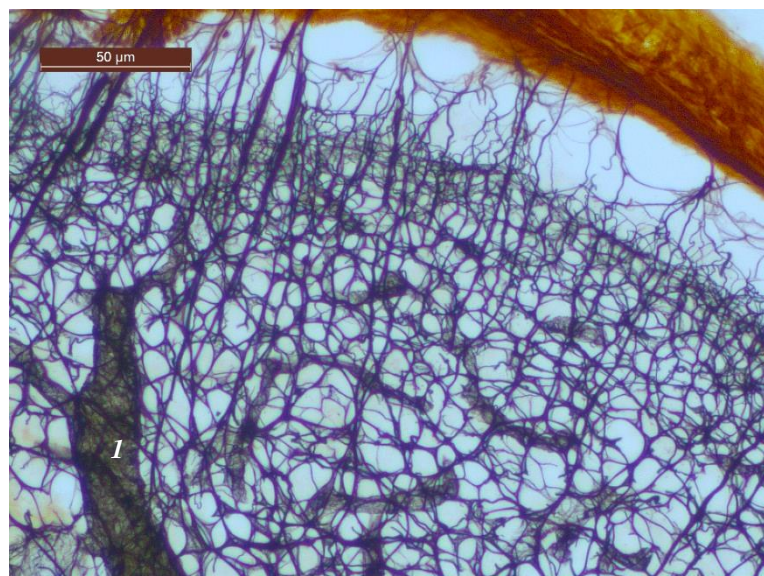


Рис. 5. Венула (1) в корковом плато поверхностного шейного лимфатического узла быка домашнего. Импрегнация азотнокислым серебром.

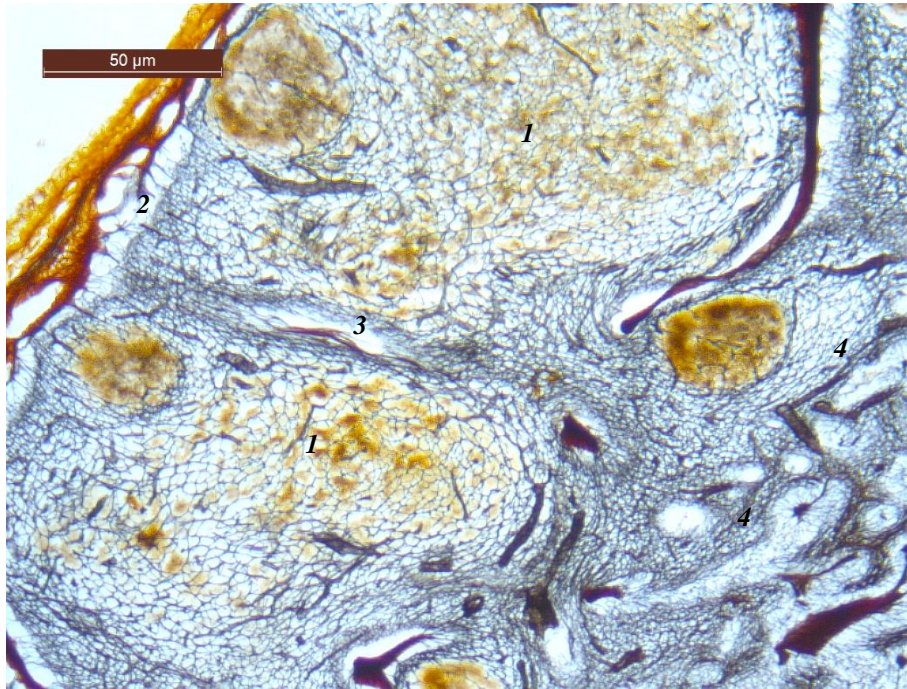


Рис. 6. Единицы глубокой коры (1), краевой (2), корковой (3) и мозговой (4) синусы в поверхностном шейном лимфатическом узле быка домашнего. Импрегнация азотнокислым серебром.

Пространство между корой и воротным утолщением заполнено комплексом мозговых тяжей, где происходит аккумуляция плазматических клеток – синтез антител (Kopenkov et al., 2008).

Наши исследования показывают, что лимфатические узелки в паренхиме лимфатических узлов быка домашнего не имеют каких-либо определенных закономерностей локализации и могут располагаться в любых участках паренхимы, которые граничат с синусами. Таким образом лимфатические узелки распределены в паренхиме узлов диффузно или мозаично.

