

УДК 611.4

УРОВНИ СЕГМЕНТАРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ЛИМФОТОКА

Петренко В.М.

Санкт-Петербург, e-mail: deptanatomy@hotmail.com

Лимфоток происходит по двухъярусной цепи сегментов лимфатического русла с постепенно усложняющимся строением и таким образом сегментируется. Уровни сегментарной организации лимфотока заложены в устройстве лимфатической системы. Она состоит из сегментов двух видов – генеральных, или периартериальных, и специальных или собственных, межклапанных.

Ключевые слова: лимфоток, лимфатическая система, сегмент

THE LEVELS OF SEGMENTARY ORGANIZATION OF LYMPH FLOW

Petrenko V.M.

St.-Petersburg, e-mail: deptanatomy@hotmail.com

Lymph flow passes onto two-tier's chain of segments of lymphatic bed with gradually complicative structure and thus segments. The levels of segmentary organization of lymph flow are into construction of lymphatic system. The system consists of segments of two kinds – the general, or periarterial, and the special or own, intervalvar.

Keywords: lymph flow, lymphatic system, segment

Как известно, лимфоток имеет маятникообразный характер. Его регулируют факторы двух групп:

1) вазальные – движения структур стенок лимфатического русла (ЛР), прежде всего – постоянных и множественных клапанов (пассивное ограничение обратного лимфотока) и гладких миоцитов (активное поддержание скорости лимфотока);

2) экстравазальные – воздействия на ЛР окружающих его органов, сосудов, нервов и других структур.

Предложено много концепций об устройстве лимфатической системы (ЛСи): лимфатические сердца L. Ranvier, лимфангионы или клапанные сегменты как функциональные единицы лимфатического сосуда (ЛС) по E. Horstmann – H. Mislin, нервно-сосудистые фрагменты тела и функциональные сегменты лимфатических узлов (ЛУ) Б.В. Огнева, лимфатические регионы Ю.И. Бородина и др. [1–6]. Они с разных сторон характеризуют ЛСи и структурные основы лимфотока, но не дают целостного представления о сегментарной организации лимфотока [7].

Цель исследования: показать структурные уровни сегментарной организации лимфотока.

Материалы и методы исследования

Строение и развитие ЛСи у человека и млекопитающих животных изучены мной на окрашенных тотальных препаратах и гистологических срезах, а также методами иммуногистохимии и электронной микроскопии, инъекции ЛР синей массой Герота и препарирования [4–6].

Результаты исследования и их обсуждение

Лимфа образуется и движется в полости ЛР. Клапаны разделяют ЛР на разные

межклапанные сегменты [5–7]: в лимфатических посткапиллярах – безмышечные, организующие пассивный лимфоотток из лимфатических капилляров; в ЛС – мышечные или лимфангионы, способные при дефиците энергии экстравазальных факторов сокращаться и активно продвигать лимфу к венам; в ЛУ – нодальный или лимфоидный лимфангион, который регулирует еще объем и состав лимфы. Сегментарный принцип построения можно также распространить на сеть лимфатических капилляров. Подвижные межклеточные контакты их эндотелия как входные миниклапаны регулируют ток тканевой жидкости в полость ЛР (фильтрацию – лимфообразование). Тканевой насос «качает» тканевую жидкость в полость ЛР: интегральный столб тканевой жидкости (клеточный метаболизм и фильтрат артериальных капилляров) – «поршень», окружающая ЛР ткань в целом – «манжетка», сдавливающая ЛР с сужением полости и выталкивающая лимфу из корней ЛР. По мере удаления от мест лимфообразования его энергия как первичной лимфодвижущей силы угасает: уплотняющиеся и утолщающиеся стенки ЛР не пропускают тканевую жидкость в полость ЛР, а также ограничивают давление наружной манжетки. Но при растяжении лимфой сравнительно толстых стенок ЛР с разножесткими оболочками (интима «размывается» диффузионными токами лимфы) возникает сдвиговая деформация стенок ЛР. В результате на границе между интимой и адвентицией дифференцируются гладкие миоциты (средний, мышечный слой).

ЛС и ЛУ обычно находят около аорты и ее ветвей, что неудивительно:

1) первичные вены всегда сопровождают артерии эмбриона;

2) часть этих вен выключается из кровотока с образованием первичных ЛС;

3) в их просвет инвагинируют кровеносные сосуды с закладкой ЛУ у плодов – инфильтрация лимфоцитами межсосудистой соединительной ткани инвагинации, интимы ЛР [4].

