

SATBAYEV UNIVERSITY

Алимбаев Чингиз Абдраимович

Лимфатическая система
Строение и функции

Наше тело примерно на 1/6 состоит из межклеточного пространства (интерстиция). Это пространство заполнено твердыми элементами и тканевой (интерстициальной) жидкостью. Термин интерстиций, как и многие другие в медицине, имеет латинское происхождение, – interstitium переводится с латыни как «промежуток».

Лимфа по своей сути – это тканевая жидкость, поступившая в лимфатический капилляр. Лимфатические капилляры представляют собой микроскопические трубки с закрытыми концами, берущие начало в интерстициальном пространстве большинства тканей. Таким образом, образование лимфы зависит от образования тканевой жидкости.



Работа лимфатической системы осуществляется преимущественно за счёт лимфы — бесцветной жидкости, состоящей из воды, иммунных клеток и примеси химических элементов.

Лимфа здорового человека на 95% состоит из воды и на 5% — из белков, минеральных солей, жиров, глюкозы (сахара), клеточных продуктов жизнедеятельности и клеток иммунной системы.

На состав лимфы влияет состояние здоровья и образ жизни человека: сколько жидкости он пьёт, каким продуктам питания отдаёт предпочтение, достаточно ли двигается, не болеет ли. Так, лимфа может становиться гуще, если человек мало пьёт, или застаиваться, если он мало двигается.

Если говорить о составе лимфы, то в ней становится больше иммунных клеток, если у человека есть какие-то инфекционные заболевания. При неинфекционных заболеваниях концентрация лимфоцитов, напротив, снижается.

Лимфа синтезируется в тканях самых разных органов: лёгких, печени, селезёнки, костей, кишечника.

Лимфатическая система — сложная сеть органов и соединяющих их сосудов. Она охватывает практически все ткани в теле человека, в том числе и оболочки головного мозга.

Одна из главных функций системы — **защита**: лимфатические органы и сосуды собирают и обезвреживают попадающие в организм токсины, инфекции, а также «вылавливают» мутировавшие злокачественные клетки.

Ещё одна важная функция — **транспорт веществ**. Если в тканях скопились излишки жидкости и продукты обмена (белки, соли, токсины), лимфатические сосуды собирают их и возвращают в кровеносную систему.

В лимфатической системе происходит часть **кроветворения** — в ней образуются и созревают белые кровяные клетки лимфоциты, которые помогают организму защищаться от патогенов.

Лимфатическая система участвует и в **пищеварении**: помогает организму усваивать жиры. Попадать напрямую в кровь, как другие питательные элементы, жиры не могут, потому что не растворяются в воде. Поэтому они сначала собираются в хилезы — лимфатические сосуды, а затем с лимфой доставляются в кровь.

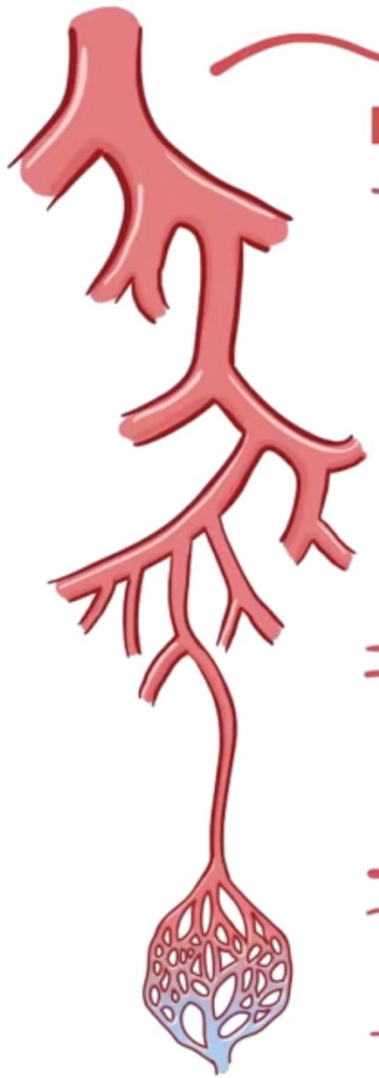
Лимфоци́ты — клетки иммунной системы, представляющие собой разновидность лейкоцитов группы агранулоцитов. Лимфоциты — главные клетки иммунной системы. Они обеспечивают гуморальный иммунитет (выработку антител), клеточный иммунитет (контактное взаимодействие с клетками-жертвами), а также регулируют деятельность клеток других типов. В организме взрослого человека 25—40% всех лейкоцитов крови составляют лимфоциты (500—1500 клеток в 1 мкл), у детей доля этих клеток равна 50%.

По морфологическим признакам выделяют два типа лимфоцитов: большие гранулярные лимфоциты (чаще всего ими являются NK-клетки или, значительно реже, это активно делящиеся клетки лимфоидного ряда — лимфобласты и иммунобласты) и малые лимфоциты (Т- и В-клетки).

По функциональным признакам различают три типа лимфоцитов: В-клетки, Т-клетки, NK-клетки.

- В-лимфоциты, или В-клетки, распознают чужеродные структуры (антигены), вырабатывая при этом специфические антитела (белковые молекулы, направленные против конкретных чужеродных структур).
- Т-лимфоциты, или Т-клетки, включают в себя цитотоксические Т-лимфоциты, Т-хелперы, Т-регуляторы. Цитотоксические Т-лимфоцитывыполняют киллерные функции, Т-хелперы активируют и направляют иммунный ответ, а Т-регуляторы тормозят излишний иммунный ответ.
- NK-лимфоциты способны уничтожать клетки, признаваемые организмом генетически-чужеродными или потерявшие отличительные признаки «своего» (без учёта антигенной специфичности).

Содержание Т-лимфоцитов в крови составляет 65—80% от общего числа лимфоцитов, В-лимфоцитов — 8—20%, NK-лимфоцитов — 5—20%