В лимфатических узлах половозрелого быка домашнего лимфатические узелки обнаруживаются вдоль краевого синуса в интерфолликулярной зоне, а также в паракортикальных тяжах на периферии единиц глубокой коры (рис. 7). В висцеральных лимфатических узлах брюшной полости лимфатические узелки также могут формироваться в мозговых тяжах (рис. 8).

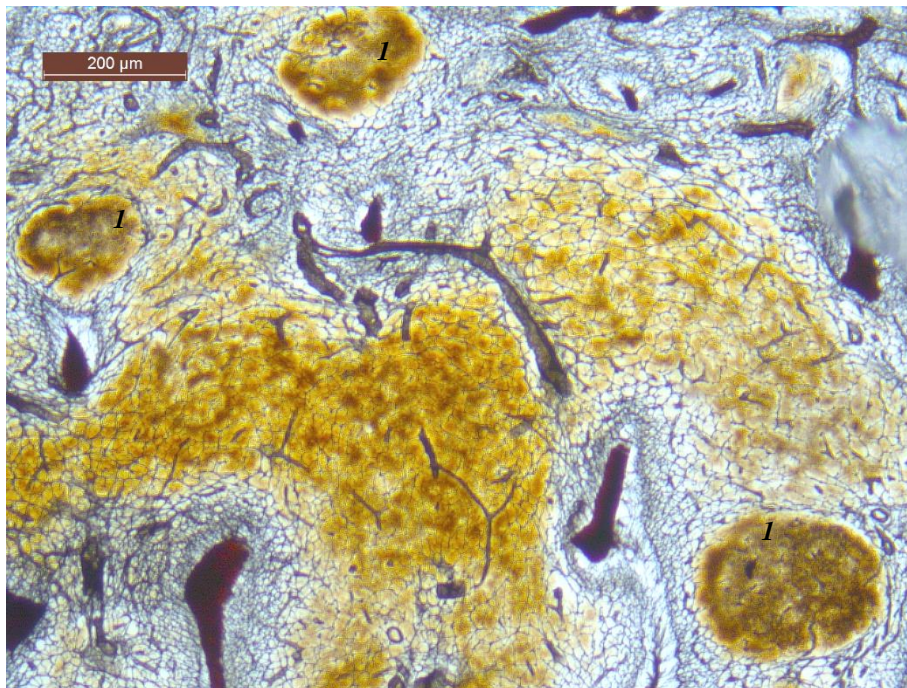


Рис. 7. Лимфатические узелки (1) в паракортикальных тяжах поверхностного шейного лимфатического узла быка домашнего. Импрегнация азотнокислым серебром.

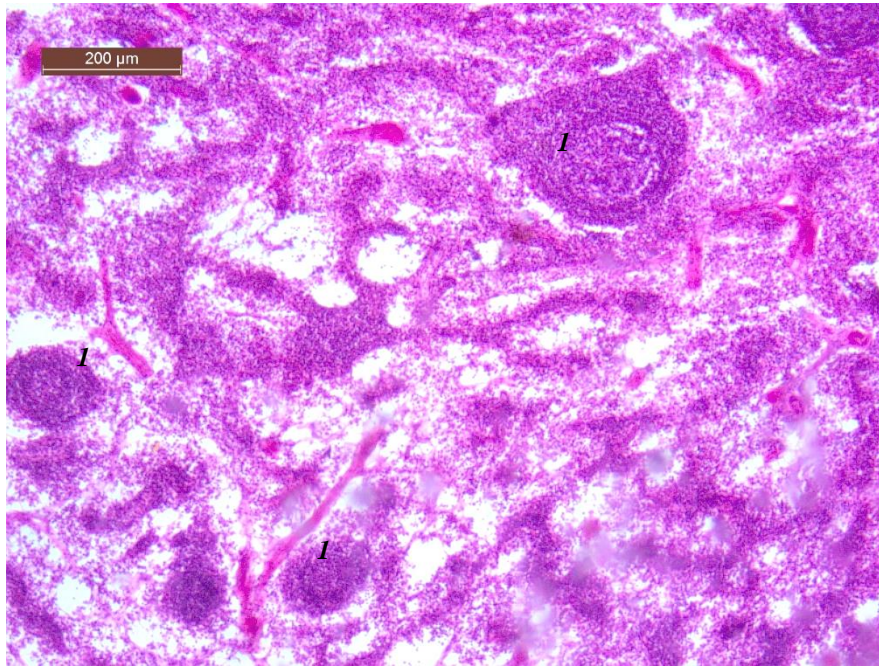


Рис. 8. Лимфатические узелки (1) в мозговых тяжах лимфатического узла тощей кишки быка домашнего. Окраска гематоксилином и эозином.

