

## АНАТОМО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛИМФОУЗЛОВ РАЗНОЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ В МОЛОДОМ ВОЗРАСТЕ

М.С. Федотова<sup>1</sup>, студент

Е.И. Джугашвили<sup>1</sup>, студент

А.Ю. Филиппова<sup>1</sup>, студент

И.Д. Левченко<sup>1</sup>, студент

А.С. Веремченко<sup>1</sup>, студент

С.А. Чечеткина<sup>1</sup>, студент

О.В. Горчакова<sup>2</sup>, канд. мед. наук, профессор РАЕ, научный сотрудник

<sup>1</sup>Новосибирский государственный университет

<sup>2</sup>Научно-исследовательский институт клинической и экспериментальной лимфологии – филиал Федерального исследовательского центра Института цитологии и генетики СО РАН  
(Россия, г. Новосибирск)

DOI:10.24412/2500-1000-2022-10-1-109-113

**Аннотация.** Цель исследования – изучение структурной организации лимфоузлов разной локализации у молодых животных. Показано, что в зависимости от локализации имеются особенности микроанатомической организации лимфоузлов. Для пахового лимфоузла характерно преобладание паракортикальной зоны при развитой синусной системе, для трахеобронхиального лимфоузла характерно преобладание В-зоны при минимальной площади синусов, а для брыжеечного лимфоузла характерно равномерное развитие Т- и В-зон при широкой синусной системе. С определенным морфотипом лимфоузла связана его функциональная специализация с преобладанием или дренажной (паховой), или иммунной (трахеобронхиальной), или в сочетании (брыжеечный) этих функций.

**Ключевые слова:** лимфатический регион, лимфоузлы, молодой возраст.

Среди органов и систем, участвующих в обеспечении гомеостаза внутренней среды, важная роль принадлежит периферическим лимфоидным органам, обеспечивающих защиту организма при действии факторов внешней среды [1, 2, 3]. Лимфоузлам отводится особое место в лимфатическом регионе из-за совмещения дренажа интерстиция и иммунной функции [4, 5, 6]. Единство лимфодренажа и иммунной функции нуждается в структурном обеспечении и определяется диапазоном адаптивных возможностей лимфоидной ткани, присущих молодому возрасту. Во многом адаптивные возможности зависят от размерности компартментов, где сосредоточены клетки лимфоидного ряда, без которых не обходится формирование иммунного ответа при внешних воздействиях. Появление концепции лимфатического региона заставила обратить внимание на структуру регионарных лимфоузлов. Структура лимфоузлов достаточно по-

дробно описана в литературе [1, 7], но не всегда связывается с возрастом и регионарной принадлежностью лимфоузлов к разным областям тела.

Цель исследования – изучение структурной организации лимфоузлов разной локализации у молодых животных.

**Материалы и методы.** Эксперимент на животных проведен в соответствии с принципами биоэтики, правилами лабораторной практики (GLP, European Communities Council Directives of 24 November 1986, 86/609/EEC), изложенных на Женевской конференции (1971), а также в документах «Об утверждении правил лабораторной практики», «О гуманном обращении с экспериментальными животными» (Минздрав СССР № 775 от 12.08.1977), «Международных рекомендациях по проведению медико-биологических исследований с использованием животных» (1985), руководство по лабораторным животным [8] и в соответствии с

приказом МЗ РФ № 267 от 19.06.2003. Выведение из опыта и болезненные манипуляции на животных выполняли под общим эфирным наркозом. Исследование одобрено этическим комитетом ФГБНУ «Научно-исследовательский институт клинической и экспериментальной лимфологии» (протокол № 126 от 30.11.2016).

Исследование проведено на 45 белых крысах самцах Wistar возрастом 3-5 месяцев. Данный возраст соотносится с юношеским возрастом человека, что определено при помощи коэффициента 1,7 [9]. Все животные в процессе работы имели свободный доступ к воде и получали стандартную диету. В качестве объекта исследования в работе были выбраны три группы лимфатических узлов: паховые, брыжеечные и трахеобронхиальные. Выбор данных топографических групп лимфатических узлов определен в соответствии с принципами экологической лимфологии [1, 7, 10] при использовании следующих методов.