КРОВЬ В АРТЕРИЯХ ПОД БОЛЬШИМ ДАВЛЕНИЕМ

ВЕТВЯТСЯ ДО БОЛЕЕ МЕЛКИХ СОСУДОВ

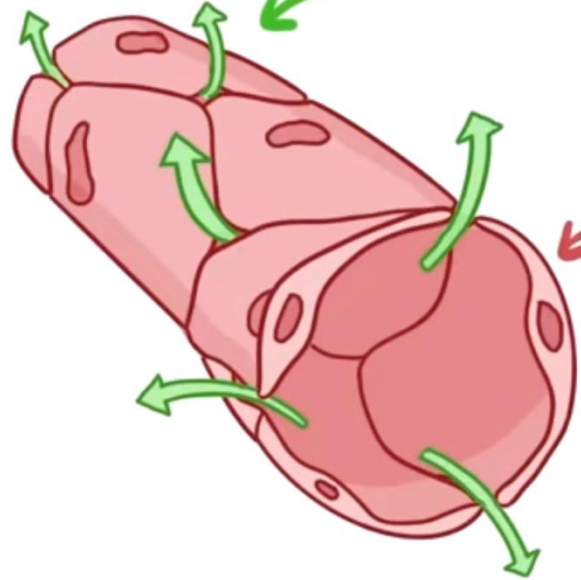
АРТЕРИОЛЫ

КАПИЛЛЯРЫ

КАЖДЫЙ ДЕНЬ

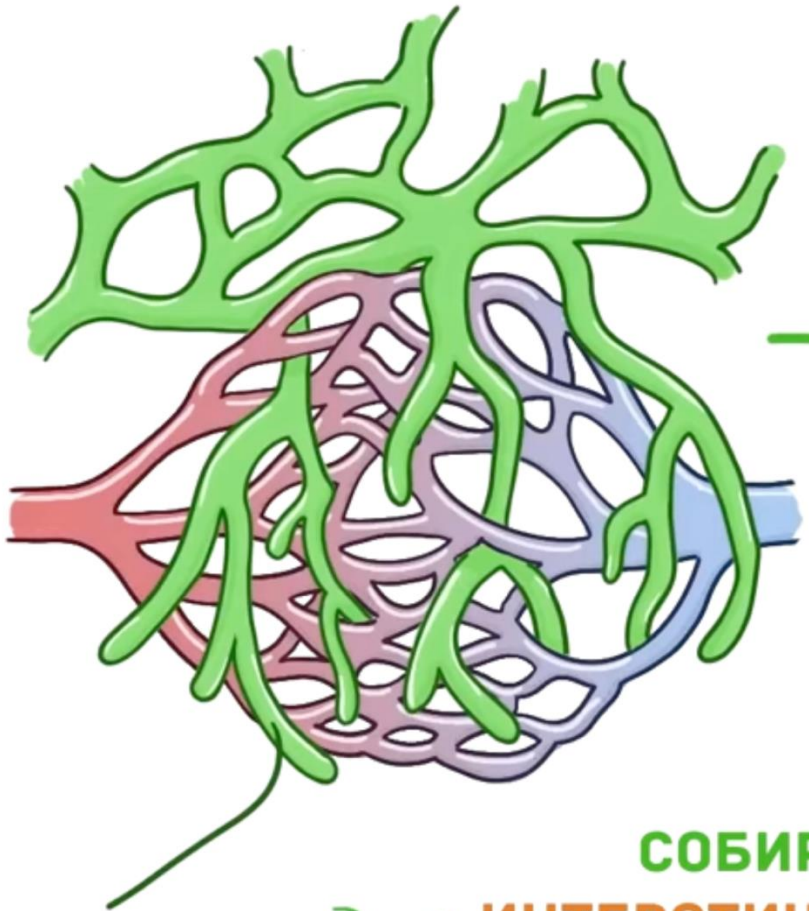
~ 20

~ 17 РЕАБСОРБИРУЮТСЯ



БЕЛКИ

СТЕНКА ИЗ 1 КЛЕТКИ



ЛИМФАТИЧЕСКИЕ СОСУДЫ

СОБИРАЮТ ИНТЕРСТИЦИАЛЬНУЮ ЖИДКОСТЬ

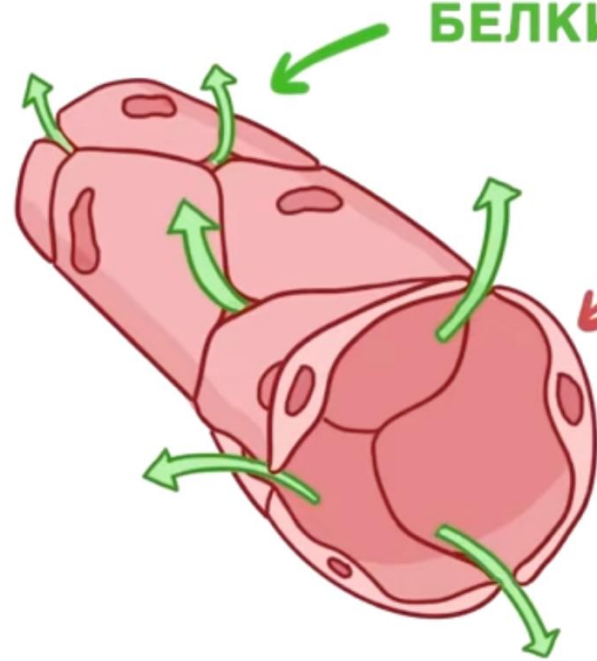
ЛИМФА

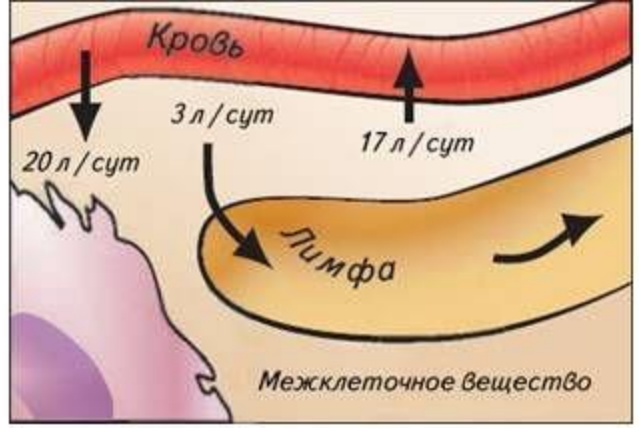
КАЖДЫЙ ДЕНЬ

~ 20

~ 17 РЕАБСОРБИРУЮТСЯ

~ 3 ОСТАЮТСЯ В ТКАНЯХ





Движение лимфы

Лимфа

↓

Лимфатические капилляры

↓

Лимфатические сосуды

↓

Лимфатические узлы

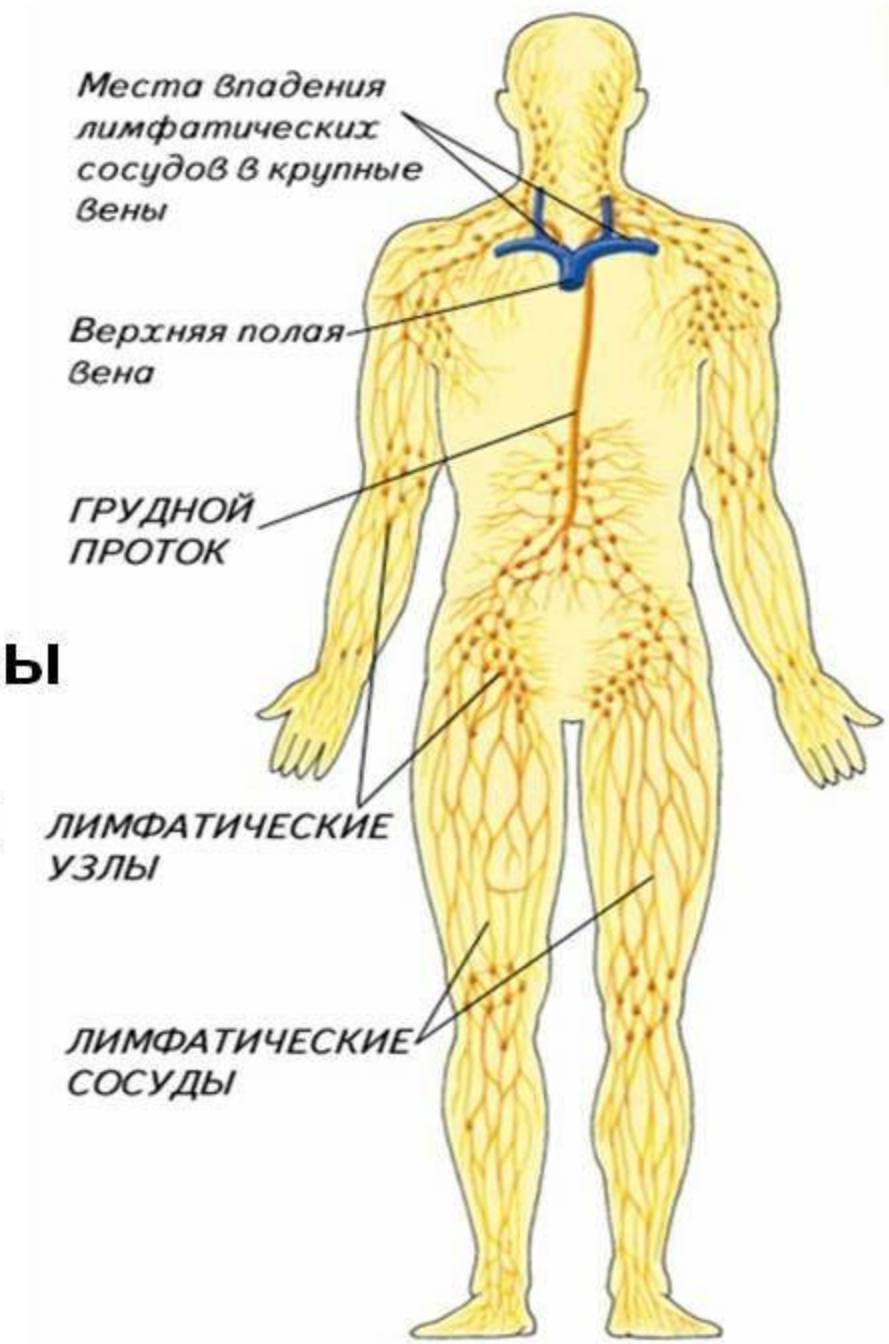
↓

Лимфатические протоки

↓

В верхнюю полую вену

Лимфатическая система

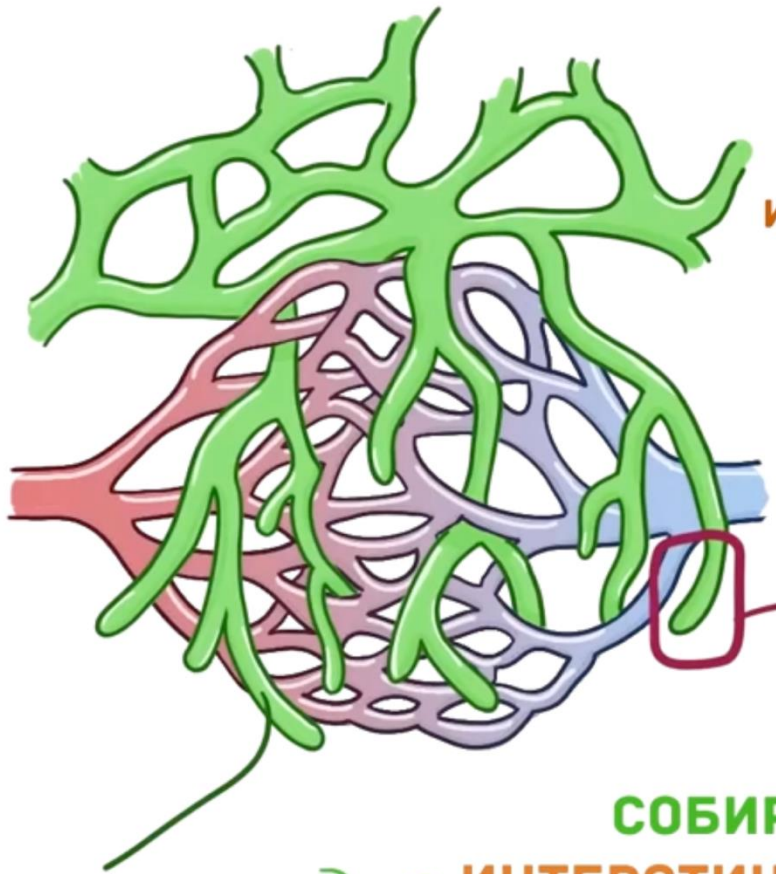


Тканевая жидкость образуется за счет того, что фильтрация из плазмы крови обычно превышает реабсорбцию. То есть ток крови доставляет жидкость в ткани, где она и становится интерстициальной жидкостью.

Накопление жидкости в интерстиции увеличивает гидростатическое давление, которое перемещает часть тканевой жидкости в лимфатические капилляры, образуя лимфу.

В конечном итоге лимфа возвращается в кровь, неся с собой белки, которые благодаря своим незначительным размерам прошли сквозь стенки кровеносных капилляров. На своем пути лимфа проходит через лимфатические узлы – органы иммунной системы, в которых проводится фильтрация потенциально вредных частиц и устраняются патогены.