Известно, что пусковым механизмом для развития лимфатических узелков, которые по сути являются зонами клональной пролиферации В-лимфоцитов, является взаимодействие соответствующих премированных лимфоцитов с антигенпрезентирующими клетками. По-видимому, в лимфатических узлах млекопитающих существуют определенные механизмы, которые обеспечивают миграцию и тотальное распространение проникших через стенки вен с высоким эндотелием В-лимфоцитов по перисинусоидальным участкам лимфоидной ткани, где формируются множественные очаги их размножения, что в значительной степени увеличивает масштабы и потенциал антителообразования (Sapin, 2006).

Кора субъединиц лимфатических узлов у свиньи домашней также дугообразная. В отличие от быка вершина дуги коры узлов у свиньи направлена в противоположную сторону в направлении ворот узлов, дуга коры имеет значительную кривизну и вид сплюснутого полукольца, в центре которого располагается капсулярная трабекула с лимфатическим коллектором (лимфатической цистерной) – рис. 9.

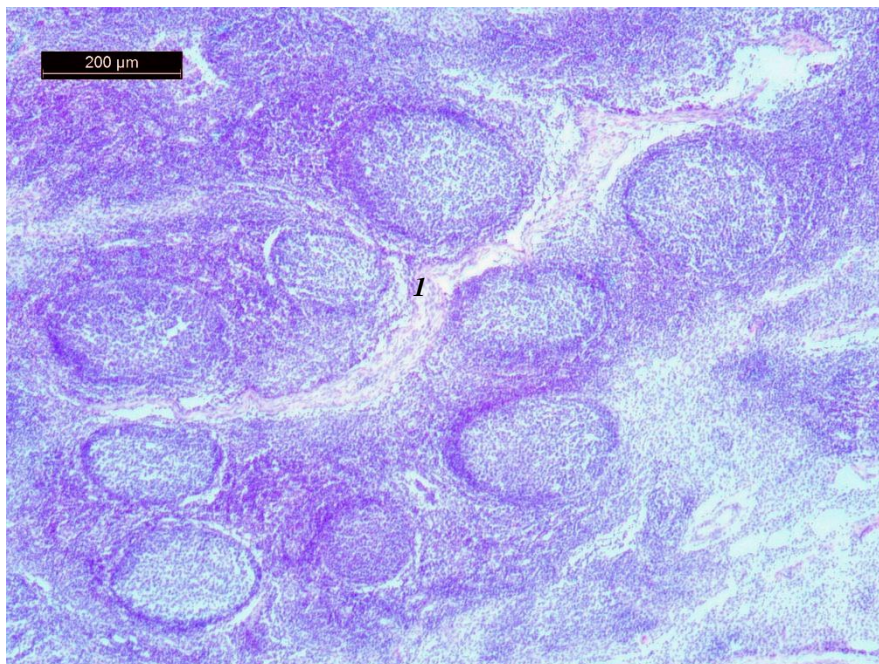


Рис. 9. Складка коры поверхностного шейного лимфатического узла свиньи домашней в месте расположения капсулярной трабекулы (1). Окраска гематоксилином и эозином.

Основания складок коры узлов в виде двух «ножек» расположены вдоль краевого синуса. В результате кора в каждой отдельной субъединице узлов свиньи имеет омегаподобный вид. Следствием выраженной складчатости паренхимы лимфатических узлов у свиньи домашней является увеличение площади коркового плато (интерфолликулярной зоны), которое располагается не только вдоль краевого, но и вдоль перитрабекулярных синусов в глубине складок коры. Глубокая кора в лимфатических узлах свиньи «концентрируется» ближе к вершинам складок, где формируются скопления ее единиц в виде гнезд (рис. 10). Отдельные единицы глубокой коры располагаются вдоль краевого синуса в один ряд.

Мозговое вещество в лимфатических узлах свиньи выражено относительно слабо. Оно расположено также в виде полуколец в глубоких участках паренхимы. Мозговые тяжи в лимфатических узлах свиньи тонкие и слаборазвитые, воротное утолщение капсулы не выражено. Участки мозгового вещества смежных субъединиц узлов анастомозируют друг с другом, образуя общие поля, являющиеся истоками эфферентных лимфатических сосудов. Лимфатические узелки в паренхиме лимфатических узлов свиньи расположены также мозаично, они формируются как на основе коркового плато, так и в паракортикальных тяжах на периферии единиц глубокой коры.

