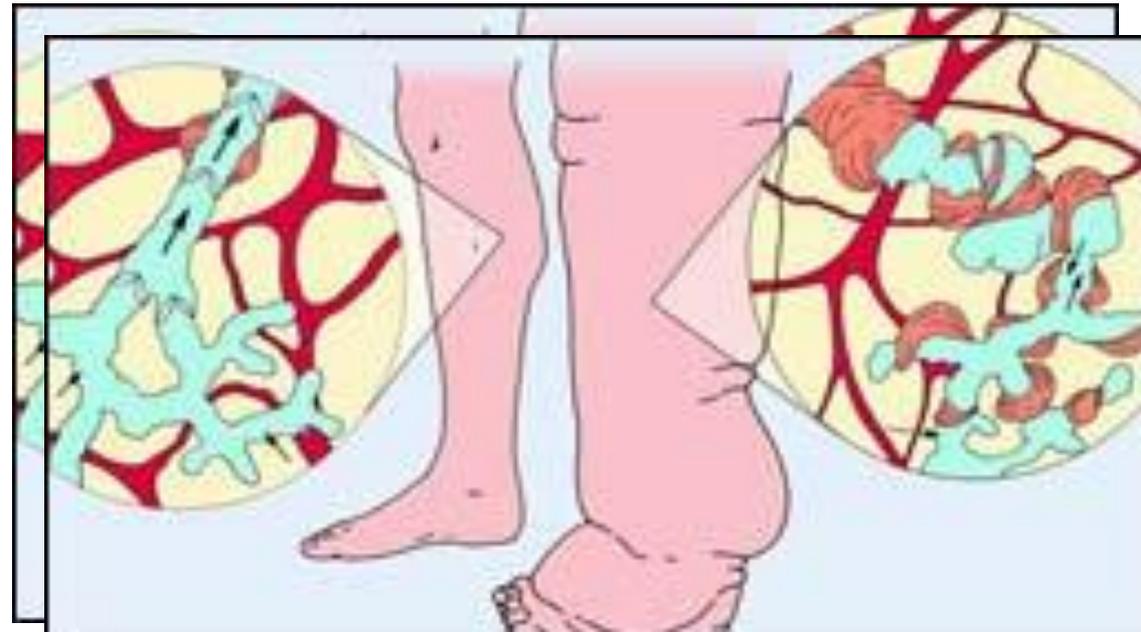


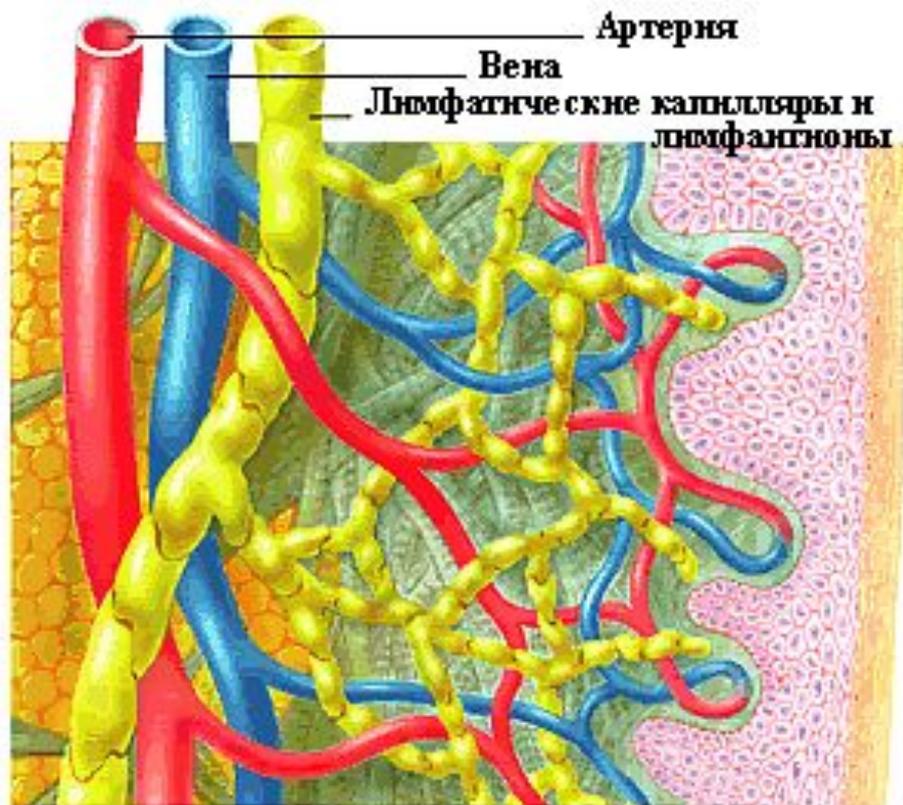
# Современное представление о физиологии лимфотока и методы его изучения



проф. Н. Ерофеев  
СПбГУ, Медицинский факультет

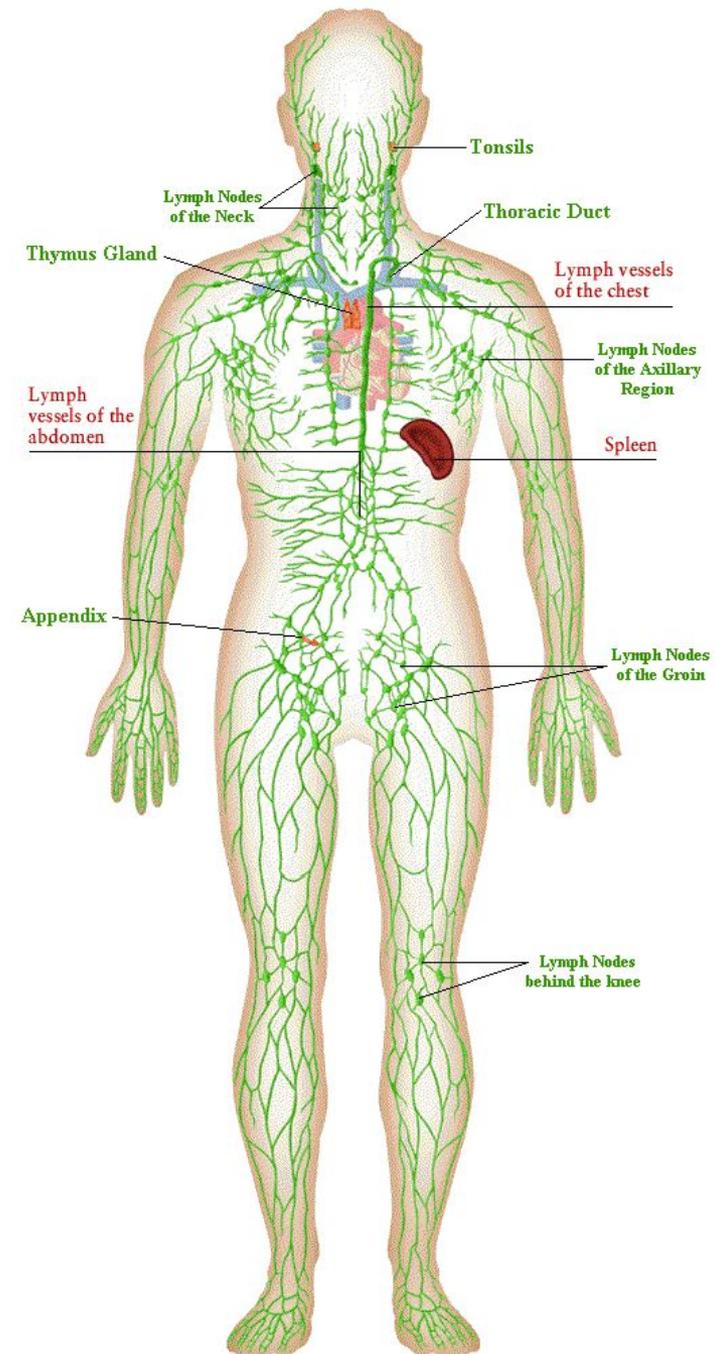
*Лимфатические сосуды – это «нити жемчуга» в теле человека*