C R MDC



ЛИМФАТИЧЕСКИЕ КАПИЛЛЯРЫ

ИНТЕРСТИЦИАЛЬНОЕ ПРОСТРАНСТВО

КОЛЛАГЕНОВЫЕ ФИЛАМЕНТЫ

ДАВЛЕНИЕ В ИНТЕРСТИ-ЦИАЛЬНОМ ПРОСТРАНСТВЕ БОЛЬШЕ

МИНИ-КЛАПАНЫ

ЖИДКОСТЬ ВХОДИТ

ЛИМФАТИЧЕСКИЕ СОСУДЫ

СОБИРАЮТ ИНТЕРСТИЦИАЛЬНУЮ ЖИДКОСТЬ

ЛИМФА

СБРАСЫВАЕТСЯ В ВЕНЫ

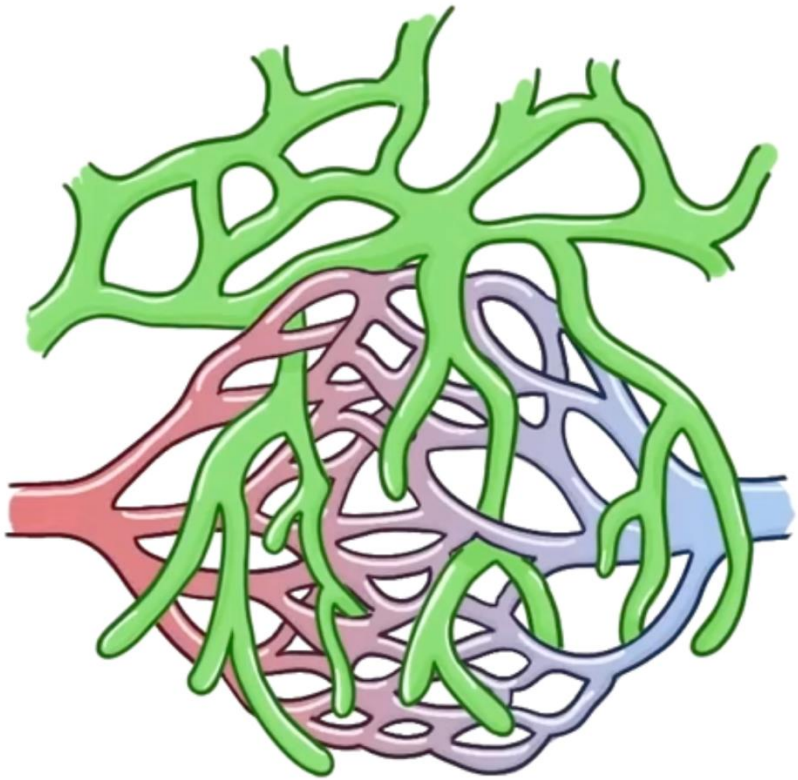
Подобно реке, лимфатическая система начинается с едва заметных ручейков — капилляров, которые затем собираются в сосуды и транспортируют лимфу к протокам. По ним она впадает в поток венозной крови.

Стенки **лимфатических капилляров** настолько тонкие, что жидкость легко проникает через них и далее движется по организму в составе лимфы. Они пронизывают большинство тканей в организме и отводят из них лишнюю жидкость, остатки клеток, вредоносные микроорганизмы — всё, что уже не нужно или может нанести вред.

НЕТ НАСОСА



ПРОТОКИ
↑
СТВОЛЫ
↑
СОСУДЫ
↑
КАПИЛЛЯРЫ



Стенки лимфатических сосудов аналогичны стенкам вен, но тоньше. Как и некоторые периферические вены, лимфатические сосуды имеют клапаны, которые помогают предотвратить обратный ток лимфы.

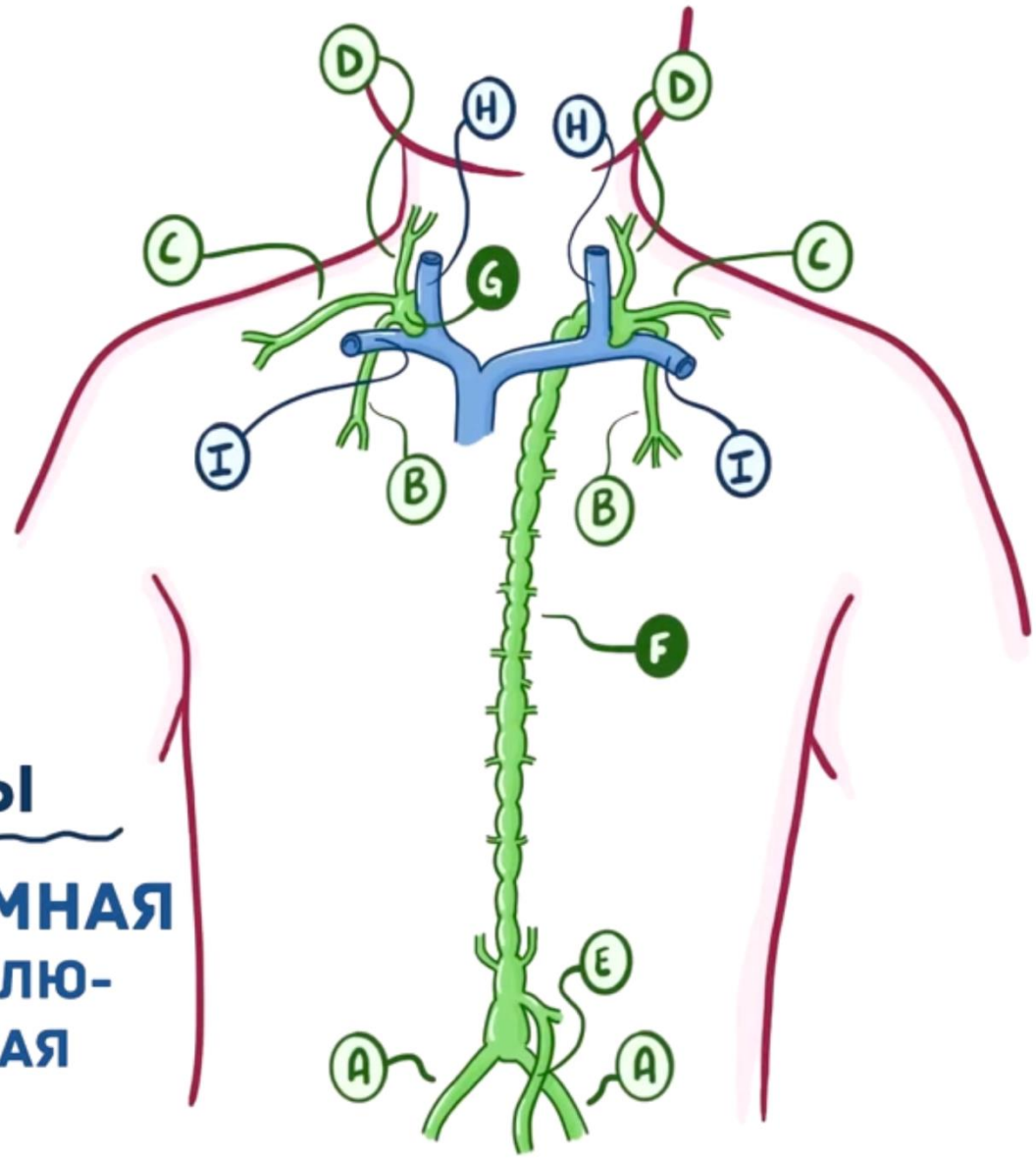
Хотя попадание жидкости в лимфатические капилляры обусловлено гидростатическим давлением, его недостаточно, чтобы обеспечить движение лимфы по лимфатическим сосудам. Перемещение лимфы обеспечивается мышечной деятельностью.

Сокращающиеся скелетные мышцы сжимают стенки лимфатических сосудов. Это сжимающее воздействие заставляет лимфу перемещаться. Лимфатические сосуды имеют клапаны, предотвращающие обратный ток, поэтому лимфа может двигаться только к собирательным протокам. Помимо этого, в крупных лимфатических протоках движение лимфы поддерживается ритмичными сокращениями гладких мышц стенок сосудов.

C R MDC

СТВОЛЫ

- A ПОЯСНИЧНЫЕ
- B БРОНХО-МЕДИАСТИНАЛЬНЫЕ
- C СУБКЛЮЧИЧНЫЕ
- D ЯРЕМНЫЕ
- E КИШЕЧНЫЙ



ВЕНЫ

- H ЯРЕМНАЯ
- I ПОДКЛЮ-ЧИЧНАЯ

ПРОТОКИ

- F ГРУДНОЙ
- G ПРАВЫЙ

Лимфатические стволы расположены в пояснице, у основания головы, в области ключицы и в брюшной полости. В них лимфа собирается после прохождения лимфоузлов. Стволов всего несколько: грудной лимфатический ствол отводит лимфу из нижних конечностей, брюшной и грудной полости, лимфатический ствол правой половины тела отвечает за правую половину головы, шеи, груди и руки, а левый — за симметричные области слева.