Морфологический метод имеет в своей основе использование световой микроскопии, позволяющей сделать анализ и морфометрию структурно-функциональных зон лимфоузлов. В характеристике лимфоузлов придерживались определенного алгоритма исследования, соответствующего требованиям гистологического исследования [11, 12]. В эксперименте осуществляли забор лимфоузлов разной локализации, фиксировали в 10% нейтральном формалине и затем выполняли проводку и заливку биоматериала в парафин по классической схеме. После следовало приготовление гистологических срезов и их окраска гематоксилином и эозином, азуром и эозином, трихромным красителем по С. Masson. Исследование препаратов проводили при помощи микроскопов Leica DM 750, Микмед-2 со сканирующей приставкой ScanMicro, совмещенной с компьютером.

Статистическая обработка полученных результатов осуществляется с помощью программы Excel и StatPlus Pro, AnalystSoft Inc. Осуществлен расчёт средней арифметической с определением ее стандартной (среднеквадратической) ошибки.

Применен t-критерий Стьюдента для оценки уровня статистической значимости различий ( $p \leq 0,05$ ) при условии нормального распределения или близкому к нему. При сравнении разных лимфоузлов применили методический прием, заключающийся в стандартизации общей площади каждого лимфоузла, принимаемой за 100%, и исходя из этого проводили расчёт площади компартментов для сравнения.

**Результаты и обсуждение.** В зависимости от принадлежности лимфоузла определённому лимфатическому региону для них характерны общие признаки и различия в размерности компартментов и следовательно определённая функциональная специализация. Независимо от принадлежности лимфоузла к определённой топографической группе, он сформирован корковым веществом (включает межузелковую часть коры, паракортикальную область и лимфоидные узелки) и мозговым веществом (включает мозговые тяжи и мозговой лимфатический синус).

Корковое вещество молодых животных отличается долевым соотношением компартментов в зависимости от лимфатического региона при условии стандартизации их общей площади. Мозговое вещество в лимфоузлах молодых животных разной локализации весьма изменчива. В лимфоузлах молодых животных доля коркового (66,31-71,01%) и мозгового (28,8-33,58%) вещества примерно сопоставима в лимфоузлах различной локализации. Корково-мозговое соотношение (индекс К/М) прогрессивно увеличивается в ряду лимфоузлов: паховые ( $1,98 \pm 0,06$ ), трахеобронхиальные ( $2,34 \pm 0,05$ ), брыжеечные ( $2,47 \pm 0,04$ ). Величина индекса К/М свидетельствует о преобладании коркового вещества в структуре разных лимфоузлов, указывая на их компактный морфотип.

В лимфоузлах независимо от их принадлежности к разным топографическим регионам выделяют две основные функциональные зоны. Т-зона формируется межузелковой частью коры и паракортикальной областью. Тимус-зависимая зона (или Т-зона) определяет эффективность клеточного звена иммунного ответа. Т-зона в лимфоузлах молодых животных составля-

ет порядка 38,40-43,07% всего коркового вещества без значимого различия между лимфоузлами разных топографических групп. Доля межузелковой части коры увеличивается в ряду: паховый ( $6,20 \pm 0,47\%$ ), брыжеечный ( $12,53 \pm 0,50\%$ ), трахеобронхиальный ( $15,2 \pm 0,70\%$ ) лимфоузлы. Доля паракортикальной области практически одинакова в висцеральных лимфоузлах (брыжеечные и трахеобронхиальные лимфоузлы), ее доля составляет 25,93-27,6%, что в 1,4 раза меньше, чем в соматических лимфоузлах. В паховом лимфоузле на долю паракортикальной области приходится  $36,9 \pm 1,72\%$ .

Другая важная зона лимфоузлов – это тимус-независимая зона (или В-зона), ответственная за эффективность гуморального звена иммунитета. На долю В-зоны в лимфоузлах молодых животных приходится порядка 41,18-43,40% в паховом и трахеобронхиальном лимфоузлах, а в брыжеечном лимфоузле доля ее составляет порядка 32,97%. В-зона сформирована лимфоидными узелками и мозговыми тяжами. Лимфоидные узелки в составе лимфоузлов могут быть двух типов. Первый тип – это лимфоидные узелки без герминативного центра на долю которых приходится 5,99-6,76%, без значимого различия в лимфоузлах разных топографических групп. Второй тип – это лимфоидные узелки с герминативным центром, их доля возрастает в ряду лимфоузлов: паховое ( $8,32 \pm 0,43\%$ ), брыжеечные ( $9,21 \pm 0,27\%$ ), трахеобронхиальные ( $11,8 \pm 0,46\%$ ). Лимфоидные узелки с герминативным центром обуславливают активные пролиферативные процессы в лимфоузлах исследуемых групп молодых животных, которые наиболее выражены в трахеобронхиальных лимфоузлах. У молодых животных мозговые тяжи занимают разную площадь в лимфоузлах разной локализации: наибольшая – в паховом ( $26,87 \pm 1,65\%$ ) и трахеобронхиальном ( $25,56 \pm 0,86\%$ ), наименьшая – в брыжеечном ( $17,08 \pm 0,52\%$ ) лимфоузлах.