- Исследование активности внутренних лимфатических насосов дает понимание механизмов, контролирующего образование лимфы, ее движение и представляет особый интерес для предотвращения и лечения лимфедемы
- Познание дисфункции лимфатического русла полезно также для улучшения нашего понимания некоторых процессов, таких как заживление ран и развитие язв диабетической стопы, распространение метастатических клеток



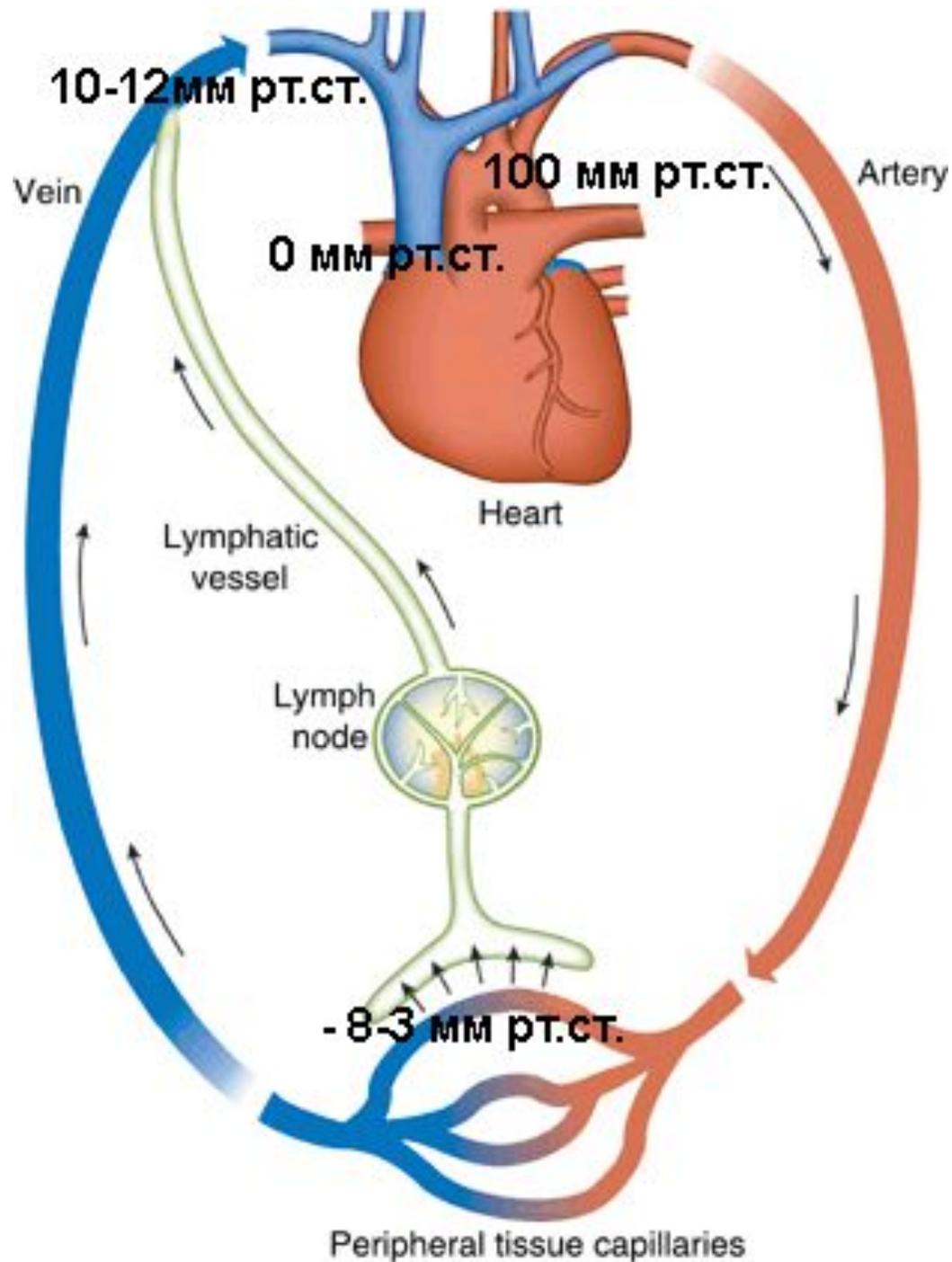
**В лимфатическом русле  
отсутствует центральный насос**

**При этом лимфа движется против  
градиента давления от  
инициальных лимфатических  
капилляров, расположенных  
среди клеток в тканях,  
до впадения в венозное русло**