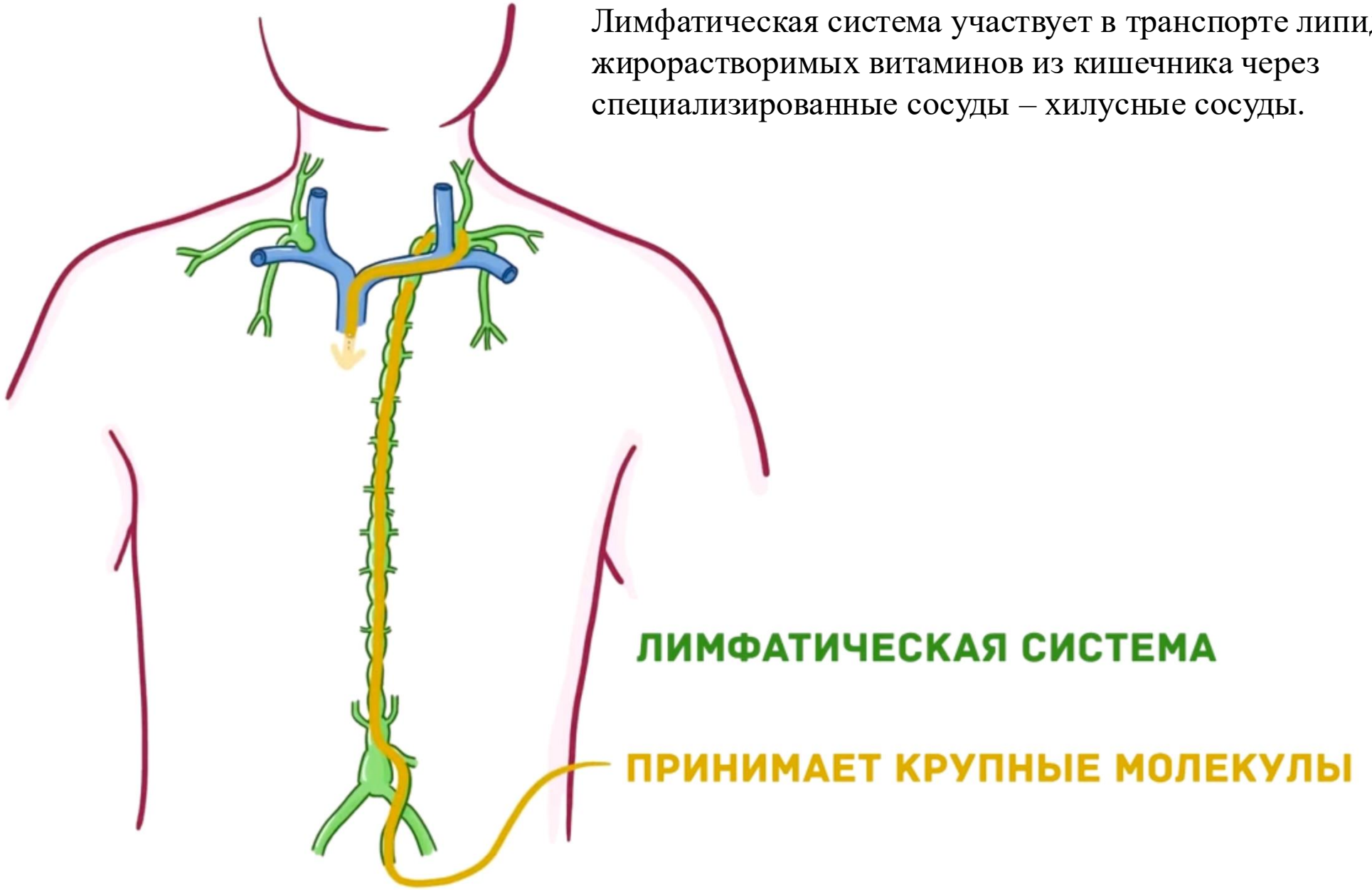
Далее лимфатические стволы объединяются в **лимфатические протоки**. Их всего два: левый и правый. Левый собирает две трети всей лимфы — отводит её от нижних конечностей, левой руки, шеи и левой части головы и груди. Правый собирает лимфу от правой части груди, головы и руки.
Попадая в венозное русло, лимфа смешивается с кровью и следует к почкам и печени для дальнейшей фильтрации и очистки.

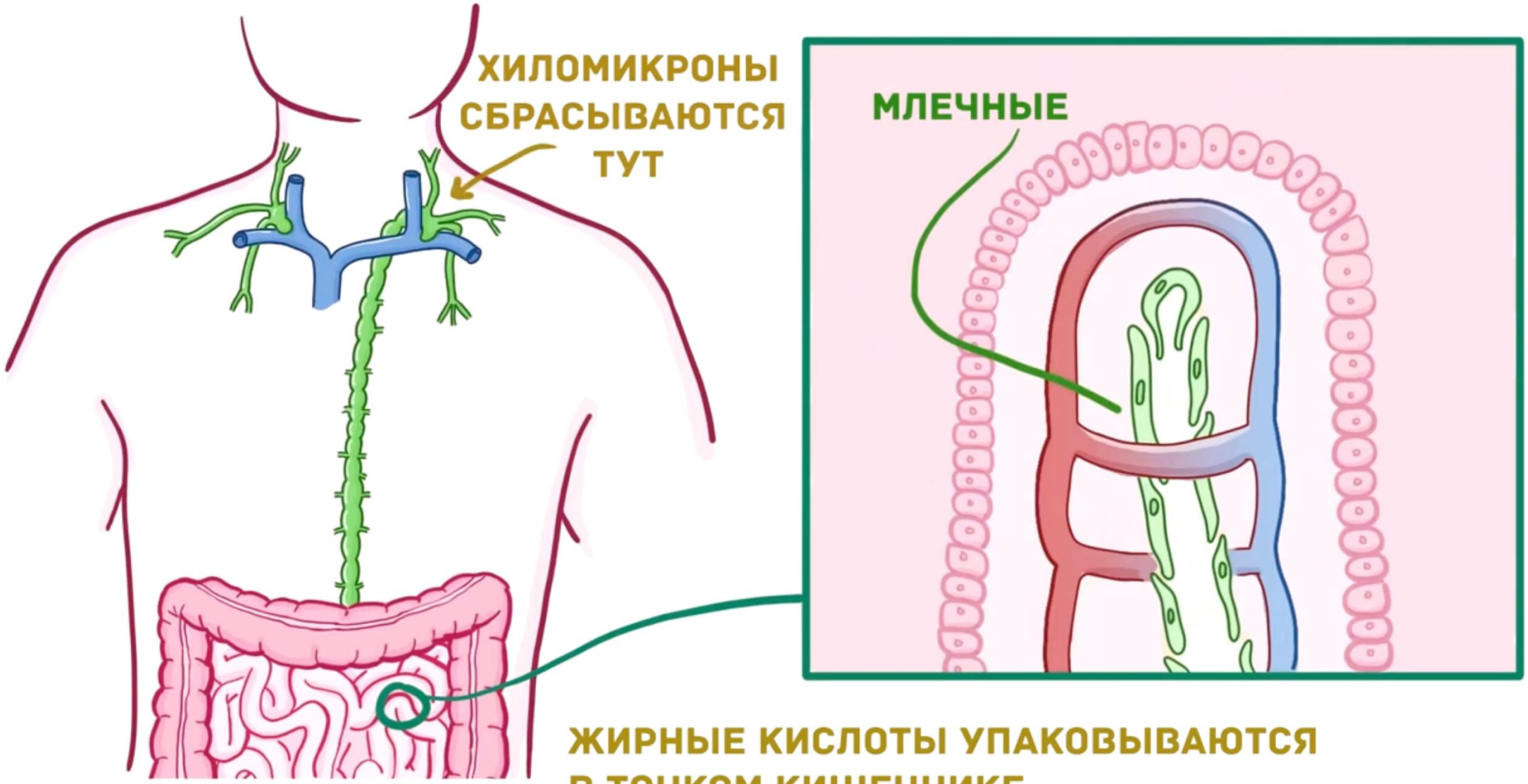
Задействовано также и дыхание. Во время вдоха в грудной полости возникает область относительно низкого давления, а сокращающая диафрагма, наоборот, создаёт более высокое давление в брюшной полости. Благодаря разности давлений лимфа перемещается из сосудов брюшной полости в сосуды, находящиеся в грудной клетке. Где избыток лимфы и перетекает в вену.

Непрерывное движение жидкости из интерстиция в кровеносные и лимфатические капилляры стабилизирует объем интерстициальной жидкости. Если отток лимфы нарушается, тканевая жидкость скапливается, вызывая отек, визуально выглядящий как припухлость.



Лимфатическая система участвует в транспорте липидов и жирорастворимых витаминов из кишечника через специализированные сосуды – хилусные сосуды.




ХИЛОМИКРОНЫ
СБРАСЫВАЮТСЯ
ТУТ
МЛЕЧНЫЕ
ЖИРНЫЕ КИСЛОТЫ УПАКОВЫВАЮТСЯ
В ТОНКОМ КИШЕЧНИКЕ

ЛИМФОИДНЫЕ ОРГАНЫ

УДАЛЯЮТ ЧУЖЕРОДНЫЙ МАТЕРИАЛ ИЗ ЛИМФЫ - ИМУННЫЙ НАДЗОР

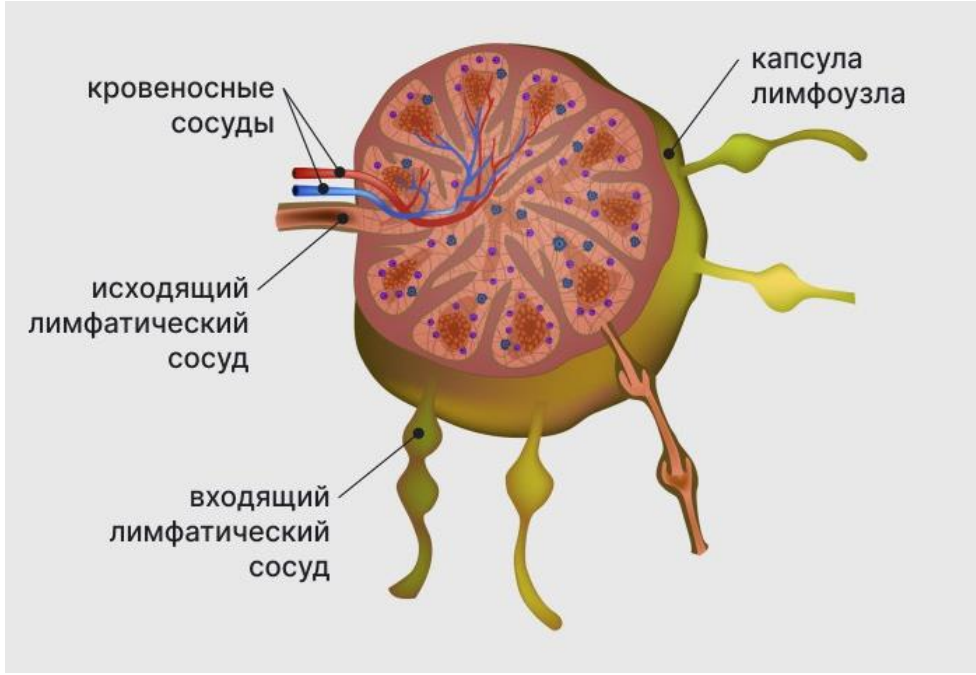
- **ДИФФУЗНАЯ ЛИМФОИДНАЯ ТКАНЬ**
  - ВЫСТИЛКА ЖКТ
  - И ДЫХАТЕЛЬНОГО ТРАКТОВ
- **ЛИМФАТИЧЕСКИЕ УЗЛЫ**
  - «ШАРЫ» ИЗ ЛИМФОЦИТОВ И БЕЛКОВ
  - СОТНИ ЛИМФАТИЧЕСКИХ УЗЛОВ
  - ОТ НЕСКОЛЬКИХ ММ ДО 1-2 СМ
  - В ОБЛАСТИ ШЕИ, ПОДМЫШЕЧНЫХ ВПАДИН И ПАХА
  - В СТЕНКЕ ТОНКОГО КИШЕЧНИКА: ПЕЙЕРОВЫ БЛЯШКИ

