

УДК 611.4

<https://doi.org/10.33619/2414-2948/45/04>

## ЛИМФАТИЧЕСКАЯ И ЛИМФОИДНАЯ СИСТЕМЫ В МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ

©Петренко Е. В., канд. мед. наук, Национальный государственный университет физической культуры, спорта и здоровья им. П.Ф. Лесгафта, г. Санкт-Петербург, Россия, [deptanatomy@hotmail.com](mailto:deptanatomy@hotmail.com)

## LYMPHATIC AND LYMPHOID SYSTEMS IN THE MICROCIRCULATION

©Petrenko E., Ph.D., Lesgaft National State University of Physical Education, Sport and Health, St. Petersburg, Russia, [deptanatomy@hotmail.com](mailto:deptanatomy@hotmail.com)

*Аннотация.* Лимфатическая и лимфоидная системы участвуют вместе в организации микроциркуляции. Сетевидная конструкция микроциркуляторного русла обеспечивает его высокую пластичность, формирование периферических лимфоидных образований. Скелет микроциркуляторного русла образуют артериолы и вены. Вдоль них, их ветвей (притоков) (сателлитные) и помимо от них (абберантные) проходят лимфатические микрососуды, в т. ч. мышечного типа, состоящие из лимфангионов. Мышечная система каждого лимфангиона подразделяется на части в составе непрерывной мышечной сети лимфатического сосуда с локальными особенностями строения. Эта единая, высоко дифференцированная мышечная система местами функционирует как детрузор лимфангиона, местами (область клапана) — как триггер, переключатель форм сократительной активности лимфатического сосуда на границе между соседними лимфангионами.

*Abstract.* Lymphatic and lymphoid systems participate together in the organization of microcirculation. The reticular structure of the microcirculatory bed ensures its high plasticity, the formation of peripheral lymphoid formations. The skeleton of the microcirculatory bed is formed by arterioles and venules. Along them, their branches (tributaries) (satellite) and in addition to them (aberrant) are lymphatic microvessels, including muscle type, consisting of lymphangions. The muscular system of each lymphangion is divided into parts as part of the continuous muscular network of the lymphatic vessel with local structural features. This single, highly differentiated muscular system sometimes functions as a detruser of lymphangion, sometimes (valve area) — as a trigger, switch forms of contractile activity of the lymph vessel on the border between adjacent lymphangions.

*Ключевые слова:* микроциркуляция, лимфатическая система, лимфоидная система.

*Keywords:* microcirculation, lymphatic system, lymphoid system.

### Введение

В последние десятилетия представления о лимфатической системе и ее значении для индивида, организации его иммунитета кардинально преобразились, приобрели качественно новый вид [1–9]. В середине минувшего столетия появился и закрепился в официальной науке новый термин — «лимфоидная система». Он стал вытеснять несколькими веками доминировавший термин «лимфатическая система». Проблеме взаимоотношения этих двух понятий, их определению и их роли в организации иммунитета В. М. Петренко посвятил серию работ в разных изданиях [10–16], включая монографии [17–18]. Особый интерес

представляет монография [18], в которой обсуждаемая проблема рассматривается на уровне морфологических основ сопряжения указанных систем, на уровне микроциркуляции. Изложены разные представления о ее структурных основах и собственные данные автора по проблеме с учетом известных научных трудов [18–24]. Сетевидная конструкция микроциркуляторного русла (МЦР) служит идеальной морфологической основой для организации коллатерального кровотока [18]. Этот тезис имеет генетический аспект. В эмбриогенезе из первоначально единой сети (прото)капилляров постепенно развиваются аорта и другие магистральные кровеносные сосуды. Вначале они расширяются, а затем, особенно вены, приобретают очень тонкую адвентициальную оболочку, которая дифференцируется на дефинитивные оболочки. На весьма ранней стадии развития, когда самые крупные кровеносные магистрали только приобретают первичную адвентицию, часть первичных вен и их коллатералей выключается из кровотока. Так возникают лимфатические мешки и первичные лимфатические сосуды (ЛС) с тонкими эндотелиальными стенками. На их основе и при участии кровеносных сосудов формируются закладки лимфатических узлов (ЛУ). Сходные преобразования можно обнаружить и в МЦР на разных этапах постнатального онтогенеза человека. В том числе в случаях адаптации и регенерации. Поэтому сетевидное устройство микроциркуляции имеет особое значение и о об этом следует помнить при чтении книги [18].

#### *Общая характеристика микроциркуляторного русла*

Число и строение, сочетания звеньев МЦР непостоянны и разнообразны [18]. Крупные ветви и притоки магистральных микрососудов идут пучками и разделяют брыжеечные сегменты МЦР на микрорайоны, модули, метаболические блоки. Сеть магистральных артериол и венул местами растягивается и разрывается, что приводит к разным деформациям микрорайонов и модулей, но без полной элиминации микрососудов в «бессосудистых» зонах брыжейки. Собираательные венулы, их корни могут быть окружены лимфоидными узелками. В. М. Петренко выделил в МЦР две постоянные сети:

1) наружная, контурная сеть образована пучками магистральных артериол и венул, их крупных ветвей и притоков, ЛС I порядка и плотным слоем окружающей их соединительной ткани;