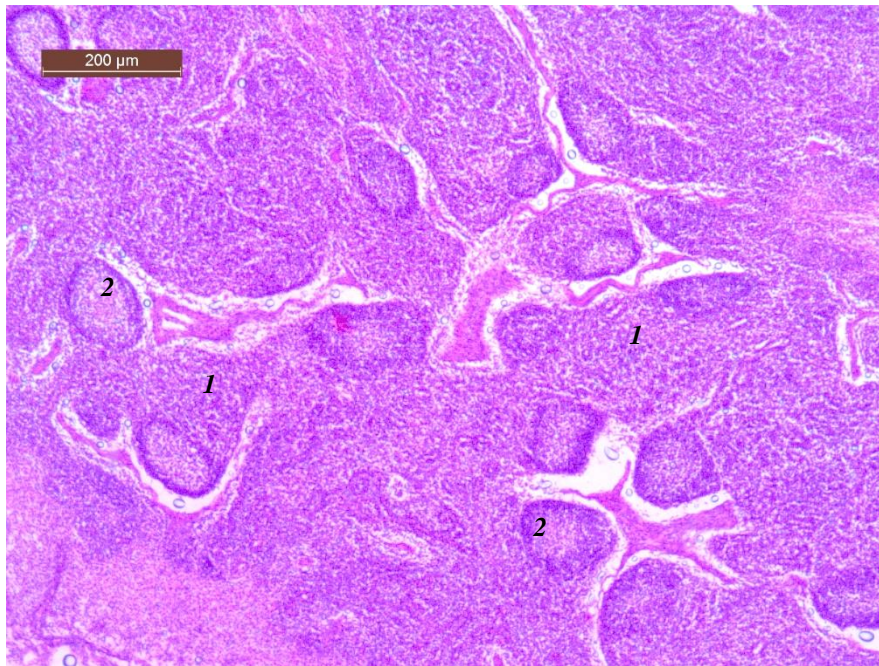


Рис. 10. Гнездообразные скопления единиц глубокой коры (1) и лимфатических узелков (2) на вершинах складок коры лимфатического узла тощей кишки свиньи домашней. Поперечный срез. Окраска гематоксилином и эозином.

Особенности гистоархитектоники паренхимы в лимфатических узлах быка и свиньи домашних, которые, как показывают наши исследования, в значительной степени определяются типом строения внутриузловых лимфатических коллекторов также отражаются и на характере локализации структурно-функциональных единиц лимфоидной ткани узлов лимфоидных долек или компартментов (Willard-Mack, 2006; Sainte-Marie, 2010).

Так, для компартментов лимфатических узлов быка домашнего, как и для коры данных органов в целом характерен более или менее выраженный линейный тип расположения. Основные структурные компоненты компартментов - единицы глубокой коры, как в соматических, так и в висцеральных лимфатических узлах быка располагаются в один ряд вдоль краевого синуса, формируя цепи различной длины. Отдельные единицы в пределах цепей развиты в разной степени. Наиболее крупные единицы могут формировать дополнительные боковые выпячивания, направленные внутрь паренхимы, в сторону мозговых тяжей.

У свиньи основы компартментов (единицы глубокой коры) расположены как вдоль краевого синуса, так и вдоль перитрабекулярных синусов (большая их часть), где они формируют вышеуказанные гнездообразные утолщения коры. Так же как и в лимфатических узлах быка единицы глубокой коры в узлах свиней в основном «выстроены» в один ряд, однако из-за выраженной складчатости на гистологических срезах глубокая кора узлов представлена многоуровневыми сфероподобными скоплениями ее единиц, что особенно выражено в случае неравномерного развития единиц в пределах одного «гнезда».

При морфометрическом количественном анализе динамики относительного объема отдельных структурных компонентов в паренхиме лимфатических узлов с различным типом строения внутриузловых лимфатических русел установлено, что в узлах обоих видов животных наиболее развитыми зонами являются центральные зоны единиц глубокой коры (табл. 1).

При этом как в соматических, так и в висцеральных лимфатических узлах свиньи совокупный относительный объем данных зон в среднем на 10% превышает соответствующий показатель в узлах быка.