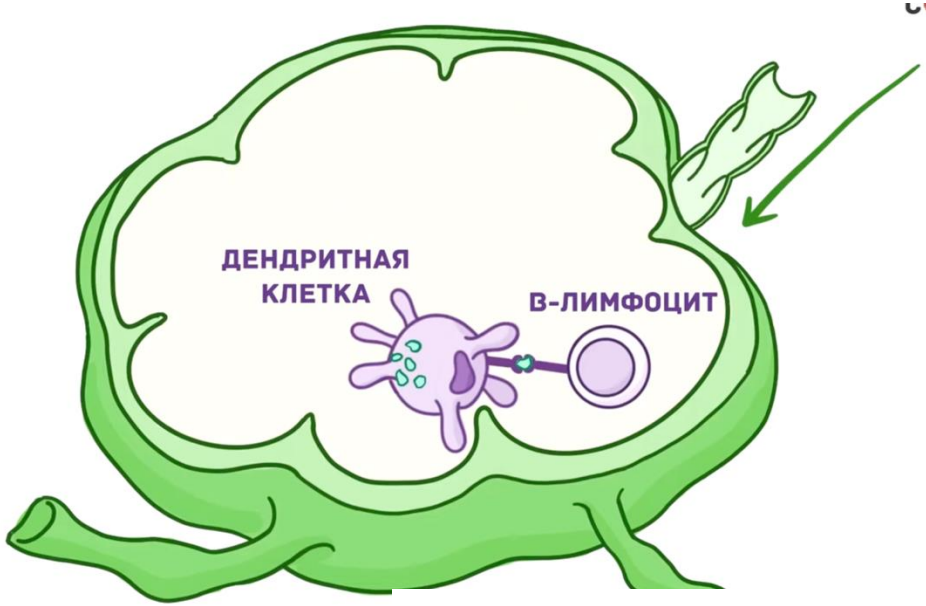
По ходу сосудов расположены **лимфатические узлы** — небольшие округлые образования от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров в диаметре. Они есть по всему телу — в области шеи, подмышек, паха, таза и конечностей, а также в грудной и брюшной полости.

Задача лимфоузлов — фильтровать лимфу, очищая её от микроорганизмов, вирусов и других вредных или ненужных веществ, которые собрала эта жидкость, омывая ткани и органы.

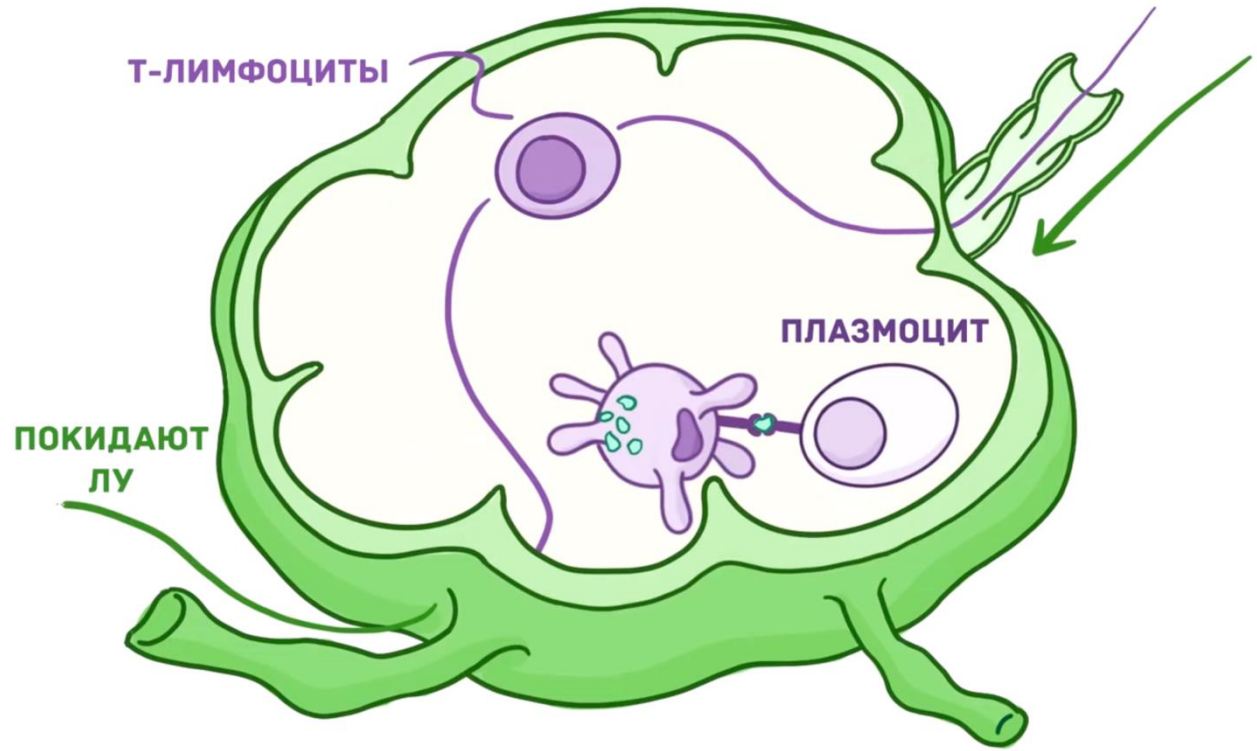
Лимфоузел собирает лимфу сразу из нескольких сосудов и фильтрует её, а затем она течёт дальше

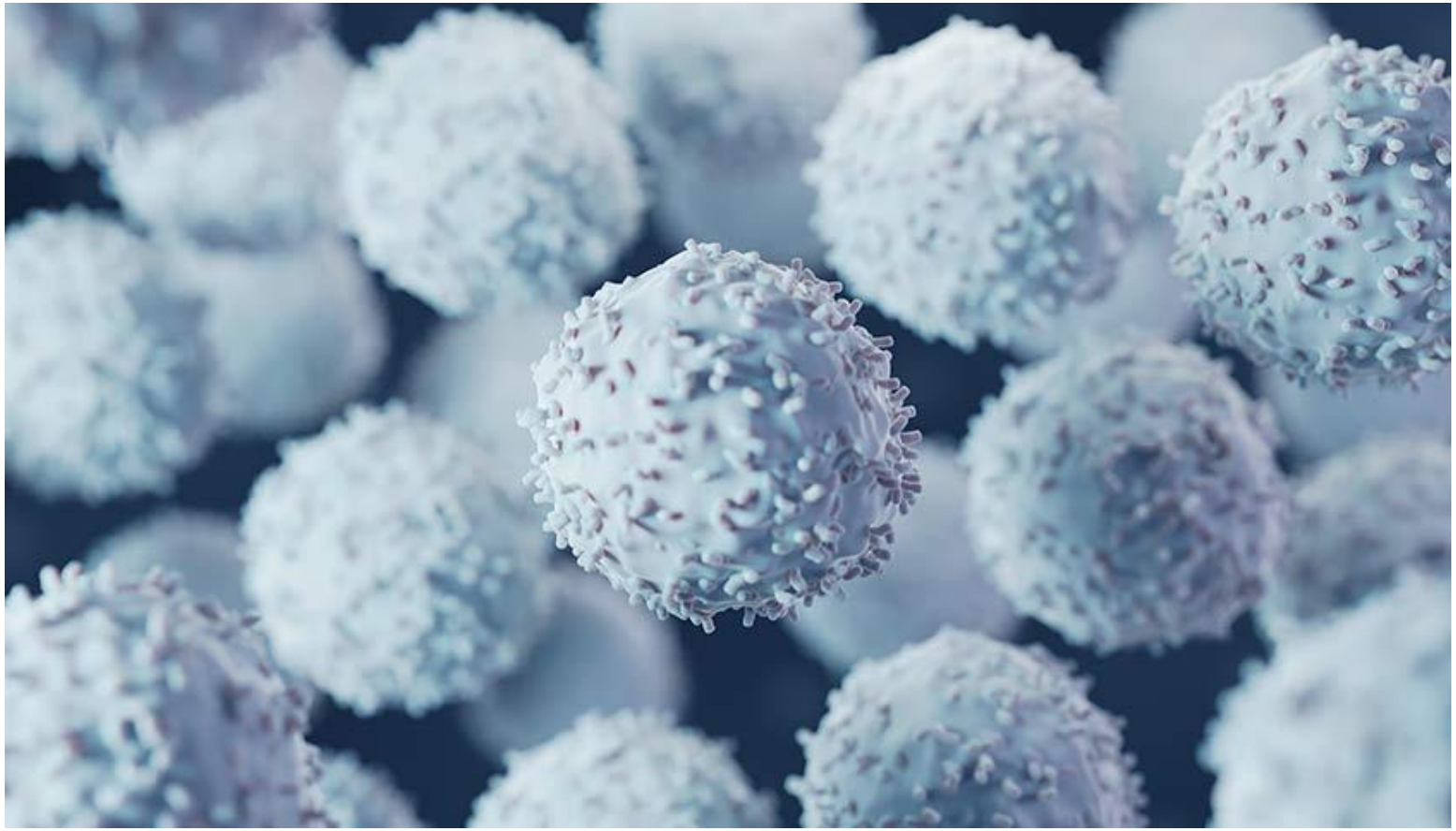
Также в лимфоузлах производятся и хранятся клетки иммунной системы, в том числе лимфоциты, макрофаги, дендритные клетки. Они активируются и начинают борьбу с инфекцией, если вместе с лимфой в узел попали вредоносные микроорганизмы.




