

КОНСТИТУЦИЯ ЛИМФАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Валерий Михайлович ПЕТРЕНКО

194021, Санкт-Петербург, ул. Карбышева, 6-2-65

Лимфатическая система состоит из сегментов двух уровней организации – генеральных, или периартериальных, и специальных, или собственных, межклапанных. Сегменты организуют все реакции системы на воздействия окружения, включая толчки лимфотока.

Ключевые слова: лимфатическая система, сегмент, клапан, артерия.

В литературе накоплено множество данных о строении лимфатической системы у человека и млекопитающих животных, включая ее видовые, возрастные, региональные, органные и локальные особенности [1–11]. Предложено немало концепций об устройстве лимфатической системы и разных ее частей, моделей их функционирования: лимфатические сердца L. Ranvier, лимфангионы или клапанные сегменты как функциональные единицы лимфатического сосуда E. Horstmann – H. Mislin, нервно-сосудистые фрагменты тела и функциональные сегменты лимфатических узлов Б.В. Огнева, лимфатические регионы Ю.И. Бородин и др. [1, 2, 4, 7]. Они с разных сторон характеризуют организацию лимфатической системы и процессов, в которых эта система участвует. Однако, с моей точки зрения, еще только предстоит создать всеобъемлющую и общепринятую концепцию организации лимфатической системы [7–10].

Цель: показать общее в строении всех звеньев лимфатического русла независимо от их региональной и органной принадлежности, чтобы установить принцип общего устройства лимфатической системы у человека и млекопитающих животных.

Основные направления исследований анатомии лимфатической системы – топографическое и функциональное. Конечно, такое разделение условно. Так, в XVII веке G. Asellius переоткрыл лимфатические сосуды около артерий брыжейки тонкой кишки – топографически, по их молочной окраске, т. е. по особой функции. Всегда можно найти элементы функциональной морфологии в топографо-анатомических концепциях и элементы топологии в морфофункциональных концепциях, примеры: 1)

периартериальное размещение лимфатического русла как следствие сомитного устройства эмбриона (рост артерий к сомитам детерминирует положение первичных лимфатических сосудов); 2) размещение клапанов на протяжении грудного протока коррелирует с его топографией.

Топографо-генетические особенности лимфатического русла. Лимфатические сосуды и узлы обычно находятся около аорты и ее ветвей, полых вен, других экстраорганных кровеносных сосудов [3, 11]. И это неудивительно: первичные вены всегда сопровождают артерии эмбриона, часть его первичных вен выключается из кровотока с образованием первичных лимфатических сосудов, в их просвет у плодов инвагинируют кровеносные сосуды с закладкой лимфоузлов [6]. Б.В. Огнев предложил классифицировать лимфоузлы с учетом фрагментарного принципа строения нервной и сосудистой систем, который он пытался обосновывать с позиций эмбриогенеза: фрагмент – это органы, кровоснабжаемые одной ветвью аорты и имеющие общие по происхождению участки нервной, венозной и лимфатической систем (рис. 1). Я объясняю такие корреляции следующим образом. Артерии – сосуды с более высоким кровяным давлением и более толстыми, плотными стенками, они: 1) доминируют во взаимодействиях с венами и лимфатическим руслом, контактом (фрагментирование эмбриональных и массаж дефинитивных сосудов) и дистантном (через капилляры и тканевые каналы); 2) более устойчивы к давлению окружающих органов и как стержень сохраняют стабильность сосудистых пучков [6–8].