2) внутренняя, метаболическая или микрососудисто-волоконная сеть (МСВС) образована кровеносными и лимфатическими капиллярами (ЛК), к ним прилежат тонкие пучки соединительнотканых волокон. Элементы промежуточной части МЦР имеют вид балок (как арматура в железобетоне), отходящих от жесткого контура микрорайонов и поддерживающих пластичную метаболическую сеть. Скелет микроциркуляции («капсулы» микрорайонов МЦР) представлен кольцами наиболее плотной соединительной ткани вокруг магистральных микрососудов, от которых отходят «трабекулы» с промежуточными микрососудами. «Трабекулы» разветвляются, истончаются и рассыпаются на рыхлую соединительную ткань в «паренхиме» микрорайонов МЦР — ячейки МСВС. Скелет микрорайона МЦР, помимо опорной функции, может выполнять регуляторную функцию — играть роль наружной манжетки для метаболических микрососудов и тканевых каналов: ограничивать «растекание» тканевой жидкости (из ячеек МСВС) и выдавливать ее из тканевых каналов, направляя в метаболические микрососуды с разной проницаемостью стенок. ЛК лишены базальной мембраны, в их эндотелий вплетаются стропные филаменты, идущие от окружающих коллагеновых волокон, т.е. из стенок тканевых каналов. В результате тканевые каналы через межэндотелиальные промежутки могут сообщаться с полостью ЛК. Подвижные межэндотелиальные контакты регулируют движение тканевой жидкости как

внутристеночные микроклапаны, ограничивая ее обратный ток в интерстиций. Стропные филаменты связаны с наружной створкой микроклапана, удерживая ее от пролабирования в полость ЛК, при скоплении избыточной тканевой жидкости (увеличении тканевого давления) внутренняя створка микроклапана отодвигается внутрь полости, таким образом открывается межэндотелиальный контакт. Кроме того, стропные филаменты, оттягивая (удерживая) стенку ЛК, препятствуют его коллапсу при наводнении аморфного вещества соединительной ткани, что также является необходимым условием оттока (фильтрации) избыточной тканевой жидкости в полость ЛК (лимфообразования). Микроциркуляция, а кровоток в наибольшей мере (по градиенту давлений), оказывает моделирующее влияние на фиброархитектонику стромы микрорайона МЦР, вплоть до включения организуемой соединительной ткани в состав сосудистой стенки.

По мнению В. М. Петренко, сетевидная ангиоархитектоника МЦР как сложной системы параллельных, разветвленных и анастомозирующих микрососудов отражает ее устройство по типу гидравлического редуктора с демпферным эффектом в регуляции кровотока. Обратный ветвлению (дисперсии) процесс магистральной сосудов наблюдается в экстраорганическом русле по мере приближения к аорте, в связи с ростом кровяного давления.

В. М. Петренко описал физиологию развития сосудистого русла по нарастающему градиенту давлений в связи с ростом органов и гистогенезом, путем усложнения конструкции звеньев первичного русла, их трансформации в отделы сосудистой системы и усложнения строения их звеньев:

- 1) капилляры → прекапилляры → артериолы → артерии;
- 2) протокапиллярная сеть → капиллярная сеть;
- 3) капилляры → посткапиллярные, собирательные, мышечные венулы → вены [18].

Интенсивные трансмуральные токи метаболитов оказывают «размывающее» влияние на эндотелий и подлежащую рыхлую соединительную ткань, расклинивающее действие на межклеточные контакты и межмолекулярные связи, что тормозит морфогенез пучков коллагеновых волокон и стимулирует рост, новообразование (прото)капилляров. Диффузия быстро угасает в толще сосудистой стенки (закон Фика), сохраняется механическая составляющая гидравлического давления на стенку, которая реализуется в дифференциации коллагеновых и эластических волокон, миоцитов. В. М. Петренко рассматривает метаболические токи как индукторы роста микрососудов, гемодинамические факторы — как модуляторы морфогенеза (микро)сосудов.

В развитии сосудистого русла по градиенту давлений В. М. Петренко выделил ряд закономерностей. В линейной модели сосудистого русла его стенки утолщаются и, благодаря, в первую очередь, их гладким миоцитам и нервным структурам, регулируют кровоток на протяжении цепи последовательно взаимосвязанных сосудов. ЛПК определяются на территории микрорайонов МЦР, между их контурными микрососудами и микрососудами метаболических блоков. ЛПК имеют переменное строение и топографию, адекватные происхождению (из коллатералей эмбриональных вен), их функции (дополнительного дренажа органов) и давлению в полости, которое снижается в ряду (артериола → венула → ЛС/ЛПК).

В. М. Петренко [18] описал закольцовывание микрососудов в развитии сосудистых сетей. В брыжейки они постоянно определяются на I (блоковом) и III (микрорайонном) уровнях структурной организации МЦР — метаболические сети капилляров и контурные сети магистральных артериол и венул. На II (модульном) уровне кольцевание часто охватывает собирательные венулы с образованием венулярных сетей (сплетений), что

способствует выполнению ими депонирующей функции. И далее В. М. Петренко рассматривает локальные, органные и прочие варианты кольцевания микрососудов.