ДЕНДРИТНАЯ КЛЕТКА
В-ЛИМФОЦИТ


ДЕНДРИТНАЯ КЛЕТКА
ПЛАЗМОЦИТ

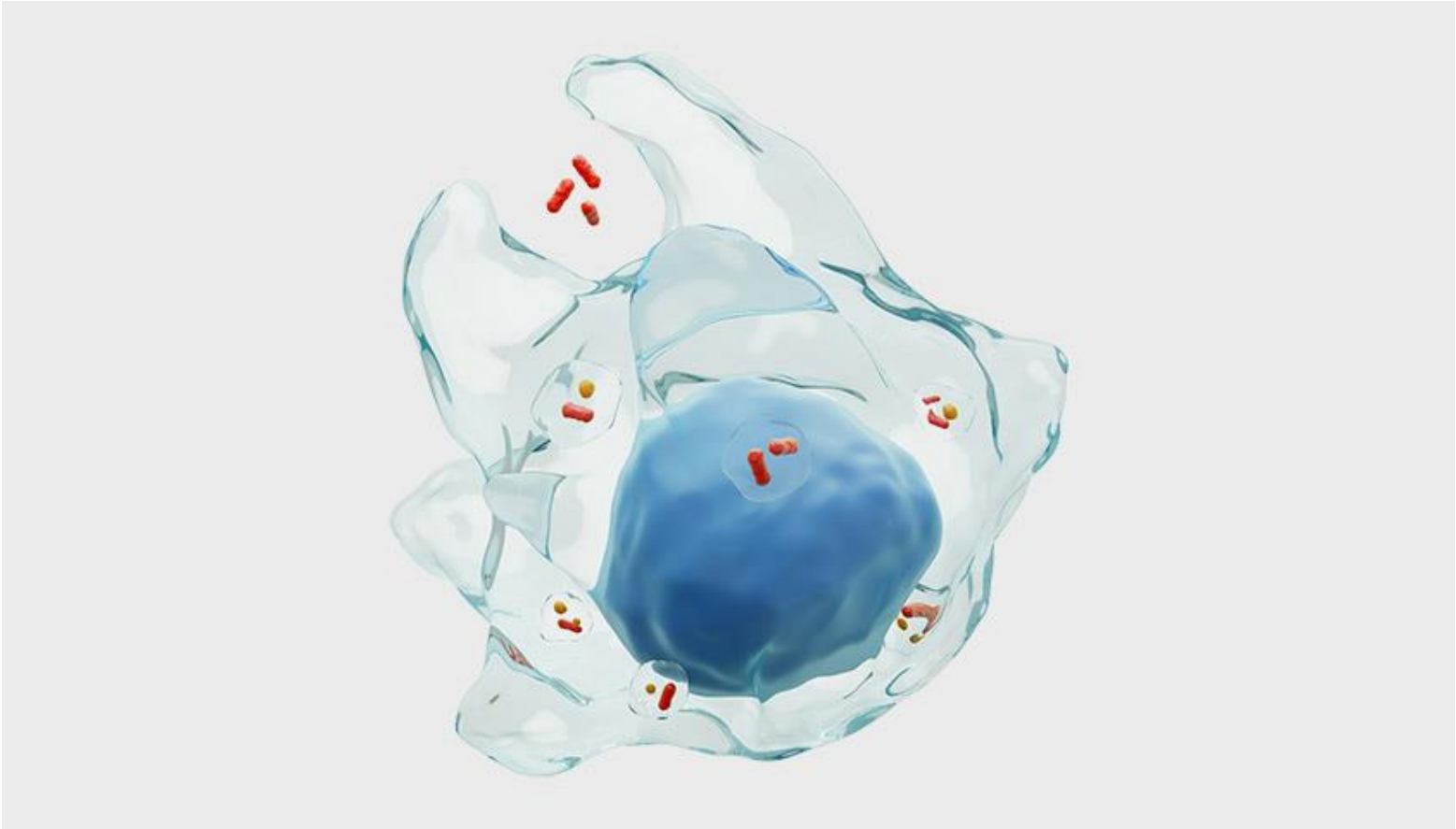

Т-ЛИМФОЦИТЫ
ПЛАЗМОЦИТ
ПОКИДАЮТ ЛУ



Лимфоциты борются не только с инфекциями, но и с другими болезнями, например уничтожают раковые клетки

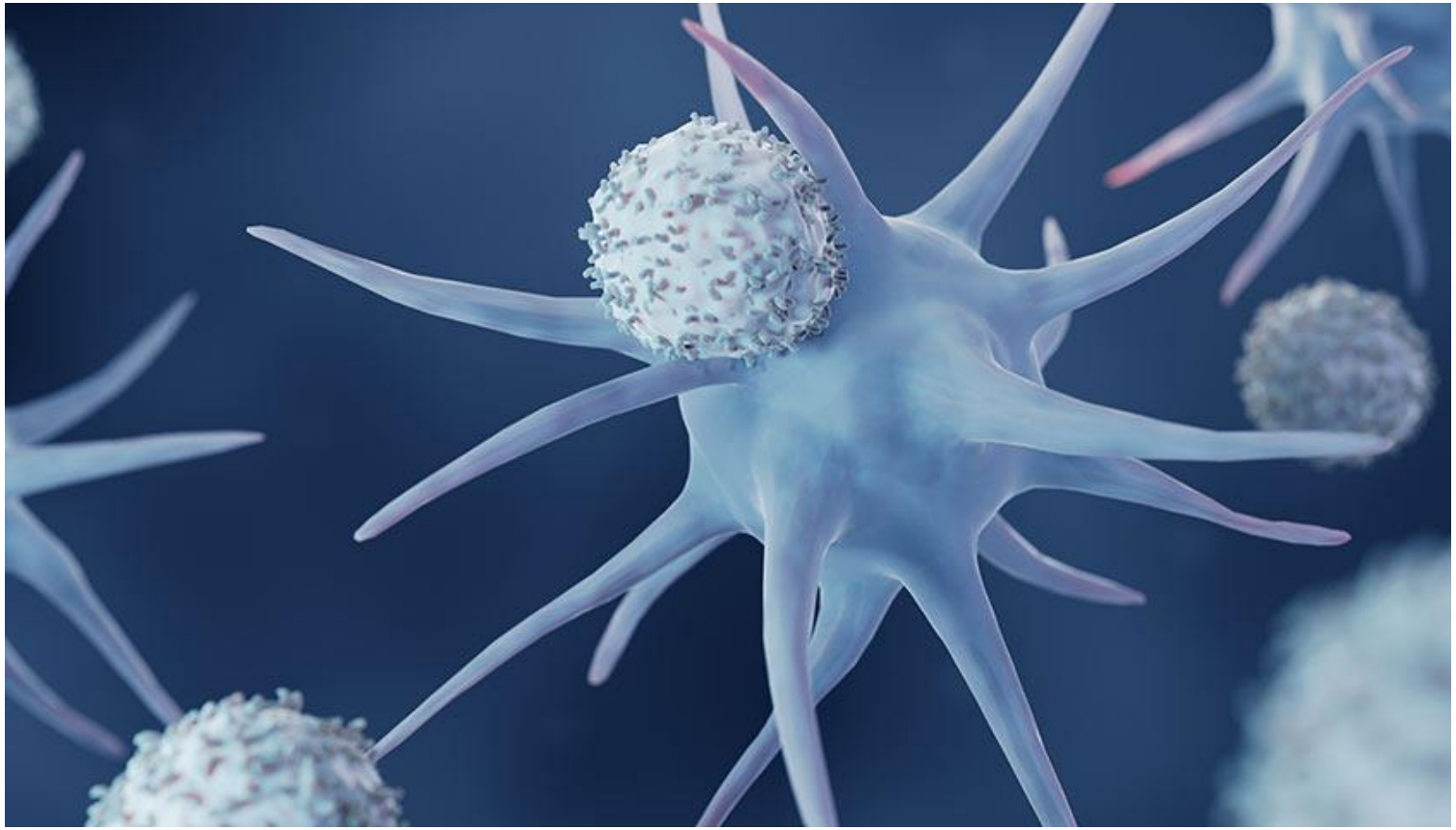
Лимфоциты — главные **клетки иммунной системы**. Они умеют распознавать и атаковать бактерии, вирусы и грибы.

Макрофаги захватывают и поглощают бактерии, препятствуя развитию инфекции



Макрофаги сражаются с инфекцией, а также производят сигнальные молекулы, которые активируют другие клетки иммунной системы.

Дендритные клетки обнаруживают болезнетворные микроорганизмы, распознают их особый «код» — антиген — и передают его лимфоцитам, активируя таким образом иммунный ответ.



Дендритная клетка (выглядит как шар со множеством отростков) активирует лимфоцит, передавая ему информацию о возбудителе инфекции