Ю.И. Бородин предложил выделять лимфатический регион – лимфатические сосуды с их

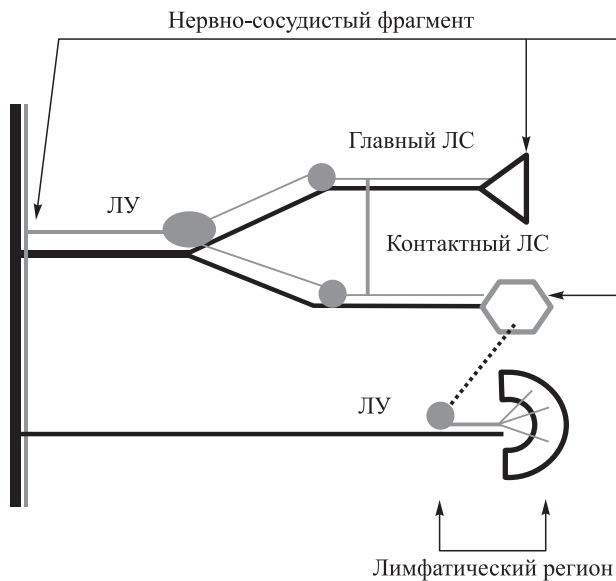


Рис. 1. Генеральные сегменты лимфатической системы (схема): ЛС, ЛУ – лимфатические сосуды и узлы; черные полосы – аорта и ее ветви, серые линии – лимфатическое русло. Генеральные сегменты лимфатической системы на разных уровнях ветвления аорты подобны нервно-сосудистым фрагментам Б.В. Огнева (региональные сегменты как часть фрагментов) и лимфатическим регионам Ю.И. Бородина (органные сегменты)

истоками в данном органе или органах, которые заканчиваются в одном регионарном лимфоузле. Б.В. Огнев высказал тезис о функциональной сегментарности лимфатического узла: для каждого из приносящих лимфатических сосудов и, следовательно, для каждого участка лимфосбора данного лимфоузла существует собственный участок распространения жидкости в паренхиме узла. Анатомической предпосылкой данного феномена считается разделение вещества лимфатического узла трабекулами вплоть до полного разобщения на два дочерних органа [2]. Без этого происходит смешение лимфы из разных лимфатических сосудов и сегментов лимфоузла. С. Belisle и G. Sainte-Marie выделили функциональную единицу глубокой коры в лимфоузле – Т-домен. 1–4 Т-домена концентрируются вокруг приносящих лимфатических сосудов узла. J.J. Oord рассматривал вторичный лимфоидный узелок с прилегающей Т-территорией глубокой коры лимфатического узла как сложный узелок – функциональная единица коркового вещества узла. И.Т. Гегин и А.И. Краюшкин описали такую структурно-функциональную единицу лимфоузла: Т-домен, прилегающие к нему лимфоидные узелки, мозговые тяжи и аф-

ферентные лимфатические сосуды. Ю.Е. Выренков с соавторами назвали структурную единицу лимфатического узла компартментом – Т-домен и прилегающие 1–6 лимфоидных узелков, «приуроченные» к одному приносящему лимфатическому сосуду. По моим данным [8], вещество лимфоузла разделяется на доли, сегменты (доля может быть моносегментарной), зоны и субзоны. Их жесткая связь с лимфатическими сосудами отсутствует, хотя порой обнаруживается «приуроченность» отдельных афферентных лимфатических сосудов к долям и даже 1–3 сегментам лимфоузла, а последних – к эфферентным лимфатическим сосудам.

Я решил подойти к вопросу о сегментарном строении лимфатического узла с другой стороны: 1) узел устроен с момента закладки как комплекс кровеносных и лимфатических сосудов, между которыми образуется лимфоидная ткань; 2) по форме и строению узел напоминает такой паренхиматозный орган, как почка. В ее воротах почечная артерия разделяется на полярные и центральные артерии, они входят в почечные столбы. Роль почечных столбов, разделяющих паренхиму почки на доли, в узле выполняют хиларные трабекулы. Они бывают сквозными, хиларно-капсулярными. Длинные и толстые в узлах фрагментарного типа, они разделяют вещество узла на доли разных размеров, вплоть до полного разобщения глубокими щелями. В трабекулах проходят артерии, отдающие ветви в вещество узла. Их сопровождают вены, а трабекулы – промежуточные синусы. На границе мозгового и коркового вещества почки ее междольковые артерии образуют дугообразные артерии почки. Их ветви, междольковые артерии идут в дольки коркового вещества. Подобное начало имеют межсегментарные артерии лимфатического узла, проходящие между Т-доменами. В почке выделяют также ее сегменты на базе сосудисто-экскреторных пучков, они включают интраорганные сосуды и почечные каналы. Наиболее выражено соответствие между артериями и почечными чашками. Лимфоидная ткань лимфоузла окружает разветвления хиларных артерий, а сама окружена лимфатическими синусами – краевым и воротным (вся паренхима), промежуточными (части паренхимы – лимфоидные узелки, Т-домены и мозговые тяжи). По строению и топографии лимфатические сосуды наиболее переменные, тогда как артерии – наиболее стабильные сосуды. Кровеносные сосуды как пути рециркуляции лимфоцитов являются системообразующим фактором для иммунных органов. Поэтому лимфоузлы, как лимфоидные