Результаты многочисленных исследований строения МЦР в условиях возрастной нормы, эксперимента и при патологии, проведенных разными авторами, показывают, что развитие МЦР носит реактивный характер, зависит как от функциональной активности кровоснабжаемого органа, так и от состояния самого МЦР, особенно его дренажных звеньев с их более тонкими и пластичными стенками. Значительно варьируют в составе МЦР вены, их анастомозы и сплетения как по числу, так и по конфигурации. Именно на них прежде всего ориентированы лимфатические и лимфоидные компоненты МЦР. Артериолы с их более толстыми, плотными стенками более стабильны. Функциональные (обратимые, ультраструктурные) и морфологические (необратимые, структурные) переходы в строении МЦР происходят под влиянием переменных и постоянных нагрузок разного характера. Сосуды возникают в ходе развития органов при достижении определенного уровня интенсивности их роста и интенсивности их метаболизма, дифференциации эмбриона и всей системы его развития (значительных расстояний между их частями) [18].

В. М. Петренко [18] рассматривает проблему структурной организации дистантного транспорта веществ в многоклеточном организме. В основе жизнедеятельности животных лежит циркуляция жидкостей разного состава. Ее организуют белки и их комплексы. Они образуют скелет межклеточных пространств, неклеточные стенки тканевых каналов. Эндотелиоциты составляют клеточные барьеры между тканевой жидкостью и кровью. По мере увеличения давления крови эндотелий уплотняется и утолщается. Его окружает рыхлая соединительная ткань, которая постепенно уплотняется и входит в состав сосудистой стенки, дифференцирующейся на разножесткие слои: тонкий субэндотелиальный слой остается рыхлым, поскольку продолжает испытывать размывающее действие диффузионных токов полостной жидкости. Скорость диффузии быстро падает в сосудистой стенке и ее наружные слои продолжают увеличиваться в толщине и плотности. Последними дифференцируются гладкие миоциты: средняя (мышечная) оболочка ограничивает относительное смещение разножестких внутренней и наружной оболочек (сдвиговую деформацию) сосудистой стенки при ее растяжении под давлением крови. Сети соединительнотканых волокон разного вида пронизывают все тело животного, разделяя внутреннее пространство между пограничными тканями (эпителиями, мезотелиями, эндотелиями) на полиморфные компартменты: в петлях неоднородных сетей, кроме фибробластов, находятся гладкие миоциты, тучные и другие клетки. Их физиологическая активность определяет состав межклеточных жидкостей и скорость их циркуляции в организме по интегральному градиенту давлений (онкотического, осмотического, гидростатического, механического), который возникает по градиенту физиологической активности клеток, тканей, органов. Таким образом, изменяется степень натяжения соединительнотканых волокон, в том числе в толще и на протяжении сосудистых стенок, и возникает избыток тканевой жидкости, который фильтруется в просвет ЛК (образование лимфы — первичная лимфодвижущая сила как поршень тканевого насоса в корнях лимфатического русла). Таким образом нарастает механическое давление наружной манжетки тканевого насоса (тургор перивазальных тканей, воздействие сокращающихся мышц) на стенки ЛК, ЛПК и ЛС. Если энергия тканевого насоса (экстравазальных факторов) оказывается недостаточной для организации пассивного лимфооттока из органов, то включаются механизмы сократительной активности ЛС: накапливающаяся в их полостях лимфа вызывает растяжение их стенок и деформацию цитолемм гладкомышечных клеток, что индуцирует их сокращение. Итак, циркуляция веществ происходит по межклеточным пространствам, которые оформляются в тканевые каналы и, наконец, продолжают в сосуды

разного типа. Особым этапом в такой многоуровневой циркуляции оказывается гемотканевой метаболизм. Переход веществ из микрососуда через эндотелий в тканевые каналы и обратно происходит на территории микрорайонов МЦР. Их конфигурация определяется строением васкуляризуемых участков. Наиболее простые они в брыжейке: между двумя пластами мезотелиев находится пластинка рыхлой соединительной ткани, пронизанная сетью микрососудов. Полный орган можно представить как свернутую в трубку пластину с более сложным строением, чем у брыжейки: его стенка разделена мышечными пластинками/слоями на слои и оболочки с разным строением, что приводит к морфогенезу многослойного МЦР с усложнением общей конструкции интраорганный сосудистого русла в результате наложения МЦР наружных слоев на транспортные сосуды, идущие из внутренних слоев стенки органа. Разрастание железистого эпителия, образование складок, ворсинок, крипт, ацинусов и долек приводят к адекватной деформации МЦР. ЛПК «подвешены» на тонких пучках соединительнотканых волокон и кровеносных капилляров петель МСВС с разными формой и строением. Их могут дублировать (петли) ЛПК. В петли МСВС входят ветви прекапилляров, из них выходят посткапиллярные венулы (блоки метаболических микрососудов в составе «функционального модуля» МЦР). Внутри петель находится густая сеть более тонких соединительнотканых волокон и тканевых каналов, объединяющих кровеносные и лимфатические микрососуды как «функциональные анастомозы»: соединительнотканые волокна и гидрофильное аморфное вещество как наружная манжетка ограничивают расширение тканевых каналов и направляют потоки разных веществ в микрососуды с разной проницаемостью стенок.