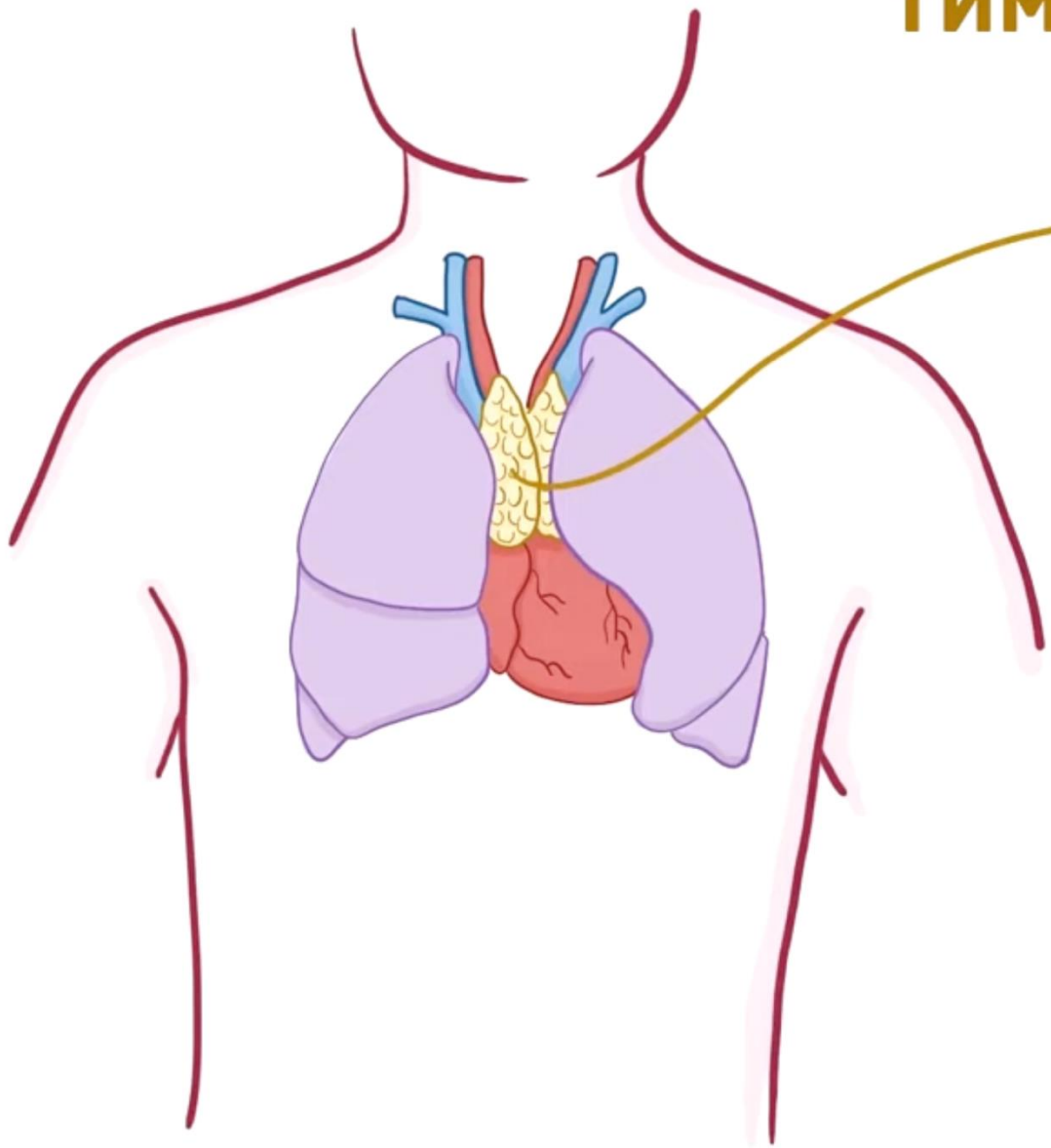
Лимфоидные органы

Лимфоидными, то есть производящими компоненты лимфы, органами называют центральные и периферические органы иммунной системы. К центральным относятся костный мозг и вилочковая железа, а к периферическим — селезёнка и лимфоидные образования в носоглотке и кишечнике. Задача лимфоидных органов — синтезировать, обучать и хранить иммунные клетки.

Костный мозг — это орган, который производит все виды клеток крови и иммунной системы. Орган располагается внутри костей грудины и рёбер, черепа, таза, ног и рук.

После того как лимфоциты образовались в костном мозге, они направляются в **тимус, или вилочковую железу**.

ТИМУС



БОЛЬШЕ ВСЕГО АКТИВЕН В НЕОНАТАЛЬНОМ ПЕРИОДЕ И ДЕТСТВЕ

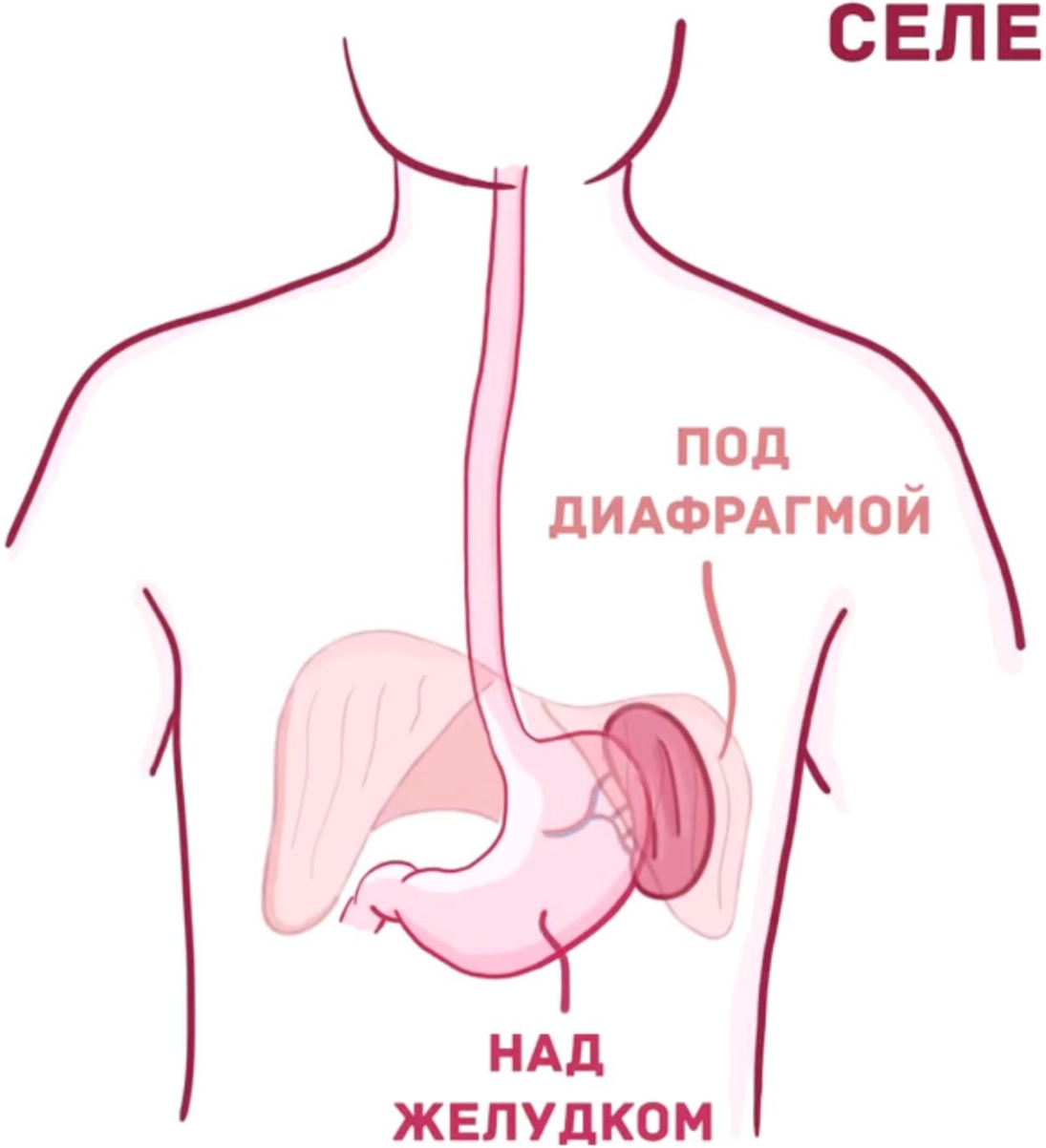
- МЕДЛЕННО АТРОФИРУЕТСЯ

✳ УЧАСТВУЕТ В РАЗВИТИИ Т-ЛИМФОЦИТОВ

Тимус (вилочковая железа) располагается в верхней части груди, по центру, чуть ниже области, где сходятся ключичные кости

В тимусе лимфоциты дозревают и дифференцируются, то есть учатся выполнять разные функции. Какие-то из них впоследствии будут распознавать чужеродные клетки и бороться с ними, другие — узнавать свои собственные клетки и предотвращать аутоиммунные реакции.

СЕЛЕЗЕНКА

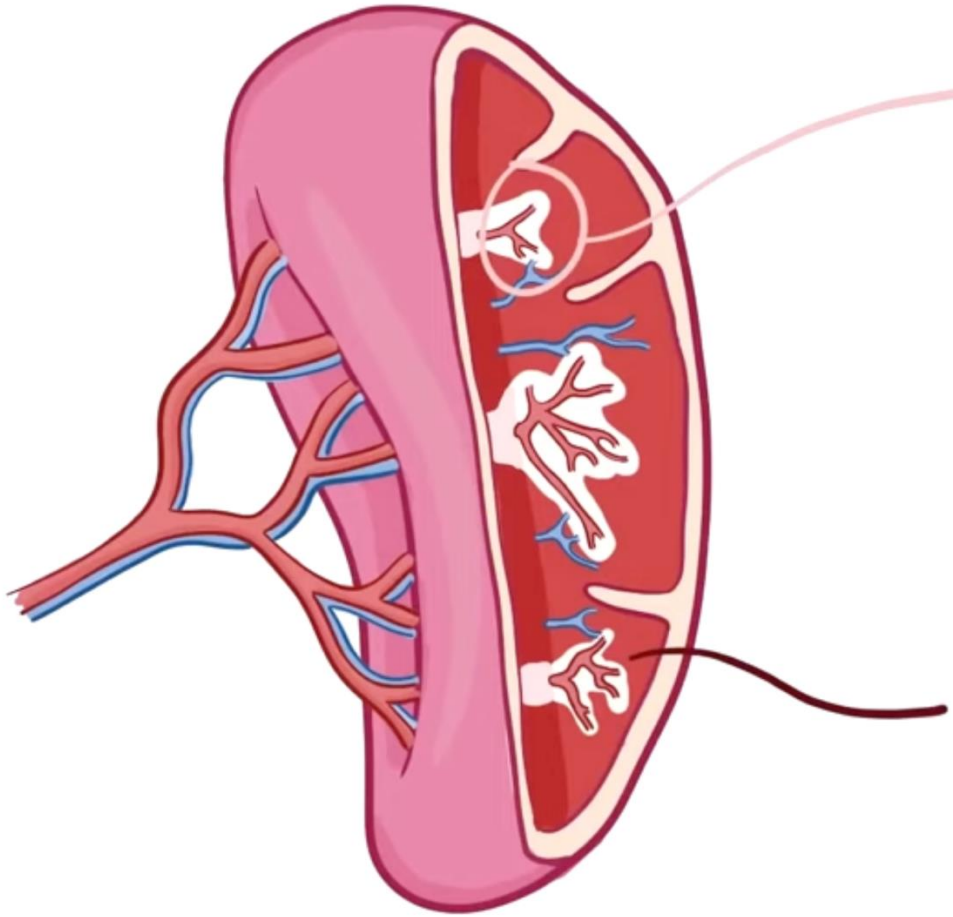


Ещё один орган, где происходит дифференциация лимфоцитов, — **селезёнка**. Он участвует в развитии иммунной памяти, то есть хранит информацию о встрече с тем или иным микроорганизмом и образцы защитных клеток, которые однажды помогли справиться с вызванной им болезнью. Благодаря этому при повторной встрече с инфекциями организму становится намного проще бороться с ними. Также в селезёнке содержится запас иммунных клеток — в случае необходимости они мобилизуются и отправляются к месту воспаления.