сегменты лимфатического русла, следует «привязывать» к артериям, а не к лимфатическим сосудам, в отличие от нодальных лимфангионов (краевой синус с капсулой между входными и выходными клапанами узла). Промежуточные синусы объединяют лимфоидный и лимфатический сегменты лимфоузла. Лимфоузел – это локальная деформация (изгиб с сильным расширением) лимфатического пути. Она образуется под давлением боковой ветви смежной артерии и окружающей ее лимфоидной ткани: структурно – это нарост, лимфоидная плакода, функционально – это биофильтр, лимфоидная насадка. Стенки экстраорганных лимфатических сосудов всегда содержат питающие ветви артерии. Если они обрастают лимфоидной тканью, то такой участок лимфатического сосуда деформируется и может преобразоваться в лимфоузел, как это происходит у плодов человека. У белой крысы я нашел пристеночный лимфоузел, его воротный синус открывался прямо в крупный подвздошный лимфатический сосуд.

Дефинитивные сосуды возникают из первичной сосудистой сети эмбриона, которая дифференцируется (локальная магистрализация отдельных сосудов и редукция смежных участков сети) по градиенту кровяного давления сначала на артерии (с опережающими утолщением и усложнением строения стенок) и первичные вены с эндотелиальными стенками, между ними сохраняется сеть протокапилляров (без базальной мембраны). Позднее появляются вторичные вены, кровеносные капилляры (с базальной мембраной) и лимфатическое русло. Дефинитивное микроциркуляторное русло, как и сосудистое русло органов у эмбриона, имеет сетевидную ангиоархитектонику, сравнительно тонкие и слабо дифференцированные стенки. В. Zweifach [1, 5] предлагал 2 модели функциональной единицы микроциркуляторного русла: 1) главный канал в сети кровеносных капилляров, между метартериолой и посткапиллярной венулой; 2) дискретный модуль в виде терминальной артериолы и собирательной венулы с сетью капилляров между ними. В.В. Куприянов [1, 5] считал ангион структурной единицей микроциркуляторного русла – артериоло-венулярная петля с истинными капиллярами внутри петли. По моим данным [9], самые крупные, магистральные артериолы и венулы, их ветви и притоки разделяют брыжейку тонкой кишки на микрорайоны микроциркуляторного русла. Обычно от контура такого микрорайона отходят терминальные артериолы. Артериолы сопровождаются венулами, возможно их раздельное прохождение. В микрорайо-

нах постоянно встречаются дискретные модули В. Zweifach. В их составе прекапилляры распадаются на сети кровеносных капилляров, из них выходят посткапиллярные венулы – это метаболические блоки микроциркуляторного русла [1]. В составе его микрорайона обнаружены разные анастомозы артериол и венул, центральные каналы, венулярные сплетения. А вот кольцевые модули типа ангиона В.В. Куприянова встречаются редко. В состав контурных пучков микрорайона входят лимфатические сосуды I порядка. Они лежат чаще всего сбоку от магистральных венулы и артериолы, а лимфатические капилляры – кнаружи от клубков кровеносных капилляров, между метаболическими блоками, затем соединяются в лимфатические посткапилляры, которые направляются к контурному пучку микрорайона, чаще – вдоль собирательных венул. Сходным образом устроено лимфатическое русло и в органах с многослойной конструкцией. Таким образом, все лимфатическое русло, начиная с его корней, занимает коллатеральное положение относительно кровеносных сосудов. В дефинитивном микроциркуляторном русле лимфатические сосуды чаще всего сопровождают венулы, как и в закладке лимфатического русла у эмбриона, тогда как за пределами органов крупные лимфатические стволы и протоки больше и чаще ориентированы на аорту и ее ветви.