Градиенты давления в  
системах кровообращения и  
лимфотока

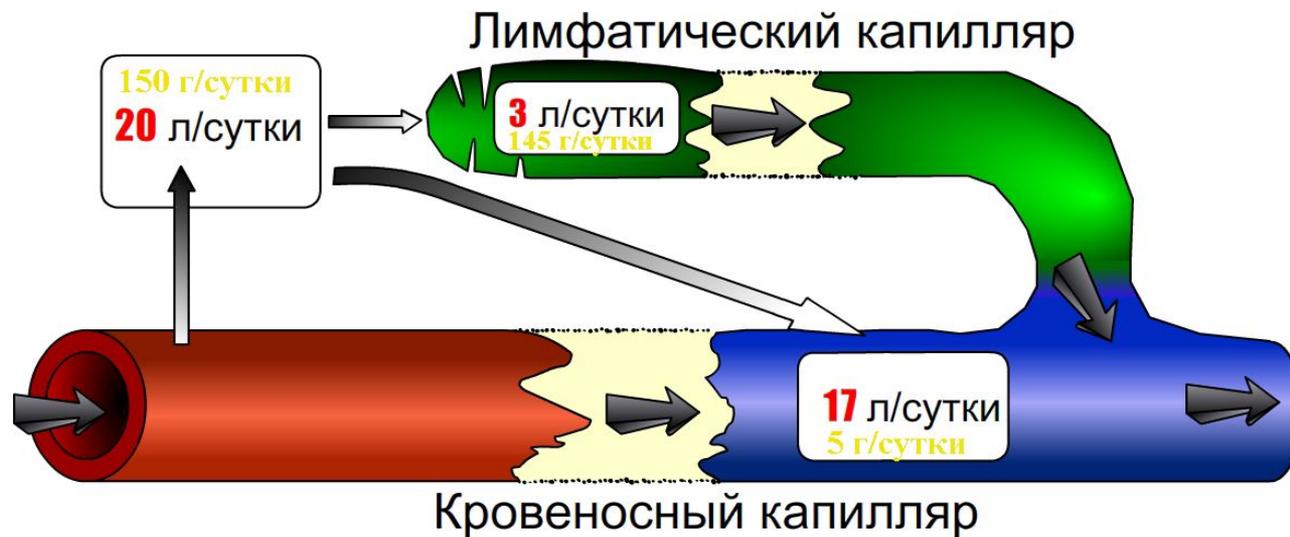
*«Парадокс» движения  
лимфы против градиента  
давления*



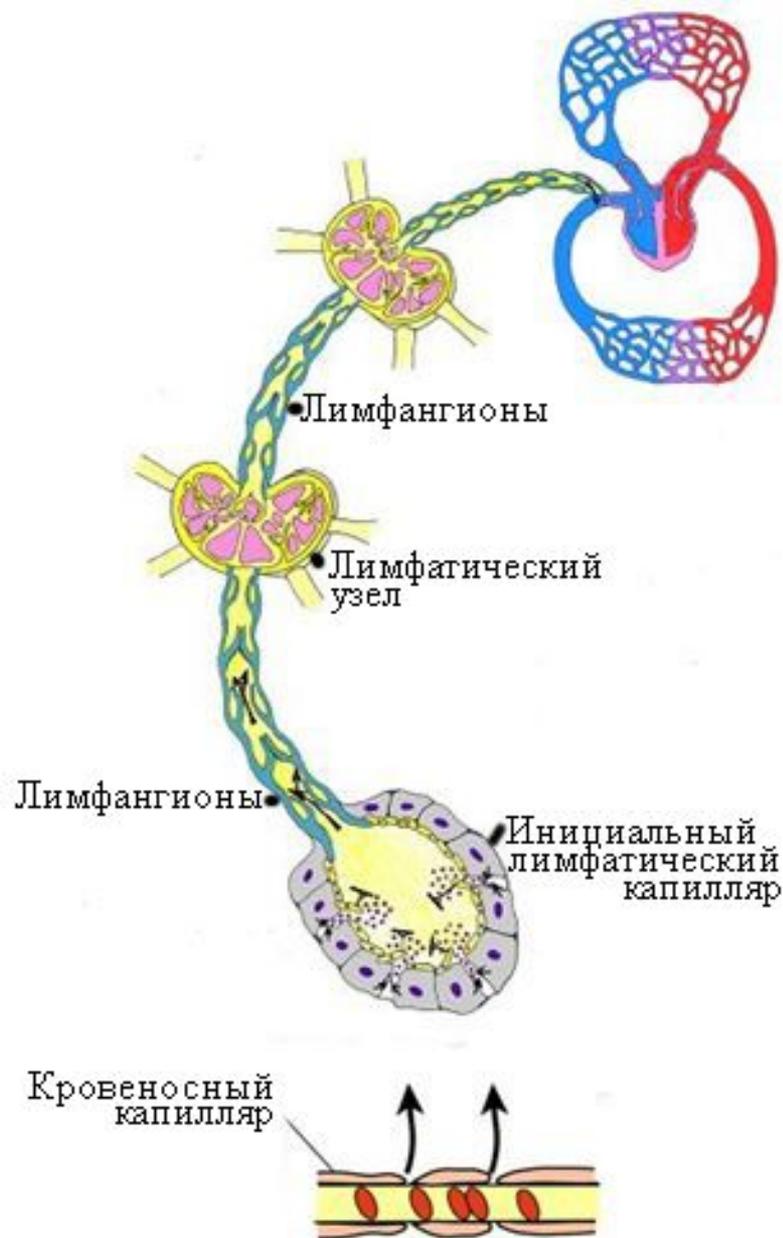
## Функции лимфатического русла

- **Поддерживает постоянство состава и объема общей воды тела и интерстициальной жидкости и микросреды клеток тканей**
- *Возвращает белки из межклеточного пространства в кровь*
- **Контроль сил Старлинговского равновесия**
- *Транспорт липидов из кишечника в кровь*
- *Обеспечивает механизмы иммунитета*
- **Химический сигналинг – транспорт гормонов, ферментов, иммунных клеток и др. БАВ)**
- **Транспорт клеток опухолей**
- *Лимфангиогенез*
- **Поддержание отрицательного давления в интерстициальном пространстве**

Лимфатическое русло – уникальный обменник:  
ежедневно с лимфой в венозную систему возвращается **3**  
л жидкости и **145** г белка