Важная роль в определении функционала лимфоузлов, принадлежащих различным лимфатическим регионам, принадлежит транспортной синусной системе лим-

фоузлов. У молодых животных доля, занимаемая синусной системой, зависит от исследуемых групп лимфоузлов и определяет степень их участия в выполнении дренажно-депонирующей функции. Наименьшая площадь синусной системы отмечена в трахеобронхиальном ( $4,38 \pm 0,32\%$ ), наибольшая – в брыжеечном ( $11,8 \pm 0,19\%$ ) и промежуточное значение – в паховом ( $6,71 \pm 0,62\%$ ) лимфоузлах. Такая организация лимфатических синусов указывает на высокий транспортный потенциал в лимфоузлах, принадлежащих соматическому и кишечному лимфатическому региону.

На основании проведенных исследований можно отметить структурные особенности лимфоузлов, принадлежащих к разным лимфатическим регионам (регионарная специфика). Так, трахеобронхиальный лимфоузел характеризуется большим размером межузелковой части коры, лимфоидных узелков с герминативным центром и маленькой площадью мозгового лимфатического синуса. Паховый лимфоузел имеет наибольший размер паракортикальной области, меньший размер площадей межузелковой части коры, лимфоидных узелков с герминативным центром и средний размер площади мозгового лимфатического синуса. Брыжеечный лимфоузел занимает промежуточное положение, судя по занимаемой площади межузелковой части коры и лимфоидными узелками с герминативным центром, и имеет наибольший размер мозгового лимфатического синуса.

Своеобразие лимфатических регионов, обусловленное дренируемыми органами и их особенностями контакта с внешней средой, отражается на деятельности лимфоузлов, демонстрируя их общие и регионарные признаки максимального развития морфофункционального статуса в молодом возрасте. Внутренняя конструкция лимфоузлов связана с их локализацией, что определяет их функциональную специализацию в зависимости от особенностей обслуживаемого лимфатического региона. Паховому лимфоузлу присуща в большей степени дренажная функций, трахеобронхиальному лимфоузлу – иммунная функ-

ция, в брыжеечном лимфоузле равномерно развита дренажная и иммунная функции, судя по развитию интраузловых компартментов.

Организационно разные лимфатические регионы представлены регионарным лимфатическим аппаратом и тканевым микро-районом его лимфосбора, где ведущая роль отводится лимфатическим узлам. Лимфатические узлы – это интегральные индикаторы для лимфатических регионов, отражающие происходящие процессы в дренируемых областях.

#### Выводы

Молодой возраст характеризуется высоким развитием периферических лимфоидных органов. Морфофункциональный статус лимфоузлов зависит от локализации, что позволяет определить морфоло-

гические варианты и функциональную специализацию лимфоузлов, принадлежащих разным лимфатическим регионам. Паховые лимфоузлы обеспечивают транспортно-депонирующую функцию, трахеобронхиальные лимфоузлы – иммунную функцию, а брыжеечные лимфоузлы – смешанную функцию, сочетающую транспортную и иммунную функции. Функциональная специфика обусловлена доминированием определенных компартментов и синусной системы в структуре лимфоузла, определяя его морфотип. Полученные данные вносят существенный вклад в понимание концепции лимфатического региона, демонстрируя принцип регионарной доминанты в формировании структурной организации лимфоузлов.

Таблица 1. Площадь структур лимфоузлов разной локализации у молодых животных, %

Структуры	Паховый лимфоузел	Брыжеечный лимфоузел	Трахеобронхиальный лимфоузел
Капсула	5,99±0,46	9,25±0,14 <sup>#</sup>	4,78±0,24**
Субкапсулярный синус	2,94±0,18	7,39±0,11 <sup>#</sup>	4,45±0,19 <sup>#</sup>
Межузелковая часть коры	6,20±0,47	12,5±0,30 <sup>#</sup>	15,2±0,70 <sup>#</sup>
Паракортикальная область	36,8±1,72	25,9±1,08 <sup>#</sup>	27,6±1,82 <sup>##</sup>
Лимфоидный узелок без герминативного центра	5,99±0,31	6,76±0,19**	6,04±0,16*
Лимфоидный узелок с герминативным центром	8,32±0,43	9,21±0,27*	11,8±0,46 <sup>#</sup>
Мозговые тяжи	26,8±1,65	17,0±0,52 <sup>#</sup>	22,5±0,86**
Мозговой лимфатический синус	6,71±0,62	11,8±0,19 <sup>#</sup>	4,38±0,32 <sup>##</sup>