Морфогенетическая складчатая адаптация лимфатического русла – образование его клапанов: периодические «сшибки» противотоков лимфы вызывают повторяющиеся локальные лимфодинамические удары и перерастяжения стенки русла, в результате чего возникают и увеличиваются остаточные деформации стенки в виде ее окружных складок [7]. Клапаны ограничивают обратный лимфоток и тем самым предотвращают разрушительные лимфодинамические удары. Еще в XIX веке А. Haller наблюдал ритмические сокращения сегментов брыжечных лимфатических сосудов между соседними клапанами и высказал предположение, что такие сегменты представляют собой лимфатические насосы. Тогда же L. Ranvier описал лимфатические сердца у млекопитающих. Согласно Е. Horstmann (1951) и Н. Mislin (1961) – это клапанные сегменты или лимфангионы, функциональные единицы лимфатического сосуда: дистально расположенный клапан ограничивает обратный лимфоток, более проксимальная мышечная манжетка поддерживает прямой лимфоток.

Я считаю, что лимфангионы – это межклапанные сегменты лимфатического сосуда [7],

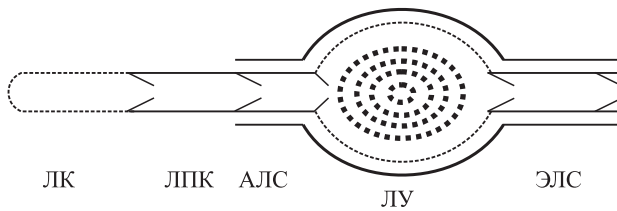


Рис. 2. Лимфатическое русло как цепь межклапанных сегментов с прогрессивно усложняющейся конструкцией стенок (схема): ЛК – лимфатический капилляр с эндотелиальными стенками, пунктирная линия символизирует подвижные межклеточные контакты, они функционируют как миниклапаны на входе в безмышечный межклапанный квазисегмент; ЛПК – лимфатический посткапилляр, в котором появляются типичные, интралюминарные клапаны (безмышечный межклапанный сегмент); АЛС, ЭЛС – афферентный и эфферентный лимфатические сосуды, жирные линии символизируют мышечный слой в их стенках (мышечные межклапанные сегменты или лимфангионы); ЛУ – лимфатический узел как нодальный или лимфоидный лимфангион, стенки которого содержат лимфоидную ткань

поскольку лимфангионы функционируют только при участии обоих пограничных клапанов (Webb R., 1932; и др.), как и нагнетательный насос в технике. Более того, лимфатическое русло имеет сегментарное строение на всем своем протяжении.

Клапаны разделяют лимфатическое русло на межклапанные сегменты с разным строением: в лимфатических посткапиллярах – безмышечные межклапанные сегменты, которые организуют пассивный лимфоотток из сети лимфатических капилляров; в лимфатических сосудах – мышечные межклапанные сегменты или лимфангионы, которые при дефиците энергии экстравазальных факторов способны сами сокращаться и активно продвигать лимфу к венам; в лимфатическом узле – нодальный, или лимфоидный лимфангион, регулирующий не только объемную скорость лимфотока, но и состав лимфы.