# Путь лимфы и состав лимфатического русла



Лимфатическую систему  
открыл **Gasparo**  
**Asellius** в **1622**

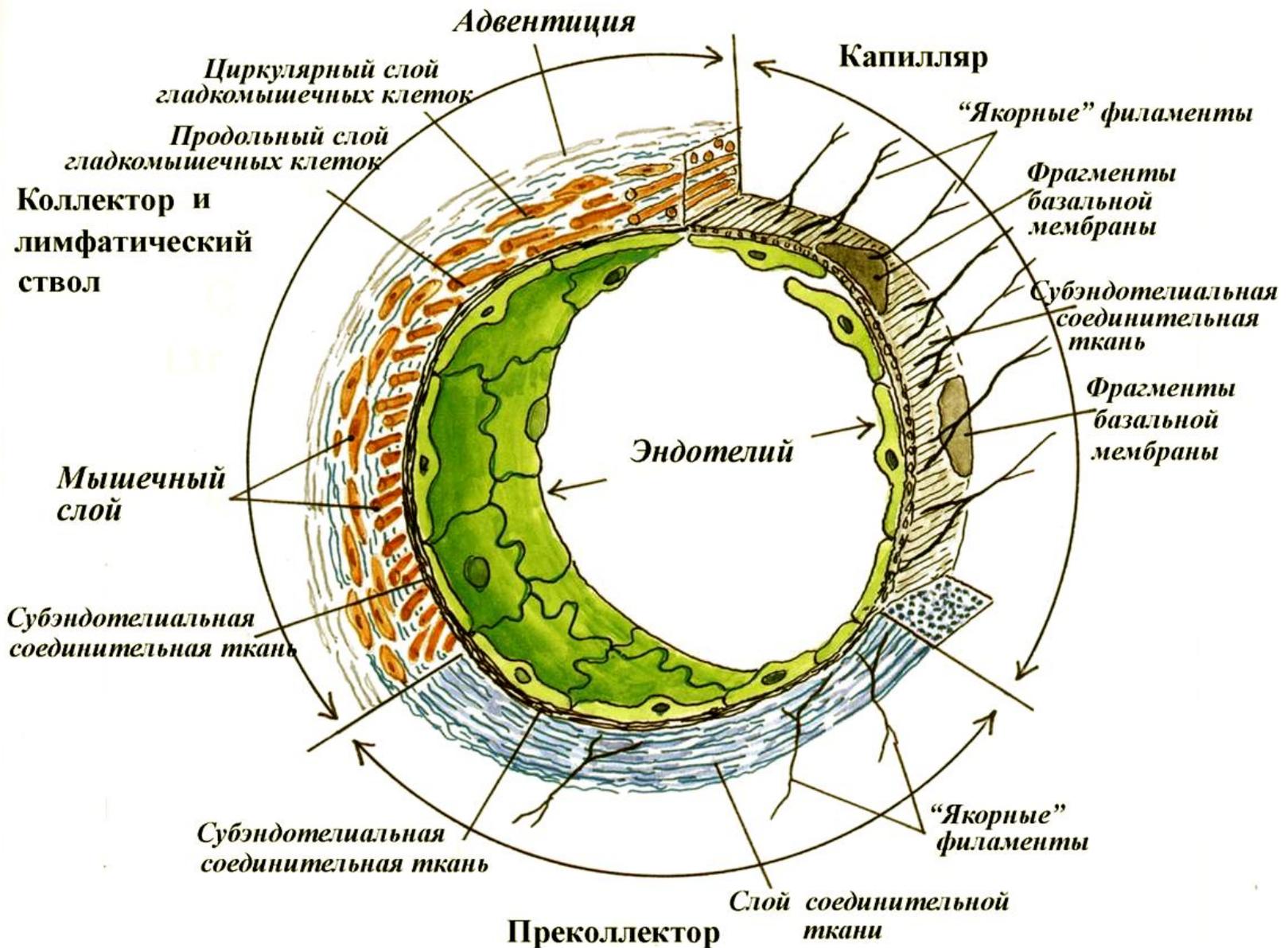
ГОДУ, итальянский врач-  
хирург, анатом, профессор  
Падуанского Университета



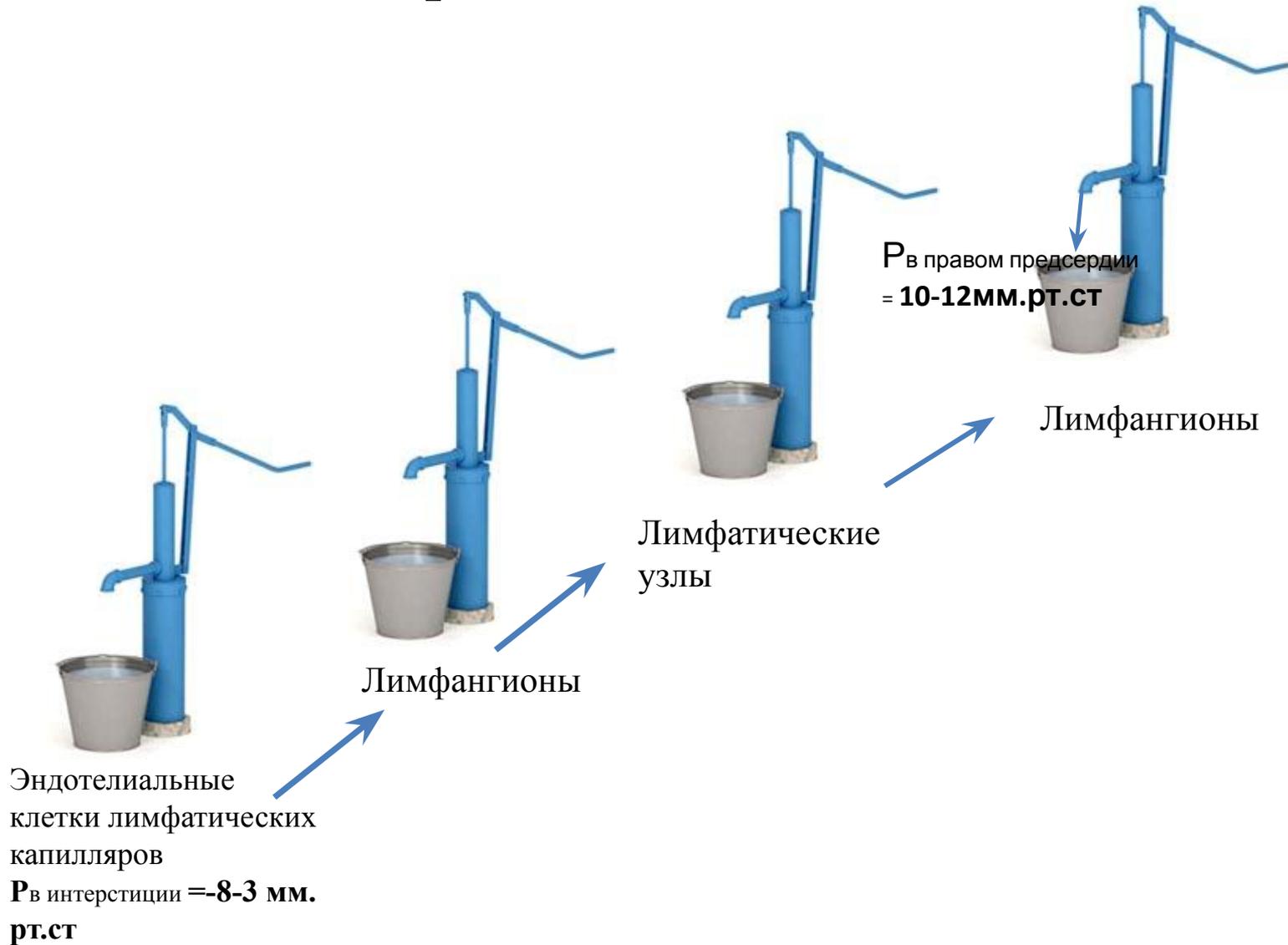
Основы топографии лимфатических сосудов заложил **Mascagni (1752-1815)**, анатом и великолепный гравёр