Таблица 1. Относительный объем структурных компонентов (специализированных клеточных зон) в паренхиме лимфатических узлов быка (а) и свиньи (b) домашних (Vv, %, M±m, n = 12)

Лимфатический узел	Интерфолликулярная зона (корковое плато)	Единицы глубокой коры		Лимфатические узелки	Мозговые тяжи	
		Паракортикальные тяжи	Центральные зоны единиц глубокой коры			
Поверхностный шейный	a	6,0±0,41	4,0±0,46	26,75±0,85	5,0±0,41	27,25±0,75
	b	11,0±0,52***	3,0±0,20	37,0±0,62***	8,25±0,85*	20,0±0,41***
Тощей кишки	a	6,50±0,65	5,0±0,82	33,0±0,82	12,0±0,82	24,0±0,82
	b	10,0±0,20**	4,0±0,41	42,0±0,41***	14,0±0,22	17,25±0,85**

***p>0,999; **p>0,99; *p>0,95

Мозговые тяжи, в лимфатических узлах быка и свиньи домашних, по сравнению с предыдущей зоной, развиты несколько в меньшей степени. В отличие от центральных зон единиц глубокой коры, мозговые тяжи лучше развиты в лимфатических узлах быка, а их совокупный относительный объем на 7-8% больше, чем соответствующий показатель в узлах свиньи. Совокупный относительный объем лимфатических узелков в исследуемых лимфатических узлах варьирует от 5 до 14%. В целом данный показатель выше в лимфатических узлах свиньи, а среди узлов различных групп – в висцеральных.

Примерно в таких же пределах, что и совокупный относительный объем лимфатических узелков, варьирует и соответствующий показатель коркового плато (интерфолликулярных зон). При этом у свиней в результате выраженной складчатости рельефа коры лимфатических узлов объем коркового плато значительно больше, чем у быка, что особенно выражено в соматических лимфатических узлах. Совокупный относительный объем паракортикальных тяжей является минимальной морфометрической характеристикой паренхимы лимфатических узлов, как у свиньи, так и у быка домашних. В узлах обеих групп вышеуказанный показатель не превышает 3-5% (несколько больше в висцеральных лимфатических узлах обоих видов животных и лимфатических узлах быка в целом).

Таким образом, характер строения и локализации основного накопительно-распределительного звена (лимфатического коллектора) в лимфатических узлах млекопитающих в значительной степени влияет как на структуру внутриузловое лимфатическое русло, так и на гистоархитектонику лимфоидной паренхимы в целом, определяя их видовую специфику. Общие принципы расположения основных специализированных зон, при этом, в паренхиме узлов различных типов являются универсальными. Зоны клональной пролиферации Т- и В- лимфоцитов формируются в непосредственной близости от лимфатических коллекторов, а зоны аккумуляции плазматических и синтеза антител на противоположном полюсе в области ворот узлов.

Выводы

Внутриузловое лимфатическое русло в лимфатических узлах быка и свиньи домашних состоит из основных накопительно-распределительных структур (лимфатических коллекторов) двух различных типов и универсальной системы лимфатических щелей или синусов (перитрабекулярные, корковые промежуточные и мозговые синусы). Лимфатические коллекторы I типа представлены лимфатическими пространствами между капсулой и паренхимой узлов, в виде совокупности краевого и воротного синусов и обеспечивают односторонний поступательный ток лимфы в направлении ворот узлов. Лимфатические коллекторы II типа имеют вид лимфатических цистерн, расположенных в складках капсулы узлов (капсулярных трабекул), которые связаны, через систему интракапсулярных лимфатических каналов, одновременно с поверхностными и глубокими синусами паренхимы узлов, обеспечивая тотальный центростремительный характер внутриузловое лимфотока.

Гистоархитектоника паренхимы в лимфатических узлах млекопитающих непосредственно зависит от типа строения лимфатических коллекторов, их взаимоотношения и расположения относительно стромальных и паренхиматозных компонентов. В лимфатических узлах с лимфатическими коллекторами I типа (бык домашний) кора узлов имеет вид пологой дуги выгнутой в сторону устья афферентных лимфатических сосудов, которая характеризуется равномерным слоисто-дискретным строением. Наружный слой коры узлов быка домашнего представлен единым корковым плато (интерфолликулярная зона), а внутренний – цепью сферообразных единиц глубокой коры.

В лимфатических узлах с лимфатическими коллекторами II типа (свинья домашняя) кора узлов имеет характерную выраженную складчатость. Складки коры имеют вид сплюснутого с боков полукольца в центре которого располагается капсулярная трабекула с лимфатической цистерной, а их вершины направлены в сторону вдоль узлов со значительным увеличением ее толщины в области вершин складок из-за преимущественного развития единиц на вершинах складок глубокой коры, в данных участках паренхимы узлов формируются специфические гнездообразные структуры в виде скоплений единиц глубокой коры.