Все межклапанные сегменты лимфатического русла имеют общее строение: между входным и выходным клапанами находится бесклапанная часть сегмента, но с разной конструкцией. Стенка лимфатического посткапилляра состоит из эндотелия и (часто) соединительной ткани. Стенка лимфатического сосуда включает еще и гладкие миоциты, стенка лимфоузла – лимфоидную ткань. Пограничный клапан входит в состав обоих смежных межклапанных сегментов (стенка лимфатического русла непрерывна). Створки закрытого клапана разделяют их полости на автономные компартменты. Их расши-

рение при наполнении индуцирует пассивное сокращение межклапанного сегмента (давление окружающих тканей – наружной манжетки), а растяжение стенок – активное (мышечной манжетки лимфангиона). Сегментарный принцип построения распространяется на сеть лимфатических капилляров. Подвижные межклеточные контакты эндотелия работают как клапаны на входе в полость лимфатического капилляра: они выравнивают переменный ток жидкости между тканевыми каналами и лимфатическим капилляром, регулируя таким образом фильтрацию тканевой жидкости в полость капилляра (лимфообразование).

Лимфатическую систему можно представить как цепь межклапанных сегментов. Их строение прогрессивно усложняется в ортоградном направлении (рис. 2): к эндотелию лимфатического капилляра присоединяются его складки (клапаны) и адвентиция в стенках лимфатического посткапилляра, мышечные элементы – в стенках лимфатического сосуда, лимфоидная ткань – в стенках лимфатического узла. Эта иерархия в строении дефинитивной лимфатической системы рекапитулирует основные этапы развития данной системы в связи с органогенезом (ростом функциональной нагрузки) в эволюции и онтогенезе позвоночных. Так, грудной проток человека: 1) имеет эндотелиальные стенки у эмбрионов 7–8 недель, с конца 8-й недели – первые клапаны с короткими створками; 2) у плодов 3-го месяца приобретает тонкую адвентициальную оболочку и несколько клапанов с длинными створками, перекрывающими просвет при их смыкании; 3) с конца 3-го – начала 4-го месяца становится непарным, одновременно начинается разделение его утолщающейся стенки на дефинитивные слои с включением гладких миоцитов [6].

Лимфатический узел является частью непрерывного лимфатического пути: стенки и полость афферентного лимфатического сосуда переходят в капсулу и синусы узла, которые продолжают в стенки и полость эфферентного лимфатического сосуда. Их мышечные слои взаимосвязаны. Лимфатический узел – это один из лимфангионов в сети экстраорганного лимфатического русла: по строению и функции капсула узла – это мышечная манжетка нодального лимфангиона, в соединительную ткань которой внедряются лимфоциты [8]. И в эволюции позвоночных, и в онтогенезе человека и млекопитающих животных лимфоузлы образуются последними среди всех звеньев лимфатического русла, на основе лимфатических сосудов, но

при участии артерий и вен, инвагинирующих в просвет лимфатического сосуда. Затем возникает лимфоидная паренхима узла: макрофаги и лимфоциты из кровеносных микрососудов инвагинации мигрируют в ее межсосудистую соединительную ткань – стромальный зачаток лимфоузла. Массовая закладка лимфоузлов происходит у плодов человека 3-го месяца, когда все экстраорганные лимфатические сосуды имеют клапаны [6].

Классификация сегментов лимфатической системы. Сегментарная организация лимфатического русла определяется как строением его стенок (клапанами), так и топографией (ветвящейся артерией). Поэтому все сегменты лимфатической системы я разделил на 2 группы (рис. 3): 1) генеральные (общие для лимфатического и кровеносного русла), или системные; 2) специальные (собственные для лимфатического русла), или локальные. Генеральные, периартериальные сегменты можно также разделить на 2 группы: 1) центральные, парааортальные; 2) периферические, субаортальные, в том числе 2а) региональные, или топографо-анатомические, являются частью нервно-сосудистых фрагментов Б.В. Огнева; 2б) органические, анатомические, или субнодальные, соответствуют лимфатическим регионам Ю.И. Бородин; 2в) микроорганические, или микроанатомические (периартериоларные – лимфатические сосуды I порядка с их истоками в микрорайонах микроциркуляторного русла); 2г) корневые, или первичные (субартериоларные – лимфатические посткапилляры с их истоками в модулях микроциркуляторного русла). Специальные сегменты лимфатической системы я разделяю на безмышечные и мышечные (лимфангионы) межклапанные сегменты, лимфангионы – на сосудистые и нодальные (лимфоидные). Строение собственных сегментов лимфатической системы усложняется ортоградно: 1) на уровне тканей в органах (т.е. в местах лимфообразования) определяются корневые генеральные сегменты, которые состоят из безмышечных межклапанных сегментов; 2) на выходе из оболочек органов (на удалении от *vis a tergo*) возникают лимфангионы; 3) на уровне региональных генеральных сегментов (вне дренируемых органов) сосудистые лимфангионы дополняются и чередуются с нодальными лимфангионами. Собственные сегменты лимфатической системы соединяются с другими компонентами ее генеральных сегментов и корпоральных нервно-сосудистых фрагментов посредством соединительной ткани. В стенках лимфатического русла можно выделить