#### *Лимфатические и лимфоидные компоненты микроциркуляторного русла*

Анатомия лимфоМЦР изучались разными исследователями, но представленные ими данные и суждения нередко противоречивы. В. М. Петренко [18] провел серию исследований с целью описать принципы организации МЦР. Первый ЛПК может идти самостоятельно, около собирательной венулы или в составе ее пучка с терминальной артериолой. ЛПК переходят в ЛС около крупных артериол и (мышечных) венул, но возможно и раньше. ЛС проходят на периферии контурных пучков микрорайона МЦР, по обе стороны от мышечных венул, могут смещаться в промежутки между ними и магистральной артериолой или отклоняться в сторону от контурного пучка и пересекать территорию микрорайона. ЛПК «подвешены» на тонких пучках соединительнотканых волокон и кровеносных капилляров в петлях МСВС. Эти петли могут дублироваться, но чаще окружены петлями ЛК. ЛПК I порядка входят в состав МСВС или служат продолжением одиночных ЛК, расположенных около или на уровне, сбоку от посткапиллярной венулы на разном удалении, среди кровеносных капилляров и снаружи от полиморфных участков их сети. Топография ЛПК коррелирует со строением микрорайонов и модулей МЦР, особенно изменчива в открытых модулях, при слиянии сетей капилляров соседних модулей, диссоциации пучков модульных микрососудов. В. М. Петренко разделяет ЛПК по топографии и строению на: 1) сетевые (метаболические или надблоковые), с очень тонкой адвентицией или без нее, они, вероятно, резорбируют тканевой белок, и 2) надсетевые, межмодульные или транспортные, в т.ч. сателлитные, идущие вдоль терминальных артериол и собирательных венул, абберрантные, идущие самостоятельно, комбинированные (сателлитный и абберрантный отрезки).

Адвентициальная оболочка утолщается и уплотняется на протяжении ЛПК, уменьшая проницаемость его стенок. Сателлитный ЛС идет в составе контурного пучка микрорайона МЦР с возможным изменением положения. Абберрантный ЛС уклоняется от контурного пучка. Надсетевой ЛПК начинается на уровне начала прекапиллярной артериолы, ее

сближения с собирательной венулой и может лежать на всем или части своего протяжения рядом с собирательной венулой и терминальной артериолой или пересекать их пучок по своему ходу или по направлению. Стенка ЛПК очень тонкая, особенно в его начале, вблизи от метаболических блоков: адвентициальную оболочку ЛПК обнаружить на срезе не удастся, ядра эндотелиоцитов располагаются на значительном удалении друг от друга, клетки соединяются очень тонкими цитоплазматическими отростками. По мере приближения к контурному пучку микрорайона МЦР просвет ЛПК расширяется, стенка утолщается. Причем все описания ЛПК В. М. Петренко сопровождается информативными микрофотографиями. Очень тонкие створки клапана в ЛПК имеют чаще не ровные, как в ЛС, а извитые контуры, порой вид гроздевидных разрастаний эндотелия, как это описывают в ЛС рептилий.

Лимфоотток из органов человека и млекопитающих животных носит сегментарный характер, поскольку множественные клапаны разделяют ЛС на межклапанные сегменты или лимфангионы. В ЛК типичные (расположенные в просвете) клапаны отсутствуют. Однако подвижные межэндотелиальные контакты в стенках лимфатического русла рассматриваются как микроклапаны [18]. Корневая часть лимфатического русла разделена на лимфатические сегменты, «вырезаемые» артериолами и венулами. Они «вложены» в кровеносную часть модуля МЦР и пассивно функционируют по интегральному градиенту онкотического и гидростатического давлений, возникающему в процессе взаимодействия микрососудов и окружающих тканей. Ведущую роль в их микросистеме играют кровеносные сосуды, в которых давление выше, чем в лимфатических. Лимфатическая часть модуля устроена как сложный межклапанный сегмент. Его выходные клапаны относятся к ЛПК, но необязательно являются их первыми клапанами — ЛК могут служить и корнями, и притоками ЛПК. Роль входных клапанов корневого, первичного сегмента лимфатического русла играют, по-видимому, подвижные межклеточные контакты эндотелиоцитов, которые открываются при функционировании дренируемых тканей, увеличении давления в интерстициальных каналах. Тонкие цитоплазматические отростки эндотелиоцитов образуют стыковые соединения или накладываются друг на друга, регулируют поступление интерстициальной жидкости в ЛК (фильтрацию лимфы). Стропные филаменты субэндотелиального слоя препятствуют выворачиванию створок таких клапанов в полость капилляров. Эндотелий ЛПК утолщается, приобретает прерывистую базальную мембрану, которая ограничивает фильтрацию лимфы в просвет ЛПК. В ЛС базальная мембрана эндотелия становится сплошной, дифференцируется мышечная оболочка. Лимфатическая часть модуля МЦР лишена миоцитов, ее клапаны регулируют отведение избыточной межклеточной жидкости, возникающей в процессе функционирования дренируемого органа (периферическое лимфатическое сердце): чем выше функциональная активность органа, тем интенсивнее лимфообразование, больше подпор лимфы в сетях ЛК («поршень» насоса) и давление на ЛК со стороны окружающих тканей (наружная «манжетка»). ЛПК используют такую энергию для организации пассивного транспорта лимфы из корневых сегментов лимфатического русла (модулей). Межклапанные сегменты ЛПК располагают только внешней (юкстамуральной) манжеткой, которую в ЛС дополняет интрамуральная мышечная манжетка лимфангионов, организующая вместе с клапанами активный транспорт лимфы. В. М. Петренко рассматривает корневую часть лимфатического русла (сеть ЛК) как систему сложных (многоклапанных) межклапанных сегментов. Они осуществляют организацию парциального лимфооттока в ЛС в условиях медленного, импульсного лимфообразования, низкого и переменного давления в полостях лимфатического русла, которое имеет сегментарное строение. В отличие от межклапанных сегментов (лимфангионов) ЛС и ЛУ, корневые межклапанные сегменты не только лишены собственных, внутривеночных миоцитов, но дистально ограничены внутривеночными