Лимфоидная паренхима в целом более развита в лимфатических узлах с лимфатическими коллекторами II типа. Среди специализированных клеточных зон паренхимы в узлах обеих типов наиболее развитыми являются зоны пролиферации Т-лимфоцитов (центральные зоны единиц глубокой коры) и зоны аккумуляции плазматических клеток и антителообразования (мозговые тяжи), первые из которых более развиты в узлах свиньи, а вторые – в узлах быка. Средние показатели совокупного относительного объема установлены в интерфолликулярной зоне (корковом плато) и зонах клональной пролиферации В-лимфоцитов (лимфатические узелки), обе из которых более развиты в лимфатических узлах свиньи. Минимальный и практически равнозначный относительный объем в узлах обеих групп имеют паракортикальные тяжи.

Принцип локализации в паренхиме лимфатических узлов лимфатических узелков практически не зависит от строения внутриузлового лимфатического русла. В лимфатических узлах с различными типами строения лимфатических коллекторов узелки имеют диффузный или мозаичный характер расположения и формируются как на основе коркового плато, так и в паракортикальных тяжах. Исключение составляют лимфатические узлы тощей кишки быка домашнего, где узелки также обнаруживаются в мозговых тяжах. Дальнейшие исследования особенностей структурно-функциональной организации паренхимы лимфатических узлов у млекопитающих с различными типами строения внутриузлового лимфатического русла будут направлены на исследование особенностей формирования ее зональной структуры в пре- и раннем постнатальном онтогенезе, а также принципов и закономерностей взаимосвязи гистоархитектоники лимфоидной ткани с характером структуры внутриорганного лимфатического и кровеносного микроциркуляторного русел.

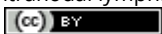
References

- Aherne, W.A., Dunnill, M.L. (1982). Morphometry. London. Arnold publishing Co.
- Ager, A. (2017). High endothelial venules and other blood vessels: Critical regulators of lymphoid organ development and function. *Frontiers in Immunology*, 8(3), 1–16. doi: 10.3389/fimmu.2017.00045
- Avtandilov, G.G. (1990). Meditsinskaya morfometriya [Medical morphometry]. Medicine, Moscow. (in Russian).
- Belisle, C., & Sainte-Marie, G. (1981). Tradimentional study of the deep cortex of the rat lymph node.III. Morphology of the deep cortex units. *The Anatomical Record*, 199(2), 213–226.
- Capece, T., Kim, M. (2016). The role of lymphatic niches in T cell differentiation. *Molecules and Cells*, 39(7), 515–523. doi: 10.14348/molcells.2016.0089
- Cave, A.J.E., Aumonier, F.J. (1962a). Elephant and rhinoceros lymph-node histology. *Journal R. Mikrosk*, 80, 209–214.
- Cave, A.J.E., Aumonier, F.J. (1962b). Lymph node structure in the sumatran rhinoceros. *Journal R. Mikrosk*, 81, 73–77.
- Chandrasekaran, S., King, M.R. (2014). Microenvironment of tumor-draining lymph Nodes: Opportunities for liposome-based targeted therapy. *International Journal of Molecular Sciences*, 15(11), 20209–20239. doi: 10.3390/ijms151120209