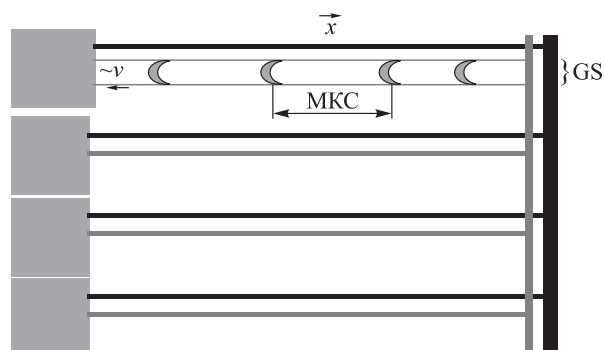


Рис. 3. Физические основы сегментарного морфогенеза лимфатического русла (схема): серые квадраты – сомиты; серые линии – лимфатические сосуды и их стенки; черные линии – артерии; МКС – межклапанный (специальный) сегмент; $\sim v$ – колебания (скорости) лимфотока в связи с функциональной активностью (в том числе с колебаниями продукции тканевой жидкости) сомита и его производных, клапаны находятся на пути обратного лимфотока; GS – генеральный сегмент; x – место собственного сегмента лимфатического русла относительно главной (сегментарной) артерии генерального сегмента, направление (роста) которой детерминирует топографию и состояние лимфатического русла генерального сегмента. Морфогенез лимфатического русла определяется формулой работы ($A = 1/2 mv^2 + 1/2 kx^2$) системы развития генерального сегмента как производной кинетической и потенциальной энергий системы

собственный сегментарный аппарат (межклапанные сегменты) и надсегментарный аппарат двухсторонних связей с тканями, окружающими русло. К первому из них относятся внутренние слои стенки лимфатического русла: в капиллярах и посткапиллярах – эндотелий, в сосудах и узлах – интима и медиа. Межклапанные сегменты окружены их общим футляром адвентиции. В его состав у сосудов и узлов могут входить субадвентициальный мышечный слой средней и мышечный слой наружной оболочек. Их преимущественно (косо)продольные пучки гладких миоцитов без перерыва и значительного отклонения проходят над клапанами и соединяют мышечные манжетки соседних лимфангионов в единую мышечную полосу – структурная основа их совместных сокращений. В поверхностные слои адвентиции лимфатического русла вплетаются пучки соединительнотканых волокон периадвентиции. Она объединяет стенки лимфатического русла с окружающими тканями и органами – механические приводы наружной манжетки экстралимфатического (тканевого) насоса.