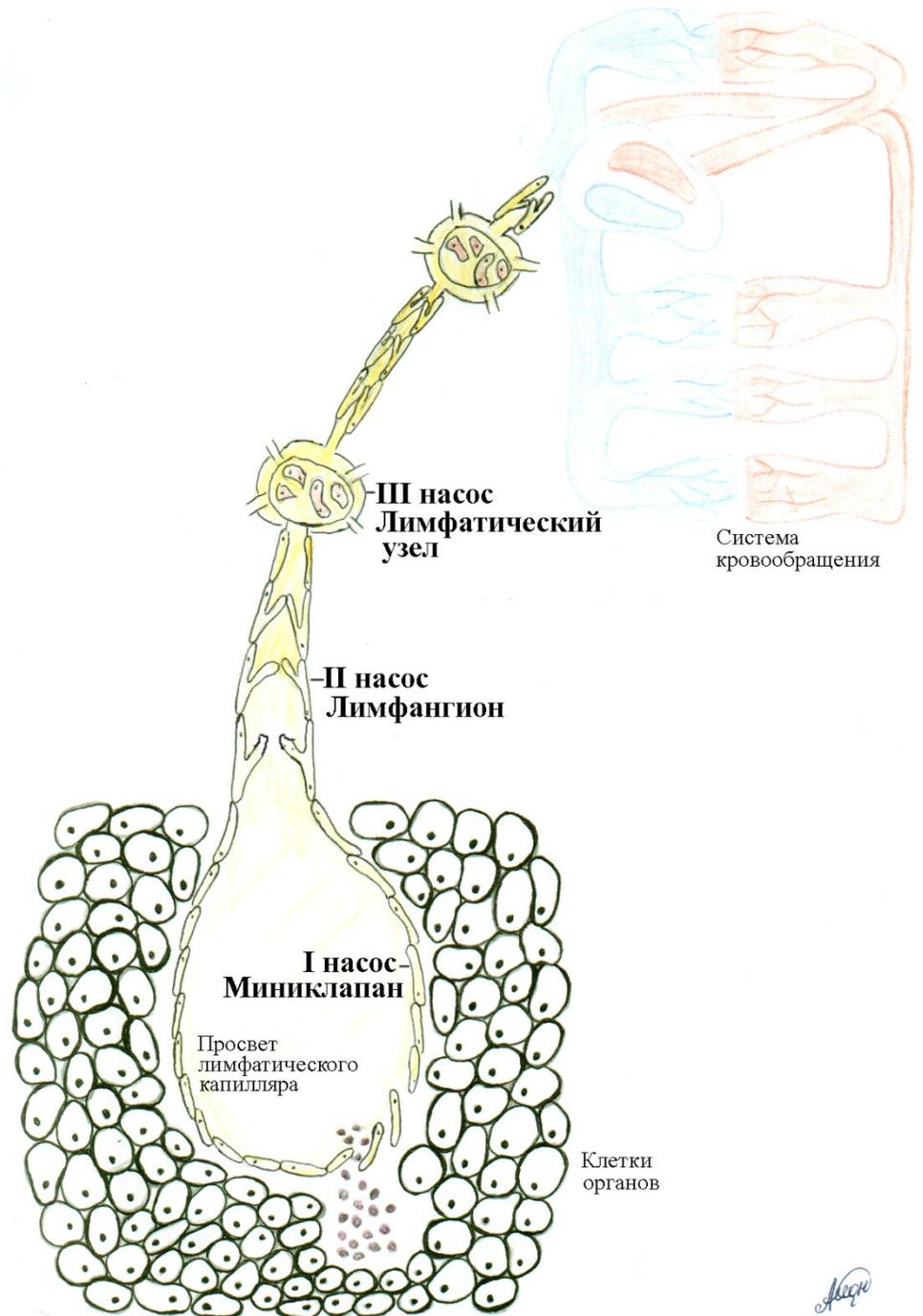
# Строение стенки лимфатического русла



# Лимфатическое русло – система механофизиологических насосов

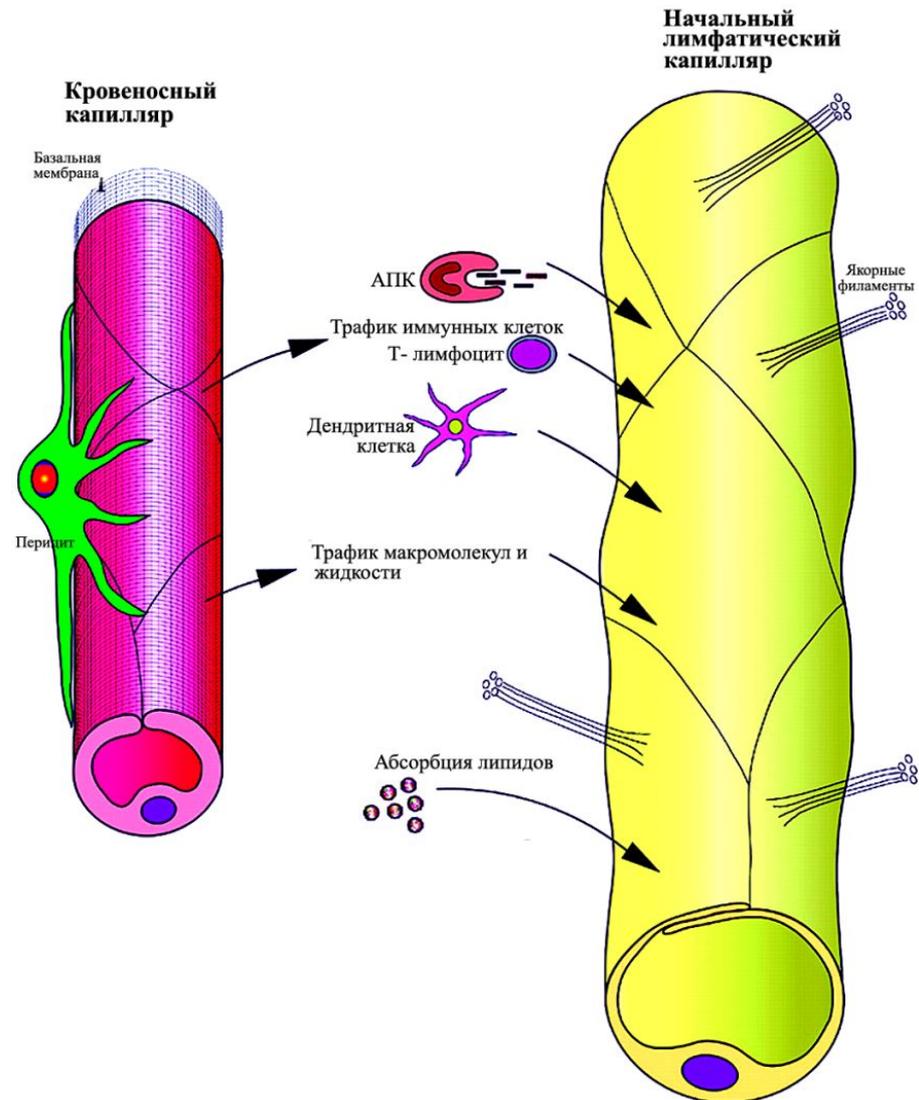


# Лимфатическое русло - система насосов



Стенка кровеносного  
капилляра содержит три  
слоя: ЭК + БМ +  
перициты