- De Bruyn, P.P., Cho, Y. (1990). Structure and function of high endothelial postcapillary venules in lymphocyte circulation. *Current Topics in Pathology*, 84(1), 85–101.
- Gavrilin, P.N. (1999). Modificatsiya sposoba impregnatsii serebrom po Futy gistotopogramm organov krovotvoreniya, izgotovlennyih na microtome-kriostate [Modification of the silver impregnation method according to Fut histotopograms of hemopoietic organs made on a microtome cryostat]. *Vestnik Morphologii*, 5(1), 106–108. (in Russian).
- Gavrilin, P.N. (2000). Osoblyvosti dynamiky masy limfoi'dnyh organiv u teljat neonatal'nogo imolochnogo periodiv [Features of the dynamics of the mass of lymphoid organs in neonatal and dairy calves]. *Agrarnyj Visny`k Prychornomor'ya*, 4(9), 24–29. (in Ukrainian).
- Gavrilin, P.N., Prokushenkova O.H., Masjuk D.N., Perepechaeva, N.H. (2013). Peculiarities of structural and functional organization of Domestic Bull's lymph nodes parenchyma (*Bos Primigenius Taurus L.*). *Naukovyj Visnyk Nycional'nogo Universytetu Bioresursiv i Pryrodokorystuvannja Ukrai'ny*, 188 (1), 92–101. (in Ukrainian).
- Gavrilin, P.N., Gavrilina, O.G., Kravtsova, M.V. (2017a). The compartments of the parenchyma of the lymph nodes in the newborn domestic bull (*Bos taurus*). *Regulatory mechanisms in biosystems*, 8 (2), 169–178. doi: 10.15421/021727
- Gavrilin, P.N., Gavrilina, O.G., Brygadyrenko, V.V., Rahmoun, D.E. (2017b). Structural and functional units of parenchyma of lymph nodes in the one humped camel (*Camelus dromedarius*). *Regulatory mechanisms in biosystems*, 8 (3), 323–332. doi:10.15421/021751
- Gavrilin, P.N., Masjuk M.O., Tishkina N.N. (2014). Osoblyvosti makroskopichnoi strukturi limfatichnih vuzliv svini sviyskoi [Features of macroscopic structure of lymph nodes of the pig of a domestic]. *Nauchno-tehnicheskij byuleten nauchno-issledovatel'skogo tsentra biobezopasnosti i ekologicheskogo kontrolya resursov APK*, 2(1), 32–37. (in Ukrainian).
- Gavrilin, P.N., Prokushenkova O.H., Masjuk D.N., Perepechaeva N.H. (2013). Peculiarities of structural and functional organization of Domestic Bull's lymph nodes parenchyma (*Bos Primigenius Taurus L.*). *Naukovyj Visnyk Nycional'nogo Universytetu Bioresursiv i Pryrodokorystuvannja Ukrai'ny*, 188 (1), 92–101. (in Ukrainian).
- Gretz, J.E., Anderson, C.C., Shaw, S. (1997). Cords, channels, corridors and conduits, critical architectural facilitating cell interactions in the lymph node cortex. *Immunological Reviews*, 156, 11–24. doi: 10.1111/j.1600-065X.1997.tb00955.x
- Hoshi, N., Hashimoto, Y., Kitagawa, H., Kon, Y., Kudo, N. (1986). Histological and immunohistochemical studies on the architecture of lymph nodes in pig. *Japan Journal Veterinary Science*, 48 (6), 1097–1107.
- Houston, S.A., Cerovic, V., Thomson, C., Brewer, J., Mowat, A.M., Milling, S. (2016). The lymph nodes draining the small intestine and colon are anatomically separate and immunologically distinct. *Mucosal Immunology*. 9(2), 468–478. doi: 10.1038/mi.2015.77