Заключение. Таким образом, конституция или общее устройство лимфатической системы, определяющее ее реакции на все воздействия окружения, в том числе на толчки лимфотока, состоит в сегментарном строении всех частей и звеньев системы. Организация лимфатической системы включает складчатую конструкцию стенок лимфатического русла, обусловленную колебаниями лимфотока, и квазисегментарную связь с артериями. Топографо-анатомическая периартериальная сегментация лимфатического русла является следствием сегментарного устройства эмбриона (сомиты, другие органы – корпоральные нервно-сосудистые фрагменты) и отражает внешние связи русла с окружением – источником всех экстравазальных факторов лимфотока. Функциональная межклапанная сегментация лимфатического русла возникает у плода и соответствует импульсному лимфообразованию в органах и парциальному лимфооттоку из органов, что обусловлено циклическим характером жизнедеятельности клеток и тканей. В условиях дефицита собственной энергии лимфотока межклапанные сегменты лимфатического русла во всем разнообразии организуют базовое, пассивное и дополнительно активное продвижение лимфы от органов к венам. Строение и режим функционирования межклапанных сегментов определяются их топографией: на каждом уровне генеральной сегментации, ветвления главной артерии системного сегмента лимфатическое русло подразделяется на собственные межклапанные сегменты с разной конструкцией стенок. Она адекватна колебаниям функциональной активности окружения: метаболической – у дренируемых органов (лимфообразование ~ поршень тканевого насоса), механической – у смежных, прилегающих органов (~ наружная манжетка тканевого насоса). Лимфоузлы являются одновременно лимфатическими (транспорт) и лимфоидными (фильтр) сегментами лимфатической системы: 1) как звено лимфатического русла – это специальный лимфангион с лимфоидной насадкой (лимфоидный вариант собственных сегментов лимфатической системы); 2) как иммунный орган – это лимфоидный участок генерального сегмента лимфатической системы, начиная с лимфатического региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бородин Ю.И., Сатин М.Р., Этинген Л.Е. и др. Общая анатомия лимфатической системы. Новосибирск, 1990. 243 с.
2. Бородин Ю.И., Сатин М.Р., Этинген Л.Е. и др. Функциональная анатомия лимфатического узла. Новосибирск, 1992. 257 с.
3. Жданов Д.А. Общая анатомия и физиология лимфатической системы. Л., 1952. 336 с.
4. Коненков В.И., Бородин Ю.И., Любарский М.С. Лимфология. Новосибирск, 2012. 1104 с.
5. Куприянов В.В., Бородин Ю.И., Караганов Я.Л., Выренков Ю.Е. Микролимфология. М., 1983. 288 с.
6. Петренко В.М. Эволюция и онтогенез лимфатической системы. Второе издание. СПб., 2003. 336 с.
7. Петренко В.М. Функциональная морфология лимфатических сосудов. СПб., 2008. 400 с.
8. Петренко В.М. Структурные основы активного лимфотока в лимфатическом узле // Актуальные проблемы современной морфологии. СПб., 2008. 24–90.
9. Петренко В.М. Структурная основа активного лимфотока в лимфатическом узле // Актуальные проблемы современной морфологии. СПб., 2008. 24–90.
10. Петренко В.М. Ангиоархитектоника микроциркуляторного русла // Журн. теоретич. и практич. медици. 2010. (8). 177–178.
11. Петренко В.М. Ангиоархитектоника микроциркуляторного русла // Журн. теоретич. и практич. медици. 2010. (8). 177–178.
12. Петренко В.М. Лимфатическая система: определение // Успехи соврем. естествознания. 2011. (3). 23–27.
13. Петренко В.М. Лимфатическая система: определение // Успехи соврем. естествознания. 2011. (3). 23–27.
14. Сатин М.Р., Борзяк Э.И. Внеорганные пути транспорта лимфы. М., 1982. 264 с.
15. Сатин М.Р., Борзяк Э.И. Extraorgan paths of lymph transport. М., 1982. 264 p.

CONSTITUTION OF LYMPHATIC SYSTEM

Valeriy Michaylovich Petrenko

194021, Sankt-Peterburg, Karbyshev str., 6-2-65

Lymphatic system consists of segments of two levels of organization – general, or periarterial, and special or native, intervalvular. The segments organize all the system responses to the environment influences including impact of lymph flow.

Key words: lymphatic system, segment, valve, artery.

Petrenko V.M. – doctor medical sciences, professor, e-mail: deptanatomy@hotmail.com