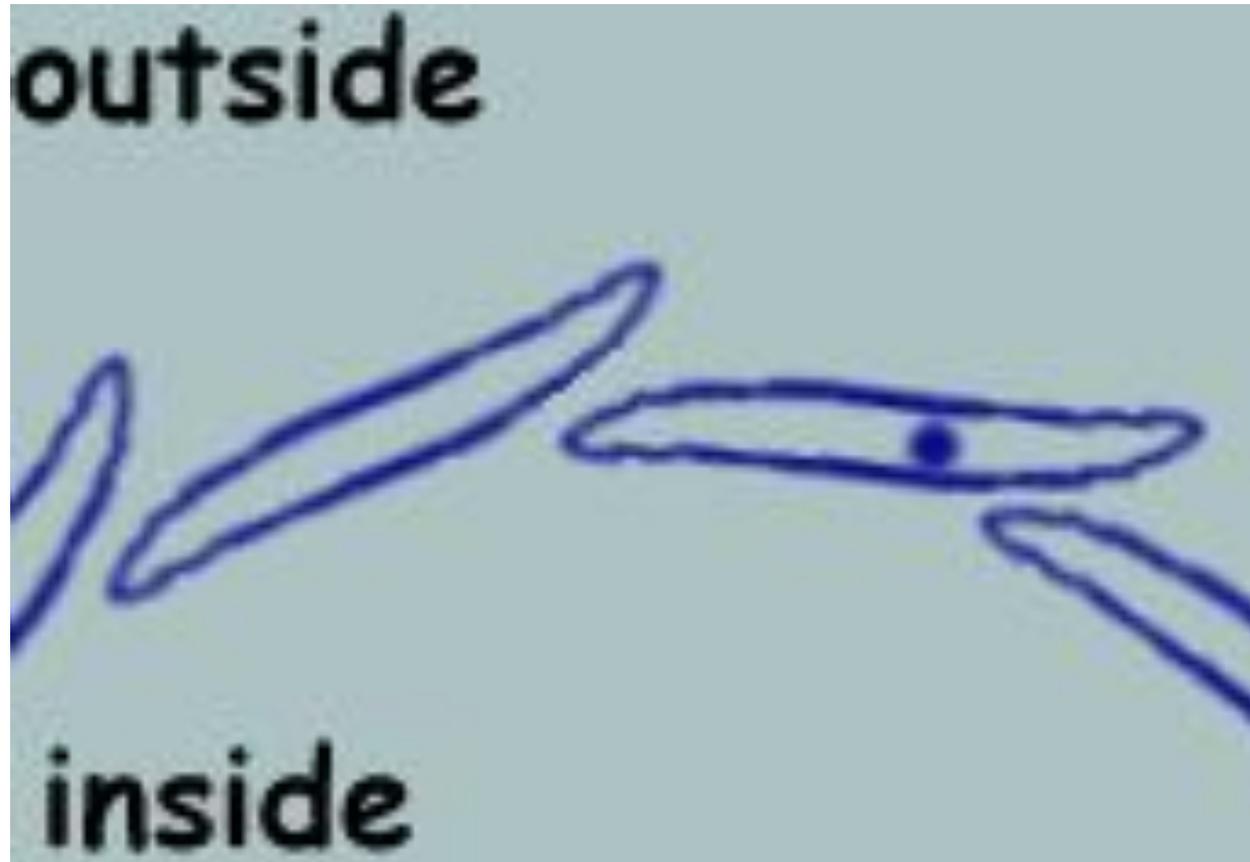
Стенка лимфатического  
капилляра состоит из  
монослоя ЭК



Первый насос –  
**МИНИКЛАПАН** работает  
циклами:

▶ *Диастола*: вход  
жидкости в  
просвет капилляра

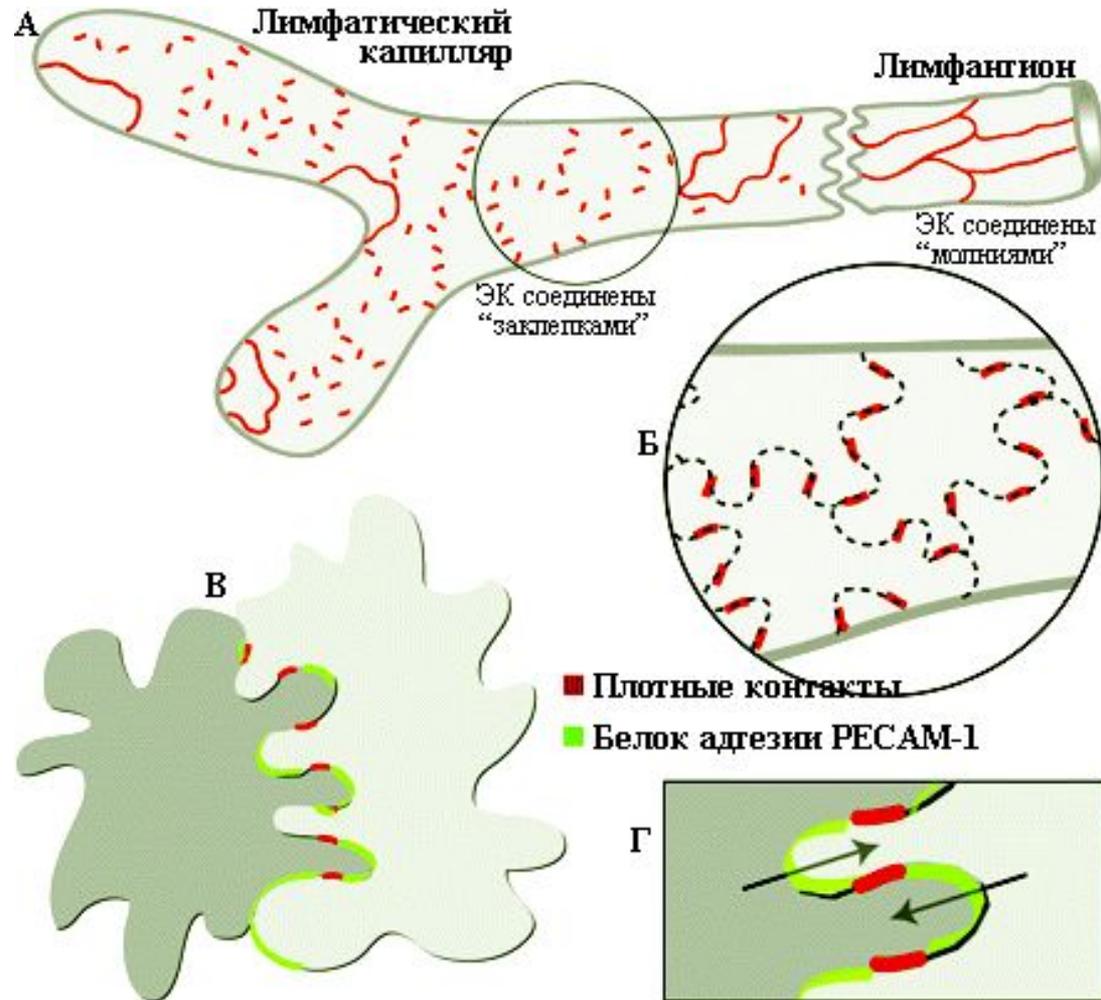
▶ *Систола*:  
продвижение  
лимфы в  
лимфангион