Лимфоидная ткань располагается в тех местах, где организм наиболее часто встречается с чужеродными агентами. Например, **миндалины**, расположенные в носоглотке и ротоглотке, защищают от микроорганизмов, которые попадают с воздухом, а **лимфоидные клетки кишечника** — от тех, что поступают с пищей.

СЕЛЕЗЕНКА

ДЕПО ДЛЯ ЭРИТРОЦИТОВ И ТРОМБОЦИТОВ



БЕЛАЯ ПУЛЬПА

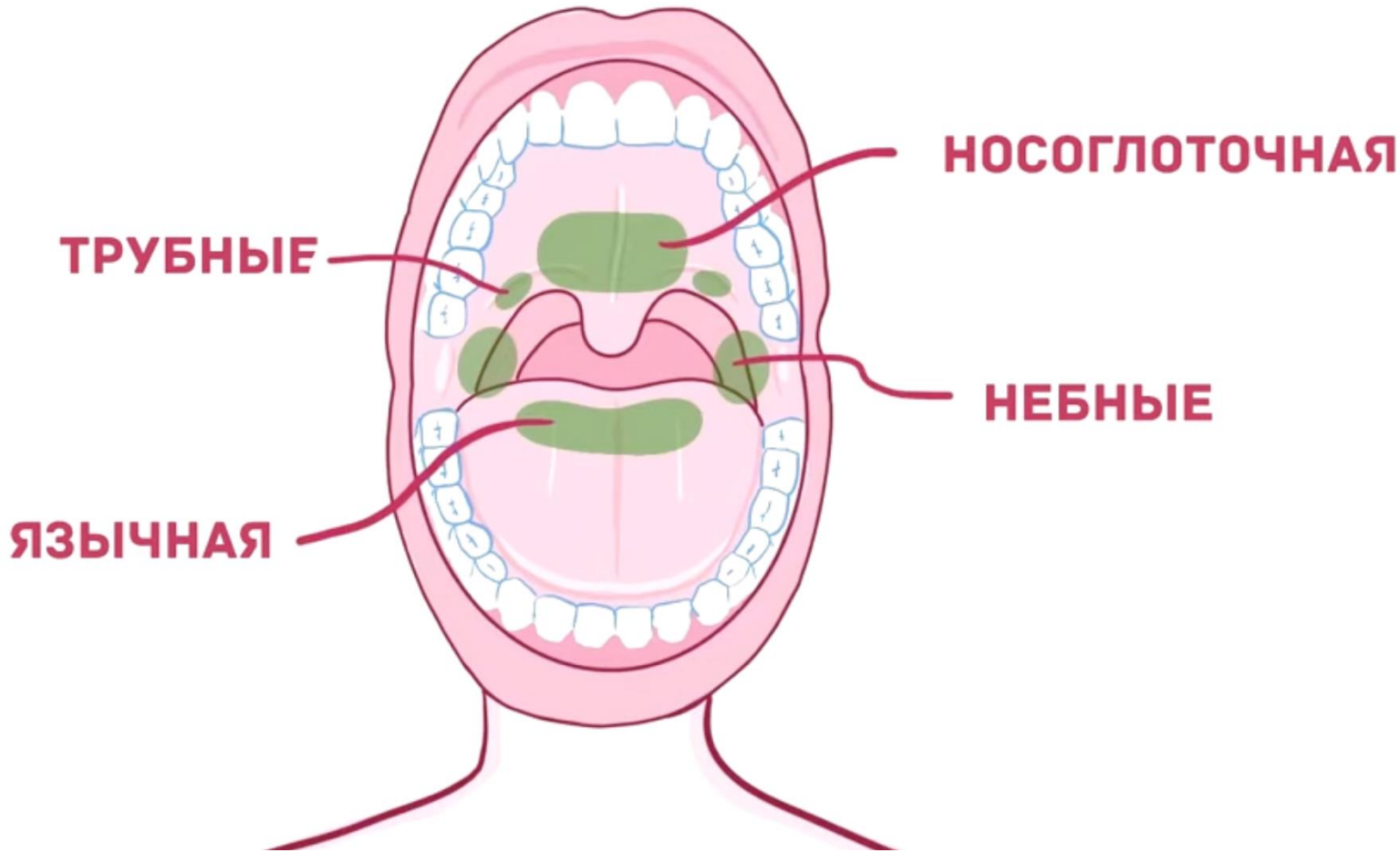
- БАКТЕРИИ, СВЯЗАННЫЕ С АНТИТЕЛАМИ
- АНТИТЕЛА В-ЛИМФОЦИТОВ
- ФИЛЬТРУЕТ КРОВЬ

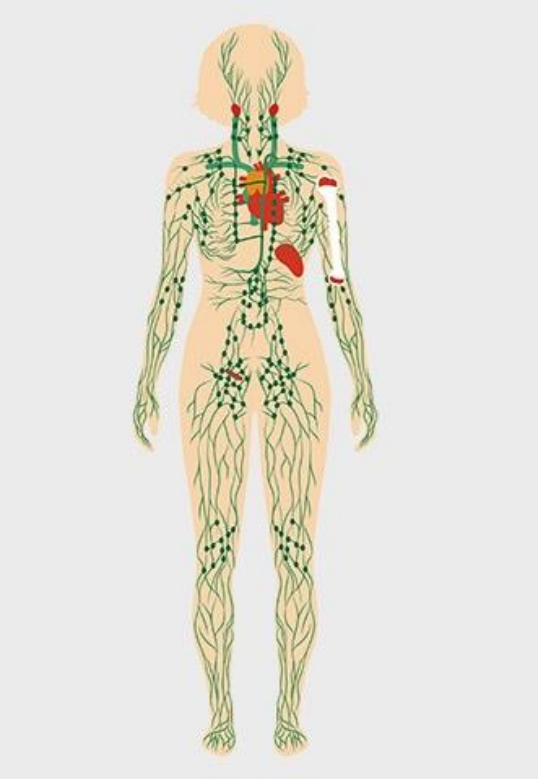
КРАСНАЯ ПУЛЬПА

- УНИЧТОЖАЮТСЯ СТАРЫЕ И ДЕФЕКТНЫЕ ЭРИТРОЦИТЫ

МИНДАЛИНЫ

ФОРМИРУЮТ КОЛЬЦО ИЗ ЛИМФОИДНОЙ ТКАНИ





В теле человека около 600 лимфоузлов

Увеличенный лимфоузел — один из признаков воспалительного процесса

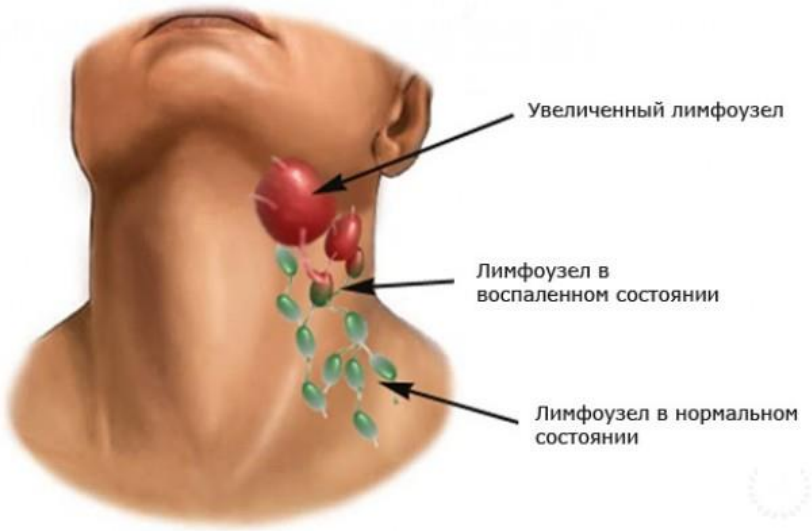
Некоторые лимфоузлы расположены близко к поверхности кожи, но, если человек здоров, нащупать их сложно. Если лимфатический узел увеличился и стал болезненным, это может говорить о воспалении и поражении близлежащего органа инфекцией.



Патологии лимфатической системы

Лимфедема - нарушение оттока лимфы, которое ведет к её накоплению в тканях, вызывая отек. Это может быть врождённая патология или результат удаления лимфатических узлов (например, после онкологических операций).
Лимфома - злокачественные опухоли лимфоидной ткани.
Инфекции лимфатической системы - лимфангит (воспаление лимфатических сосудов), лимфаденит (воспаление лимфатических узлов).
Иммунные нарушения - патологии, связанные с нарушениями работы Т- и В-лимфоцитов (например, ВИЧ).







Применение в медицинской инженерии

1. **Компрессионная терапия и устройства для предотвращения лимфедемы**. Разработка компрессионных рукавов и аппаратов для стимуляции лимфотока.

2. **Биосенсоры для мониторинга лимфатической функции.** Создание сенсоров для диагностики лимфатической активности, например, анализаторы лимфы.

1. **Хирургические инструменты для восстановления лимфотока.** Микрохирургические техники для лимфовенозных анастомозов.

2. **Имплантаты и искусственные лимфатические клапаны.** Перспективы создания устройств, регулирующих лимфоток при нарушениях работы естественных клапанов.