клапанами — межэндотелиальными контактами. Их положение и строение адекватны их функции, направлению регулируемых потоков жидкости: они разделяют полости ЛК и интерстициальные каналы перивазальных тканей (внесосудистые и сосудистые компартменты — трансмуральные токи жидкости), а типичные клапаны — полость лимфатического русла на внутрисосудистые компартменты.

Движение жидкостей (растворов) в организме происходит от аморфного межклеточного вещества вокруг тканевого канала (ТК — протеогликановый контур) к плазме лимфы и крови в микрососудах (эндотелиальный контур) и обратно благодаря колебаниям двухфазной системы [гель ↔ золь] студнеобразного основного вещества рыхлых соединительных тканей. ТК окружены лимфатическими и кровеносными микрососудами, «погружены» в сети соединительнотканых волокон (мягкий скелет циркуляционной системы). ТК организуют локальный транспорт веществ между клетками путем локальной циркуляции (диффузии) тканевой жидкости. Сосуды осуществляют дистантный транспорт веществ, межорганный транспорт жидкости в виде кровотока. Но между ТК и сосудами существует клеточный барьер — эндотелий, который может быть окружен дополнительными оболочками. Состав и подвижность тканевой жидкости, лимфы и крови неодинаковы, как и их микроокружение. Вот такими представляются В.М.Петренко реальные морфологические основы виртуальной циркуляции жидкостей в живом политканевом организме, причем с преобразованием их состава и агрегатного состояния на разных этапах и уровнях их циркуляции с адекватными структурными изменениями ее путей. Круговая циркуляция жидкостей между клетками происходит на тканевом (транспорт по ТК) и сосудистом (транспорт в кровеносной системе) уровнях. В органах происходит сопряжение кругов циркуляции межклеточных жидкостей — в метаболических блоках МЦР (прекапилляр → капилляры → посткапилляры), главным образом капилляров и ТК. Если приток в метаболические блоки совершается на одном, артериальном уровне, дренажный отдел циркуляционной системы разделяется на два уровня — венозный и его коллатеральный лимфатический, т.е. с параллельными звеньями венозного и лимфатического русла, не всегда сателлитными и нередко сопрягающимися, например, в ЛУ. ТК служат общими истоками специализированных дренажей органов и объединяют их в функциональные анастомозы. В низших многоклеточных организмах, не имеющих сосудов, происходит прямая, более простая циркуляция межклеточной жидкости. В. М. Петренко [18] представил такую упрощенную схему строения циркуляционной системы животных с целью показать многоэтапность и многообразие форм движения жидкостей между их клетками. Кровь и лимфа, как и рыхлая соединительная ткань, не есть собственно внутренняя среда организма. И все же это ткани внутренней среды. Они, их клетки, организуют движение жидкостей внутренней среды по сосудам. Вне сосудов эти жидкости могут перемещаться по так называемым прелимфатикам М. Földi и G. Casley-Smith, тканевым каналам или межклеточным щелям без эндотелиальной выстилки, где их движение организуют также клетки, точнее — межклеточный квазиколлоид в флюктуирующей системе [гель ↔ золь].

В своих исследованиях В. М. Петренко изучил лимфоидную составляющую МЦР [18], в том числе периваскулярные лимфоидные узелки (ПВЛУ) и их морфогенез, представив информативные иллюстрации. В скопление лимфоидной ткани ПВЛУ погружено сплетение микрососудов, в т.ч. микроЛС, связанное с окружающим сосудистым руслом. Лимфоидные образования могут быть в разном количестве рассеяны по всему микрорайону МЦР, чаще окружают собирательную венулу разного диаметра, первичную или вторичную, ее корни и притоки, включая посткапиллярные венулы. В. М. Петренко сделал такие выводы:

1) ПВЛУ служит продуктом кооперации лимфатической и лимфоидной систем на их периферии: по тканевым каналам, ЛК с тонкими эндотелиальными стенками без базальной

мембраны или синусам ЛУ поступают антигены, из посткапиллярных венул – клетки крови. При длительной антигенной стимуляции вокруг венул формируются скопления лимфоцитов, они сгущаются с образованием ПВЛУ.

2) Когда венула сильно искривляется в виде дуги, она распадается на посткапиллярные венулы. Они с ветвями терминальной артериолы формируют сосудистые клубочки, часто содержащие лимфоциты, вплоть до формирования ПВЛУ. Посткапиллярные венулы являются источником лимфоцитов, в ПВЛУ они могут размножаться при антигенной стимуляции. Морфогенез ПВЛУ есть результат повышения функциональной нагрузки на МЦР и его адекватной перестройки. Сильные искривления венул способствуют торможению оттока крови и выходу ее клеток в окружающую соединительную ткань с последующим ее преобразованием в лимфоидную.