Лимфоидная ткань ЛУ окружает разветвления хиларных артерий, а сама окружена синусами – краевым (вся паренхима) и промежуточными (части паренхимы – лимфоидные узелки, Т-домены и мозговые тяжи). Поэтому ЛУ, как лимфоидный орган, следу-

ет «привязывать» к артериям, а как лимфатический орган (краевой синус с капсулой между входными и выходными клапанами ЛУ) – к ЛС. Промежуточные синусы и трабекулы объединяют лимфатический, межклапанный и лимфоидные, периартериальные сегменты ЛУ в единую систему – лимфоидный лимфангион в составе непрерывного ЛР.

Сегменты ЛСи относятся к двум уровням ее организации [7]:

1) генеральные (общие для ЛР и кровеносного русла), системные;

2) специальные (собственные ЛР), локальные (рис. 1, 2).

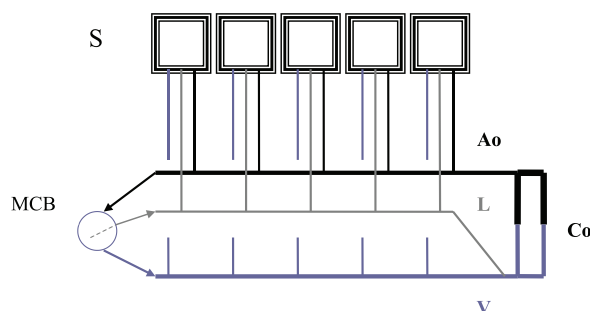


Рис. 1. Схема генеральной сегментации лимфатической системы:

Co – сердце; Ao – аорта с ее ветвями; V – главные (полюе) вены с их притоками; L – лимфатические протоки с их притоками; MCB – микроциркуляторное русло; S – сегменты тела (~ периферические сегменты лимфатической и всей сердечно-сосудистой системы)

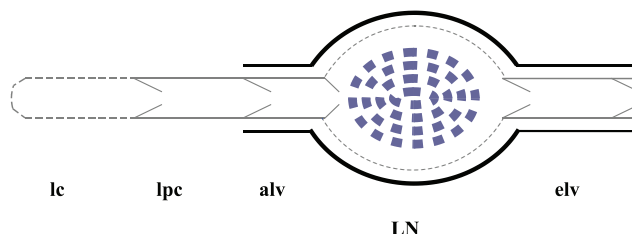


Рис. 2. Схема собственной сегментации лимфатической системы – лимфатическое русло как цепь межклапанных сегментов с прогрессивно усложняющейся конструкцией стенок: lc – лимфатический капилляр с эндотелиальными стенками, пунктирная линия символизирует подвижные межклеточные контакты, они функционируют как микклапаны на входе в безмышечный квазимежклапанный сегмент; lpc – лимфатический посткапилляр, в котором появляются типичные, интралюминарные клапаны (безмышечный межклапанный сегмент); alv, elv – афферентный и эфферентный лимфатические сосуды, черные линии символизируют мышечный слой в их стенках (мышечные межклапанные сегменты или лимфангионы); LN – лимфатический узел как нодальный или лимфоидный лимфангион, стенки которого содержат лимфоидную ткань

Генеральные, периартериальные сегменты можно разделить на две группы:

- 1) центральные, парааортальные;
- 2) периферические, субаортальные (вдоль ветвей арты).

Специальные сегменты ЛСи я разделяю на безмышечные и мышечные межклапанные сегменты, а лимфангионы – на сосудистые и нодальные. Собственные сегменты ЛСи соединяются с другими компонентами ее генеральных сегментов (инфраструктура

ЛР) посредством рыхлой соединительной ткани. Межклапанные сегменты ЛР окружены общим футляром адвентиции (отсутствует в корнях ЛР). Их наружное продолжение, периадвентиция (кондуктор экстравазальных факторов лимфотока), объединяет стенки ЛР с окружающими органами и сосудами в составе корпоральных сегментов (рис. 3). Высшей ступенью развития генеральных сегментов ЛСи являются ЛУ, в которых межсосудистая соединительная ткань

преобразуется в лимфоидную. Более простыми вариантами такого локального морфогенеза генеральных сегментов ЛСи представляются лимфоидные узелки и бляшки.