- Iwasaki, R., Mori, T., Ito, Y., Kawabe, M., Murakami, M., Maruo, K. (2016). Computed tomographic evaluation of presumptively normal canine sternal lymph nodes. *Journal of the American Animal Hospital Association*, 52(6), 371–377. doi: <http://dx.doi.org/10.5326/JAAHA-MS-6520>
- Ikomi, F., Kawai, Y., Ohhashi T. (2012). Recent advance in lymph dynamic analysis in lymphatics and lymph nodes. *Annals of Vascular Diseases*, 5 (3), 258–268. doi: 10.3400/avd.ra.12.00046
- Jia, L., Xie Z., Zheng J., Liu L., He Y., Liu F., He Y. (2012). Morphological studies of lymphatic labyrinths in the rat mesenteric lymph node. *The Anatomical record*, 295, 1291–1301. doi:10.1002/ar.22509
- Kaldjian, E. P., Gretz, J. E., Anderson, A. O., Shi, Y., Shaw, S. (2001). Spatial and molecular organization of lymph node T cell cortex: a labyrinthine cavity bounded by an epithelium-like monolayer of fibroblastic reticular cells anchored to basement membrane-like extracellular matrix. *International Immunology*, 13(10), 1243–1253. doi:10.1093/intimm/13.10.1243
- Konenkov, V.I., Shkyrat, G.A., Kolesnikov, A.P. (2008). Limfaticheksij uzal: morfofunkcional'naja karakteristika i mezhkletchnaja kooperacija [Lymph node: morphofunctional characteristic and intercellular cooperation.]. *Vestnik limfologii*, 4, 35–43. (in Russian).
- Krishtoforova, B.V., Prokushenkova, O.G. (2005). Osoblyvosti morfohenezu shlunkovykh limfatychnykh vuzliv porosyat [Features of morphogenesis of gastric lymph nodes of piglets]. *Naukovy visnyk L'vivs'koyi natsional'noyi akademiyi veterynarnoyi medytsyny im. S.Z. Hzyts'koho*, 7 (2), 87-91. (in Ukrainian).
- Prokushenkova, O.G. (2005). Immunnye strukturyi zheludka porosyat [Immune structures of the stomach of piglets]. *Visnyk Dnipropetrovs'koho derzhavnoho ahrarynoho universytetu*, 2 (1), 161-163. (in Russian).
- Moskov, M., Schiwatschewa, T., & Bonev, S. (1969). Vergleichshistologische Untersuchung der Lymphknoten der Sauger. Die Lymphknoten des dolphins. *Anat Anz*, 124, 49-67.
- Nicander, L., Nafstad, P., Landsverk, T., Engebretsen, R.H. (1991). A study of modified lymphatics in the deep cortex of ruminant lymph nodes. *Journal of Anatomy*, 178 (1991 Oct), 203–212.
- Ohtani, O., Ohtani, Y. (2008). Structure and function of rat lymph nodes. *Archives of Histology and Cytology*, 71(2), 69–76. doi: 10.1679/ahc.71.69
- Platt, A.M., Randolph, G.J. (2013). Dendritic cell migration through the lymphatic vasculature to lymph nodes. *Advances in Immunology*, 120, 51–68. doi: 10.1016/B978-0-12-417028-5.00002-8
- Rouse, R.V., Reichert, R.A., Gallatin, W.M., Weissman, I.L., Bucher, E.C. (1984). Localization of lymphocyte subpopulation in peripheral lymphoid organs: directed lymphocyte migration and segregation into specific microenvironments. *American Journal of Anatomy*, 170 (1984), 391–405. doi: 10.1002/aja.1001700313
- Ruddle, N.H. (2016). High endothelial venules and lymphatic vessels in tertiary lymphoid organs: Characteristics, functions, and regulation. *Frontiers in Immunology*, 9(7), 1-7. doi: 10.3389/fimmu.2016.00491
- Sainte-Marie, G. (2010). The Lymph node revisited: development, morphology, functioning, and role in triggering primary immune responses. *The Anatomical Record*, 293 (2), 32–37. doi: 10.1002/ar.21051
- Sapin, M.R. (2006). Osobennosti immunogo otveta pri razlichnykh vnechnich vozdeistviyah [Features of the immune response under various external influences]. *Morphology*, 129 (4), 109–110. (in Russian).
- Sapin, M.R., Borziak, E.I. (1982). Vneorgannyye puti transporta limfy [Extraorganic lymphatic transport pathways]. *Medicine, Moscow*. (in Russian).
- Sapin, M.R., Jurina, N.A., Etingen, L. (1978). Limfaticeskij uzal [Lymph node]. *Medicine, Moscow*. (in Russian).
- Sixt, M., Kanazawa, N., Selg, M., Samson, T., Roos, G. et al. (2005). The conduit system transports soluble antigens from the afferent lymph to resident dendritic cells in the T-cell area of the lymph node. *Immunity*, 22 (1), 19–29. doi:10.1016/j.immuni.2004.11.013
- Shipman, W.D., Dasoveanu, D.C., Lu, T.T. (2017). Tertiary lymphoid organs in systemic autoimmune diseases: pathogenic or protective? *F1000Res*, 28(6), 1-7. doi: 10.12688/f1000research.10595.1
- Vyrenkov, Y.E., Shishlo, V.K., Antropova, J.G., Ryzhova, A.V. (1995). Sovremennyye dannyye o strukturno-funkcional'noj organizatsii limfaticeskogo uzla [Modern data on the structural and functional organization of the lymph node]. *Morphology*, 103 (3), 34–40. (in Russian).
- Willard-Mack, C.L. (2006). Normal structure, function, and histology of lymph nodes. *Toxicologic Pathology*, 34(5), 409–424. doi: 10.1080/01926230600867727
- Zelenevsky, N.V. (2013). Mezhdunarodnaja veterinarnaja anatomicheskaja nomenklatura na latinskom i russkom jazykah. Nomina Anatomica Veterinaria [International veterinary anatomical nomenclature in Latin and Russian. Nomina Anatomica Veterinaria], Mir, Saint-Petersburg. (in Russian).

Citation:

Gavrilin, P.N., Gavrilina, E.G., Evert, V.V. (2017). Histoarchitectonics of the parenchyma of lymph nodes of mammals with different structure of intranodal lymphatic channel. *Ukrainian Journal of Ecology*, 7(3), 96–107.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0. License