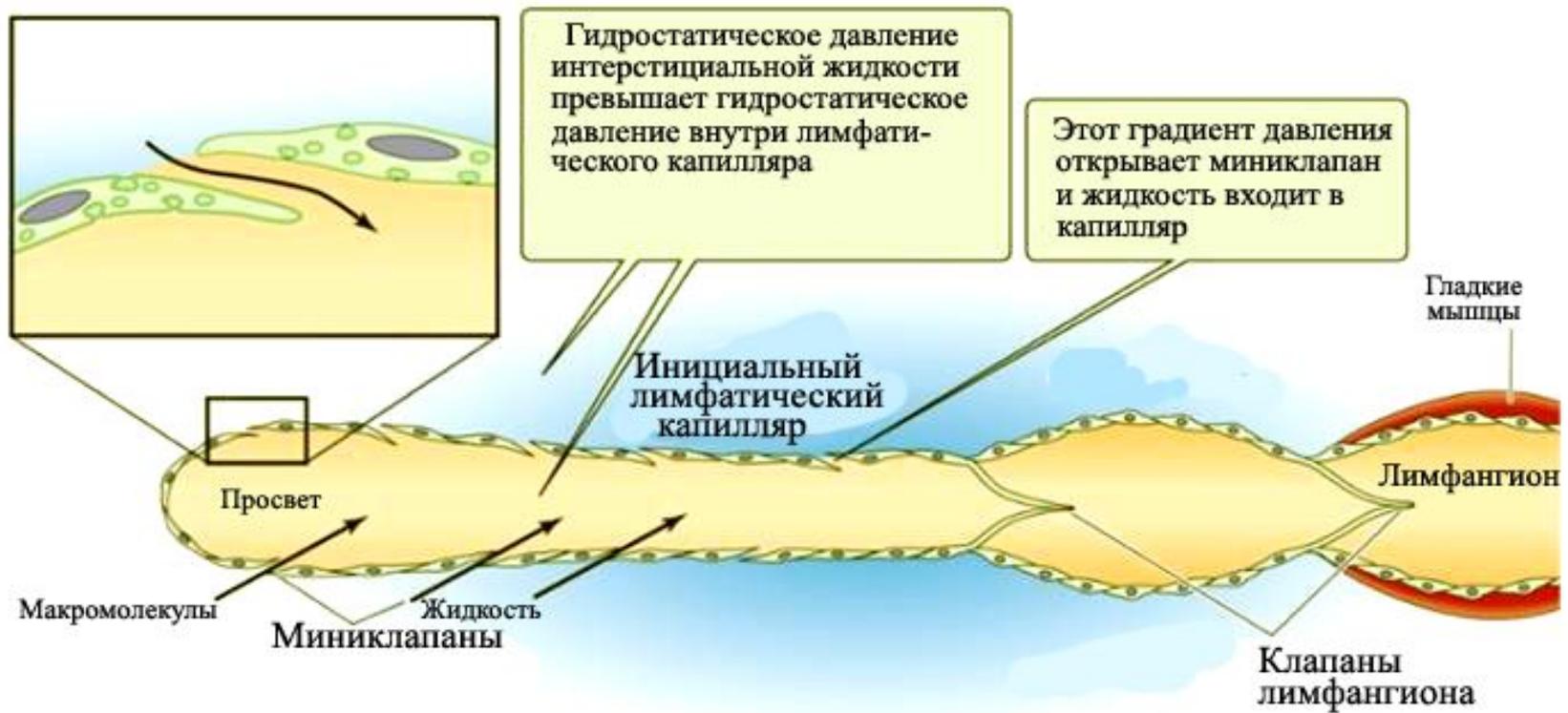
ЭК лимфатических капилляров  
похожи на листья дуба (В)

Белки адгезии PECAM-1 (заклепки)  
легко проницаемы для жидкости и  
белков

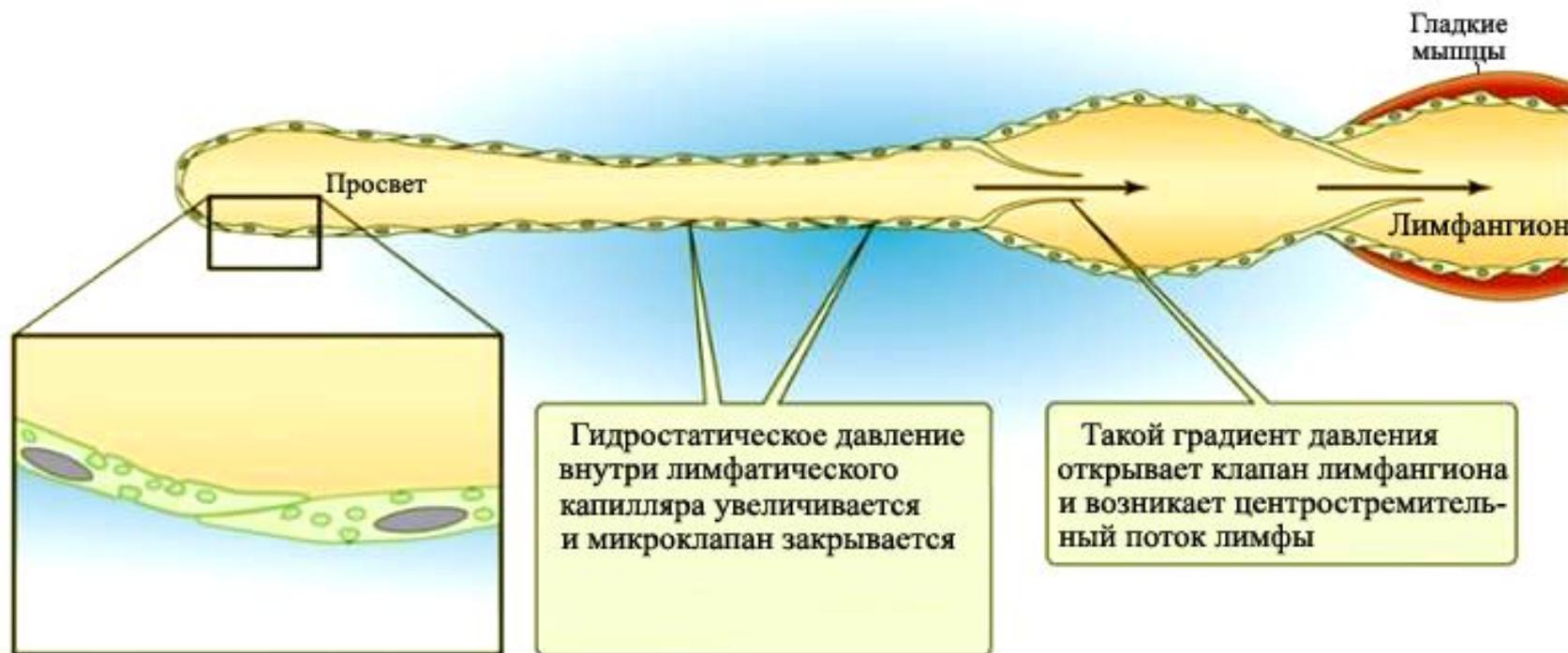
Плотные контакты (молнии) между  
эндотелиальными клетками  
непроницаемы для жидкости и  
белков