3) ПВЛУ может рассматриваться как: 3.1) предшественник ЛУ на путях лимфооттока из дренируемого органа, в составе микрорайона МЦР, в связи с микрососудами, 3.2) гомолог лимфоидной закладки ЛУ на начальных этапах онтогенеза человека и млекопитающих животных и 3.3) возможная компенсация ЛУ, причем неполная, при его экстирпации или блокаде в дефинитивном состоянии, но вряд ли возможно полное восстановление ЛУ, как и другого дефинитивного органа человека и животных.

#### *Приложения в книге и их научно-теоретическое значение*

Важное место в книге [18] занимают приложения: 1) множество схем устройства лимфатической системы, гемоМЦР и сердечно-сосудистой системы в целом с краткими комментариями; 2) два научных очерка по актуальным вопросам функциональной морфологии лимфатической системы.

Название первого из этих очерков — *детрузорная мышечная система лимфангиона*. Система едина, но условно подразделяется на части — мышечная манжетка, мышца клапана, мышцы в латеральных стенках клапанных и аксиального синусов. Они входят в состав непрерывной мышечной сети ЛС с локальными особенностями строения. В мышечной сети лимфангиона есть разные по направлению и протяженности пучки гладких миоцитов:

1) циркулярные или (косо)поперечные пучки — постоянные, сосредоточены в средней оболочке, особенно мышечной манжетки;

2) (косо)продольные пучки — непостоянные, разной протяженности и локализации, преобладают в интимае, особенно в клапанной части (клапанные и комиссуральные пучки, могут смещаться в среднюю оболочку мышечной манжетки), и в адвентиции (наружной оболочке) и субадвентиции (поверхностный слой средней оболочки), где проходят надклапанные пучки, которые напрямую соединяют мышечные манжетки соседних лимфангионов.

Трансклапанные (косо)продольные пучки миоцитов встречаются в интимае крупных ЛС. Вместе с циркулярными пучками миоцитов (косо)продольные пучки составляют единую мышечную систему лимфангиона детрузорного типа — мышцу, изгоняющую лимфу из сокращающегося лимфангиона. Комиссуральные и клапанные пучки миоцитов укорачивают лимфангион (или препятствуют компенсаторному удлинению сужающегося лимфангиона при сокращении циркулярных пучков), удерживают клапаны около сокращающейся мышечной манжетки лимфангиона и координируют их движения, повышают устойчивость клапанов в их противодействии давлению лимфотока. В этом качестве мышца клапана и ее мышечные связи с мышечной манжеткой лимфангиона (трансклапанная мышечная система) играют роль напрягателя клапана. Но эта же система способна, по мнению В. М. Петренко, активно изменять положение клапанных заслонок.



Название второго из двух очерков — *триггерная мышечная система в клапанной части ЛС*. Мышечная система клапанной части ЛС включает мышечные пучки разной ориентации и протяженности:

1) циркулярные или (косо)поперечные пучки — постоянные, смещаются (в мелких ЛС целиком) из средней оболочки в интиму, сгущаются в основании клапана (клапанные валики), рассредотачиваются (растяжение мышечной сети) между ними (латеральные стенки клапанных и аксиального синусов) и в клапанных створках;

2) (косо)продольные пучки интимы — непостоянные, встречаются чаще в крупных ЛС, под давлением выступа циркулярного мышечного слоя отклоняются и могут проникать в клапанные валики и створки, реже проходят сквозь клапан и соединяют различные участки стенок соседних лимфангионов;

3) (косо)продольные пучки адвентиции и субадвентиции — непостоянны, встречаются чаще в крупных ЛС, проходят над клапаном и напрямую соединяют мышечные манжетки соседних лимфангионов. (Косо)продольные пучки интимы формируют трансклапанную мышечную систему, к которой относятся клапанные и комиссуральные пучки миоцитов.

Они координируют: 1) движения мышечной манжетки лимфангиона и его клапанов (детрузорная мышечная система); 2) движения мышечных манжеток соседних лимфангионов и их пограничного клапана.

Последний выступает в роли прерывателя обратного лимфотока и мышечной волны на протяжении ЛС (путем деформации, резкого изгиба стенки и мышечного слоя в его клапанной части), что приводит к раздельному сокращению соседних лимфангионов. В крупных ЛС с хорошо развитыми надклапанными пучками миоцитов возникают структурные основы для прямого распространения мышечного возбуждения с мышечной манжетки одного лимфангиона на мышечную манжетку другого лимфангиона в обход их пограничного клапана. В результате возникает переход сократительной активности ЛС с одного уровня / режима (основного варианта сокращения соседних лимфангионов — раздельного, последовательного) на другой, дополнительный (групповое, одновременное сокращение соседних лимфангионов) через связи разных мышечных слоев стенки (трансмуральные мышечные пучки — возможные, по мнению В. М. Петренко, коммутаторы основного и дополнительного/инверсионного каналов). Инверсия сократительной активности ЛС осуществляется, вероятно, под влиянием внешнего, экстравазального фактора, например — сокращения окружающих скелетных мышц, сдавливающих ЛС, что приводит к резкому ускорению лимфотока. Мышечные манжетки соседних лимфангионов сокращаются при этом как единая мышечная полоска, а движения их пограничных клапанов блокируются в результате одновременного сокращения мышц–антагонистов — клапанных и комиссуральных пучков, которые связывают клапан с мышечными манжетками соседних лимфангионов (подобно защитному блоку слуховых косточек): они тянут клапанные заслонки в разных направлениях. Таким образом, мышечная система клапанной части ЛС функционирует, по мнению В. М. Петренко, как переключатель уровней (форм) сократительной активности ЛС.