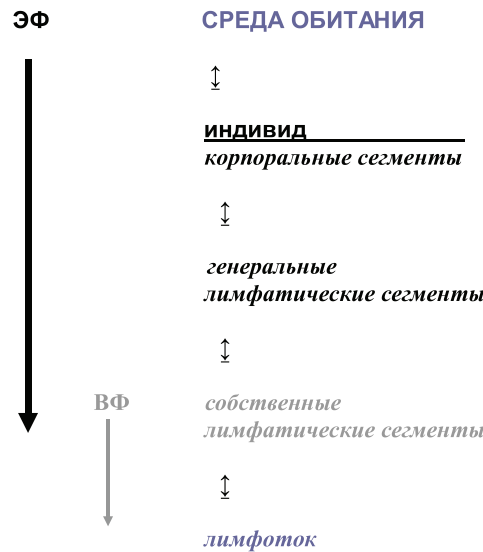


Рис. 3. Многоуровневая структурно-функциональная организация лимфотока (схема):
ЭФ, ВФ – факторы лимфотока, экстравазальные и вазальные (действие окружения и стенок лимфатического русла)

Лимфоток и его факторы относятся к обоим уровням организации ЛСи:

1) лимфообразование, другие экстравазальные факторы лимфотока – генеральные сегменты ЛСи, связи ЛР с окружением (наружной манжеткой). На этом уровне определяются пассивный (базовый) лимфоток и его экстравазальная регуляция;

2) лимфоотток и вазальные факторы лимфотока – собственные, межклапанные сегменты ЛСи, их клапаны и мышечные манжетки (пассивный и активный лимфоток).

Активный лимфоток возникает при торможении пассивного (при дефиците энергии экстравазальных факторов) и возникновении локального лимфостаза, значительном растяжении стенок ЛР и критической деформации сарколемм гладких миоцитов с активацией саркоплазматического ретикулума. Так запускается сокращение гладких миоцитов, что приводит к повышению тонуса стенок ЛР и/или к их сближению с сужением полости и ускорением лимфотока. Сцепление его внешних и внутренних факторов проявляется в разных формах. Так лимфообразование происходит на стыке сфер влияния вазальных и экстравазальных факторов лимфотока – в корневых генеральных сегментах ЛСи (слепое начало корней ЛР, ограниченное эндотелиоцитами с подвижными контактами). Они переходят в тканевые каналы микроокружения посредством макромолекулярных связей (рис. 4). ЛР адаптируется к условиям дефицита собственной энергии лимфото-

ка путем сегментарного устройства, в т.ч. временной компартиментализации – цепной локальной фрагментации полости ЛР закрытыми соседними клапанами. Это позволяет «дробить» лимфоток на порции: лимфа перемещается от одного сегмента к другому и таким образом (клапанами) сегментируется. Их продвижение требует меньше энергии, извлекаемой прежде всего из окружения (экстравазальные факторы).

Важное место в организации лимфотока занимает соединительная ткань, осуществляя взаимосвязь:

1) механическую – ЛС, прежде всего крупных, с кровеносными сосудами, нервами и органами;

2) гуморальную, диффузионную (включая лимфообразование) – прежде всего микроЛС с кровеносными микрососудами, нервными окончаниями и тканями.

Так объединяются наружная и внутренняя манжетки ЛР (интеграция компонентов генеральных сегментов ЛСи – экстравазальная регуляция лимфотока), структуры манжеток.

Особый лимфоток возникает в ЛУ. В ходе развития [4–6] в просвете ЛР формируется лимфоидный фильтр – специальная соединительная ткань, через которую происходит трансфузионный лимфоток:

1) между синусами (непрямой лимфоток через тканевые каналы вещества ЛУ);

2) между синусами и венозными микрососудами (функциональный анастомоз ЛР и кровеносного русла посредством тканевых каналов).

Вторая составляющая трансфузионного (или интерстициального) лимфотока есть процесс, обратный лимфообразованию в корнях ЛР. Их гомологи в ЛУ (сеть промежуточных синусов – ответвления внутренней стенки краевого синуса) погружены в лимфоидную ткань (разросшаяся и разветвленная интима краевого синуса, инфильтрированная лимфоцитами) и вставлены в нодальный сегмент ЛР с мышечной

капсулой. Так экстравазальный по происхождению фактор лимфотока (периадвентиция ЛР и кровеносные сосуды – генеральный сегмент ЛСи) становится в составе ЛУ вазальным: периадвентиция преобразуется в межсосудистую лимфоидную ткань гиперплазированной интимы ЛР с функциями регулятора объемной скорости и биофильтра лимфотока (лимфоидный лимфангион – собственный сегмент ЛСи).