$P > 0,05^*$ ;  $P < 0,001^{\#}$ ;  $P < 0,05^{**}$ ;  $P < 0,01^{##}$

#### Библиографический список

1. Бородин, Ю.И. Лимфатическая система и старение // *Фундаментальные исследования*, 2011. – № 5. – С. 11-15.
2. Chang, J.E. Stromal infrastructure of the lymph node and coordination of immunity / J.E. Chang, S.J. Turley // *Trends Immunol.* – 2015. – V. 36. – P. 30-39.
3. Immune senescence: significance of the stromal microenvironment / A.R. Masters, L. Haynes, D.-M. Sir, D.B. Palmer // *British Society for Immunology, Clinical and Experimental Immunology*, 2016. – DOI: 10.1111/cei.12851.
4. Петренко, В.М. Лимфатическая и лимфоидная системы: определение // *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион*, 2009. – № 4 (12). – С. 12-19.
5. Петренко, В.М. Лимфоидные или кроветворные органы? // *Успехи современного естествознания*. – 2011. – №1 – С. 142-143.
6. Петренко, В.М. Морфогенез периваскулярных лимфоидных узелков // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. – 2011. – Вып. 3. – С. 17-21.

7. Бородин, Ю.И. Эффекты лимфокоррекции и лимфопротекции при термическом ожоге кожи / Ю.И. Бородин, Н.П. Бгатова // Тезисы IV съезда лимфологов России. – М.: Проспект, 2011. – С. 12-13.
8. Каркищенко, Н.Н. Лабораторные животные (положение и руководство). – М.: Межкадаемическое изд-во «ВПК», 2003. – 138 с.
9. Гелашвили, О.А. Вариант периодизации биологически сходных стадий онтогенеза человека и крысы // Саратовский научно-медиц. журнал. – 2008. – Т. 4. – № 22. – С. 125-126.
10. Бородин Ю.И., Горчакова О.В., Суховершин А.В., Горчаков В.Н. и др. Концепция лимфатического региона в профилактической лимфологии. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2018. – 74 p.
11. Белянин, В.Л. Диагностика реактивных гиперплазий лимфатических узлов / В.Л. Белянин, Д.Э. Цыплаков. – Санкт-Петербург-Казань: Типография издательства «Чувашия», 1999. – 328 с.
12. Cottier, H. Предложения по стандартизации описания гистологии лимфатического узла человека в связи с иммунологической функцией / H. Cottier, J. Turk, L. Sobin // Бюлл. ВОЗ. – 1973. – С. 372-377.

#### ANATOMICAL AND FUNCTIONAL CHARACTERISTICS OF LYMPH NODES OF DIFFERENT LOCALIZATION AT A YOUNG AGE

**M.S. Fedotova<sup>1</sup>**, Student

**E.I. Dzhugashvili<sup>1</sup>**, Student

**A.Y. Filippova<sup>1</sup>**, Student

**I.D. Levchenko<sup>1</sup>**, Student

**A.S. Veremenko<sup>1</sup>**, Student

**S.A. Chechetkina<sup>1</sup>**, Student

**O.V. Gorchakova<sup>2</sup>**, Candidate of Medical Sciences, RAE Professor, Researcher

<sup>1</sup>Novosibirsk State University

<sup>2</sup>Research Institute of Clinical and Experimental Lymphology – branch of the Federal Research Center of the Institute of Cytology and Genetics SB RAS (Russia, Novosibirsk)

**Abstract.** *The aim of the study is to study the structural organization of lymph nodes of different localization in young animals. It is shown that, depending on the localization, there are features of the microanatomic organization of lymph nodes. The inguinal lymph node is characterized by the predominance of the paracortical zone with a developed sinus system, the tracheobronchial lymph node is characterized by the predominance of the B-zone with a minimum area of sinuses, and the mesenteric lymph node is characterized by the uniform development of T- and B-zones with a wide sinus system. A certain morphotype of the lymph node is associated with its functional specialization with the predominance of either drainage (inguinal), or immune (tracheobronchial), or in combination (mesenteric) of these functions.*

**Keywords:** *lymphatic region, lymph nodes, young age.*