#### *Заключение*

Результаты современных исследований позволяют, согласно В. М. Петренко, по-новому взглянуть на проблему соотношения лимфатической и лимфоидной систем в организации индивида, в т. ч. его микроциркуляции [18] и иммунитета [25–26]. Сетевидная конструкция МЦР обеспечивает его высокую пластичность, в т.ч. генетическую, служит морфологической основой формирования и регенерации частей сердечно–сосудистой системы на разных

этапах онтогенеза, организации коллатерального кровотока и развития из эмбриональных венозных коллатералей лимфатической системы, во взаимодействии с рыхлой соединительной тканью — формирования периферических лимфоидных образований разного вида. Основу или скелет МЦР образуют артериолы и венулы, которые ветвятся до сети кровеносных капилляров или исходят из нее. Вдоль артериол и венул, их ветвей и притоков (сателлитные) или помимо от них (абберрантные) проходят лимфатические микрососуды, в т. ч. мышечного типа, которые состоят из лимфангионов. Мышечная система лимфангиона условно подразделяется на части в составе непрерывной мышечной сети ЛС с локальными особенностями строения. Поэтому такая единая, но высоко дифференцированная мышечная система местами, на протяжении лимфатического русла функционирует как детрузор лимфангиона, а местами (в области клапана) — как триггер, переключатель форм сократительной активности ЛС на границе между соседними лимфангионами.

#### *Список литературы:*

1. Петренко В. М. Современные представления о лимфатической системе // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2013. №1 (1). С. 49-52.
2. Петренко В. М. Функциональная анатомия лимфатической системы: современные представления и направления исследований // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2013. №12. С. 94-97.
3. Петренко В. М. Лимфатическая система и ее место в организме человека. Современные представления // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2. №3-1. С. 77-80.
4. Петренко В. М. Функциональная анатомия лимфатической системы: формирование современных представлений в России // Национальная ассоциация ученых. 2015. №3-5 (8). С. 48-51.
5. Петренко В. М. Лимфатическая система: определение в России // Инновационная наука. 2015. №4-3. С. 132-134.
6. Петренко В. М. Развитие представлений о лимфатической системе // Инновационная наука. 2015. Т. 2. №7. С. 147-149.
7. Петренко В. М. Лимфология как медико-биологическая наука: современные представления в России и история их формирования // Научное обозрение. Медицинские науки. 2016. №2. С. 84-90.
8. Петренко В. М. Кризис представлений о лимфатической системе в России // Научный альманах. 2016. №5-3 (19). С. 324-326.
9. Петренко В. М. Лимфатическая система и организация иммунитета // Инновационная наука. 2017. №9. С. 68-69.
10. Петренко В. М. Лимфатическая и лимфоидная системы: определение // Известия вузов. Поволжский регион. 2009. №4 (12). С. 12-20.
11. Петренко В. М. Лимфатическая система: определение // Успехи современного естествознания. 2011. №3. С. 23-27.
12. Лимфоидная система? // Журнал теоретической и практической медицины. 2011. Т. 9. Спец. вып., посвящ. 85-летию В. И. Дробышева. С. 270-272.
13. Петренко В. М. Иммунопротективная система и ее устройство // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. №8-3. С. 67-70.

14. Петренко В. М. Каузальная механика морфогенеза лимфоидно-лимфатического аппарата // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. №9-2. С. 78-81.
15. Петренко В. М. Гомеостаз индивида: лимфатическая и лимфоидная системы // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. №8-1. С. 46-51.
16. Петренко В. М. О структурно-функциональной организации иммунитета: лимфоидная и циркуляторная системы // Бюллетень науки и практики. 2016. №10 (11). С. 115-123.
17. Петренко В. М. Функциональная анатомия лимфатической системы. М.-Берлин: Директ-Медиа, 2014. 116 с.
18. Петренко В. М. Сетевидная микроциркуляция. М.-Берлин: Директ-Медиа, 2017. 126 с.
19. Куприянов В. В. Пути микроциркуляции (под световым и электронным микроскопом). Кишинев: Картя Молдовеняскэ, 1969. 260 с.
20. Куприянов В. В., Караганов Я. Л., Козлов В. И. Микроциркуляторное русло. М.: Медицина, 1975. 216 с.
21. Чернух А. М., Александров П. Н., Алексеев О. В. Микроциркуляция. М.: Медицина, 1975. 456 с.
22. Куприянов В. В., Бородин Ю. И., Караганов Я. Л., Выренков Ю. Е. Микролимфология. М.: Медицина, 1983. 288 с.
23. Чернышенко Л. В., Котляров В. С., Кузьменко В. Н. Морфология лимфомикроциркуляторного русла. Киев: Здоровья, 1985. 152 с.
24. Чернышенко Л. В., Семенова Т. В., Сырцов В. К. Неизвестные ранее иммунные органы путей микроциркуляции. Донецк-Киев, 1994. 140 с.
25. Петренко В. М. О конституции иммунной (лимфоидной) системы // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Медицинские науки. 2019. №2 (50).
26. Petrenko V. M. Structural and functional foundations of immunity: the circulation in living organism // *SCIOL Biomed.* 2019. V. 3. №1. P. 155-160.