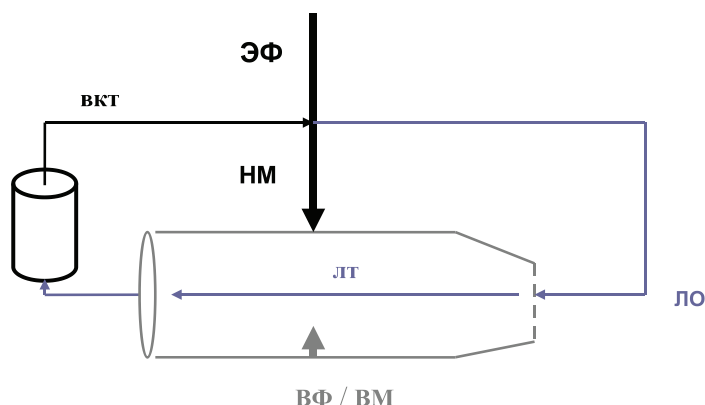


Рис. 4. Регуляция лимфотока (схема):

ЭФ, ВФ – экстравазальные и вазальные факторы; НМ, ВМ – наружная и внутренняя манжетки (окружение и стенки) лимфатического русла; ЛО – лимфообразование; лт – лимфоток; вкт – венозный кровоток

Заключение

Лимфоток происходит по двухъярусной цепи сегментов ЛР с постепенно усложняющимся строением. Уровни сегментарной организации лимфотока заложены в устройстве ЛСи:

1) квазисегментарная связь ЛР с артериями (генеральные, периартериальные сегменты) является следствием сегментарного устройства эмбриона и отражает связи ЛР с его окружением – источником экстравазальных факторов лимфотока;

2) складчатая конструкция стенок ЛР (клапаны и межклапанные сегменты) взаимосвязана с колебаниями лимфотока.

Собственные сегменты ЛР во всем их разнообразии организуют базовое, пассивное и дополнительно активное продвижение лимфы от органов к венам. Строение и режим функционирования собственных, межклапанных сегментов ЛР (виды транспорта лимфы) коррелируют с их топографией [5, 7], т.е. – строением генеральных сегментов ЛСи как части сердечно-сосудистой системы и всего организма в целом, его корпоральных сегментов (инфраструктура ЛР).

Структурные основы функционального состояния ЛСи, в т.ч. лимфотока, как и в целом индивида, находятся на субклеточном уровне их организации. Ультраструктурные преобразования начинаются чаще

всего с движения так называемых слабых межмолекулярных связей. На макроуровне адекватные структурные изменения организма и его ЛСи обнаруживаются не сразу, но проявляются по мере накопления ультра- и микроструктурных изменений в виде, например, гипертрофии и гиперплазии тех же гладких мышц. Поэтому в последние годы наблюдается интенсификация исследований ЛСи на клеточном и субклеточном, молекулярном уровнях организации [3]. Но для правильной интерпретации результатов таких исследований, их адекватной экстраполяции на макроуровень организации лимфотока требуется знание устройства ЛСи.

Список литературы

1. Бородин Ю.И., Сапин М.Р., Этинген Л.Е. и др. Общая анатомия лимфатической системы. – Новосибирск: Изд-во «Наука», 1990. – 243 с.
2. Бородин Ю.И., Сапин М.Р., Этинген Л.Е. и др. Функциональная анатомия лимфатического узла. – Новосибирск: Изд-во «Наука», 1992. – 257 с.
3. Коненков В.И., Бородин Ю.И. и Любарский М.С. Лимфология. – Новосибирск: Изд-во «Манускрипт», 2012. – 1104 с.
4. Петренко В.М. Эволюция и онтогенез лимфатической системы. – 2-е изд. – СПб.: Изд-во ДЕАН, 2003. – 336 с.
5. Петренко В.М. Функциональная морфология лимфатических сосудов. – 2-е изд. – СПб.: Изд-во ДЕАН, 2008. – 400 с.
6. Петренко В.М. Лимфатическая система. Анатомия и развитие. – 4-е изд. – СПб.: Изд-во ДЕАН, 2010. – 112 с.
7. Петренко В.М. Конституция лимфатической системы // Бюллетень СО РАМН. – 2012. – Т. 32. – № 2. – С. 29–35.