#### References:

1. Petrenko, V. M. (2013). Modern ideas about the lymphatic system. *Actual directions of research of the XXI century: theory and practice*, 1(1), 49-52.
2. Petrenko, V. M. (2013). Functional anatomy of the lymphatic system: current knowledge and research trends. *Internat.Journ.Appl.Fund.Research*, (12), 94-97.
3. Petrenko, V. M. (2014). Lymphatic system and its place in the human body. Modern views. *Actual directions of research of the XXI century: theory and practice*, 2(3-1), 77-80.
4. Petrenko, V. M. (2015). Functional anatomy of lymphatic System: Development of the Modern notions in Russia. *National Association of scientists*, (3-5), 48-51.
5. Petrenko, V. M. (2015). Lymphatic system: a definition in Russia. *Innovac.science*, (4-3), 132-134.
6. Petrenko, V. M. (2015). The Development of ideas about the lymphatic system. *Innovac.science*, 2(7), 147-149.
7. Petrenko, V. M. (2016). Lymphology as a medical and biological science: modern ideas in Russia and the history of their formation. *Scientific review. Med.sciences*, (2), 84-90.
8. Petrenko, V. M. (2016). The crisis of ideas about the lymphatic system in Russia. *Scientific almanac*, (5-3), 324-326.

9. Petrenko, V. M. (2017). Lymph system and the organization of the immune system. *Innovac.science*, (9), 68-69.
10. Petrenko, V. M. 2009. Lymphatic and lymphoid systems: definition. *University proceedings. Volga region*, (4), 12-20.
11. Petrenko, V. M. (2011). Lymphatic system: definition. *Adv.Curr.Natur.Scie*, (3), 23-27.
12. Lymphoid system? (2011). *Journal of theoret. and prakt. medicine*, 9, Spec. issue place of work. 85th anniversary of V. I. Drobyshev, 270-272.
13. Petrenko, V. M. (2014). Immunoprotective system and its device. *Internat. Journ. Appl. Fund. Research*, (8-3), 67-70.
14. Petrenko, V. M. (2014). Causal mechanics of morphogenesis of lymphoid-lymphatic apparatus. *Internat.Journ.Appl.Fund.Research*, (9-2), 78-81.
15. Petrenko, V. M. 2016. The individual Homeostasis: the lymphatic and lymphoid system. *Internat. Journ.Appl.Fund.Research*, (8-1), 46-51.
16. Petrenko, V. M. (2016). About structural and functional organization of immunity: lymphoid and circulatory systems. *Bulletin of Science and Practice*, 10(11), 115-123.
17. Petrenko, V. M. (2014). Functional anatomy of the lymphatic system: Textbook. Moscow-Berlin, Direct Media, 116.
18. Petrenko, V. M. (2017). Reticular microcirculation. Moscow-Berlin, Direct Media, 126.
19. Kupriyanov, V. V. (1969). Microcirculation ways (under light and electron microscope). Chisinau, Kartya Moldovenyaske, 260.
20. Kupriyanov, V. V., Karaganov, I. A., & Kozlov, V. I. (1975). Microcirculatory bed. *Moscow, Medicine*, 216.
21. Chernukh, A. M., Aleksandrov, P. N., & Alekseev, O. V. (1975). Microcirculation. *Moscow, Medicine*, 456.
22. Kupriyanov, V. V., Borodin, Y. I., Karaganov, J. L., & Vyrenkov, Y. E. (1983). Microlymphology. Moscow, Medicine, 288.
23. Chernyshenko, L. V., Kotlyarov, V. S., & Kuzmenko, V. N. (1985). Morphology lymphatic microcirculatory bed. Kyiv, Zdorovya, 152.
24. Chernyshenko, L. V., Semenova, T. V., & Syrtsov, V. K. (1994). Previously unknown immune organs of microcirculation. Donetsk-Kiev, 140.
25. Petrenko, V. M. (2019). On the constitution of the immune (lymphoid) system. *University proceedings. Volga region*, (2).
26. Petrenko, V. M. (2019). Structural and functional foundations of immunity: the circulation in living organism. *SCIOL Biomed*, 3(1), 155-160.

Работа поступила  
в редакцию 30.06.2019 г.

Принята к публикации  
04.07.2019 г.

Ссылка для цитирования:

Петренко Е. В. Лимфатическая и лимфоидная системы в микроциркуляции // Бюллетень науки и практики. 2019. Т. 5. №8. С. 32-43. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/45/04>

Cite as (APA):

Petrenko, E. (2019). Lymphatic and Lymphoid Systems in the Microcirculation. *Bulletin of Science and Practice*, 5(8), 32-43. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/45/04> (in Russian)