# Механизм диастолы

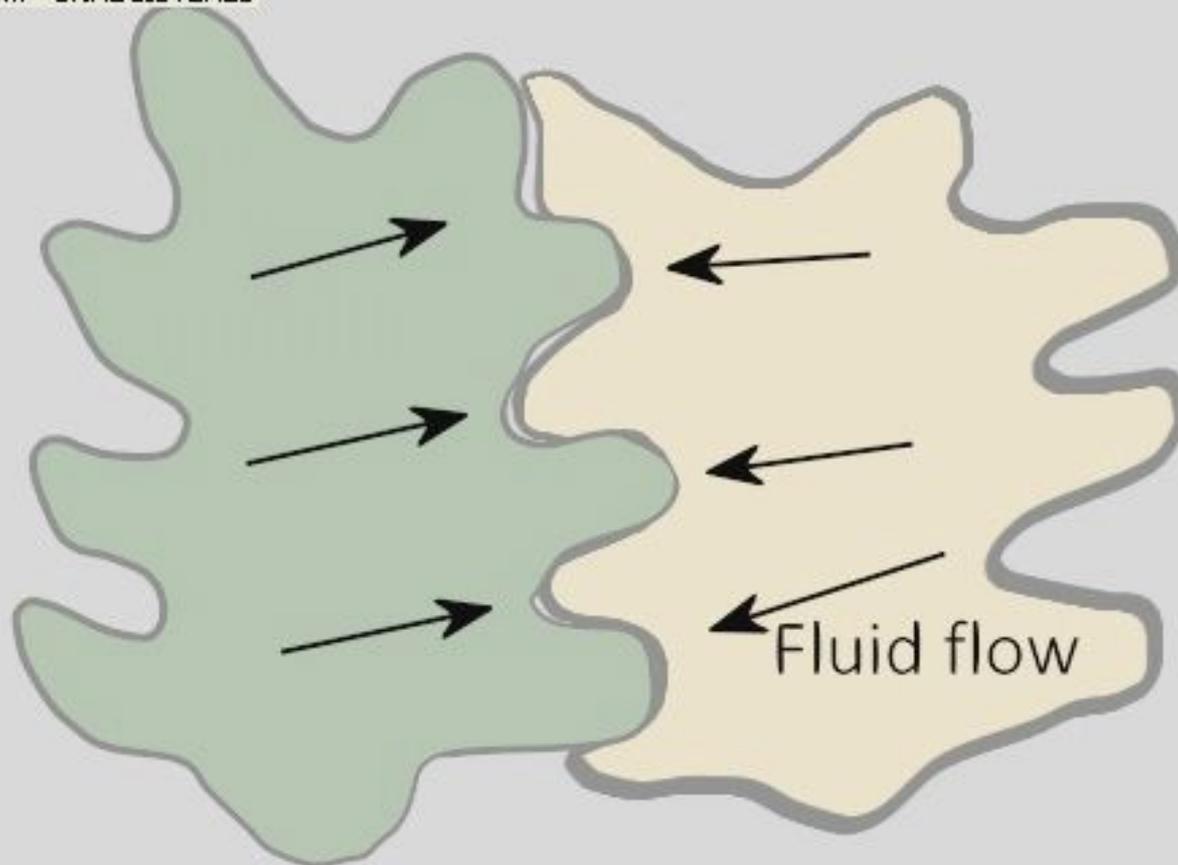


# Механизм систолы



Эндотелиальные клетки –  
миниклапаны. Насосы,  
которые работают как крылья  
бабочки

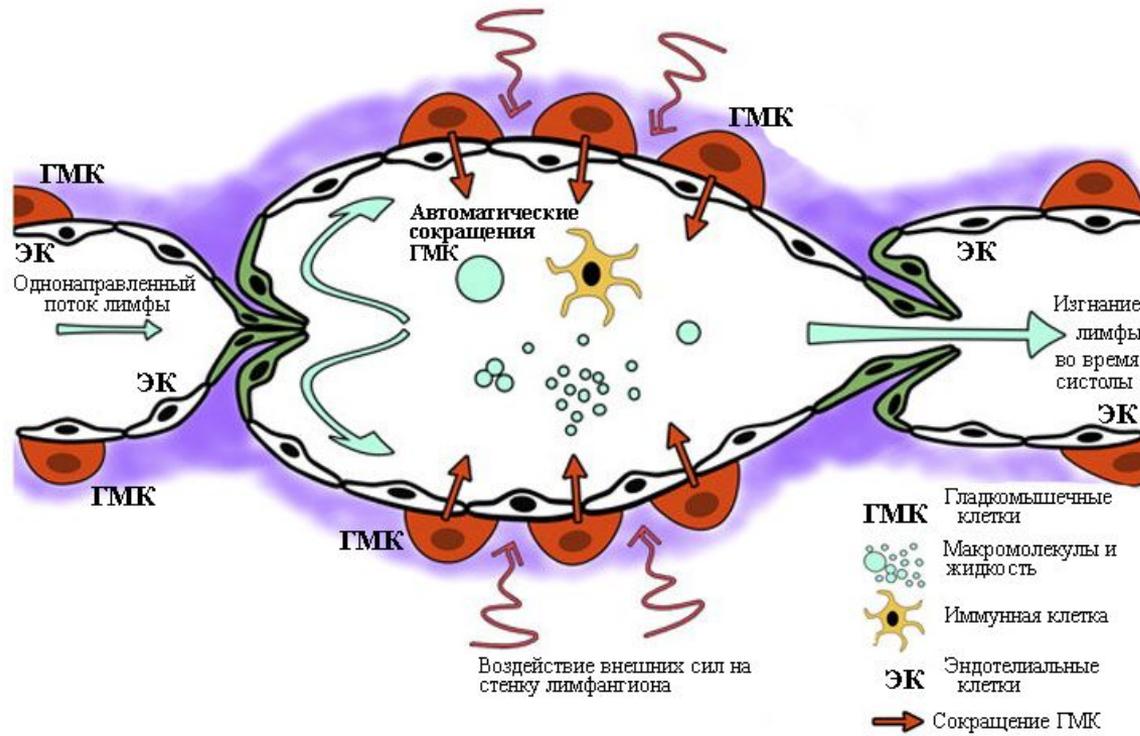
www.gif-animator.com - UNREGISTERED



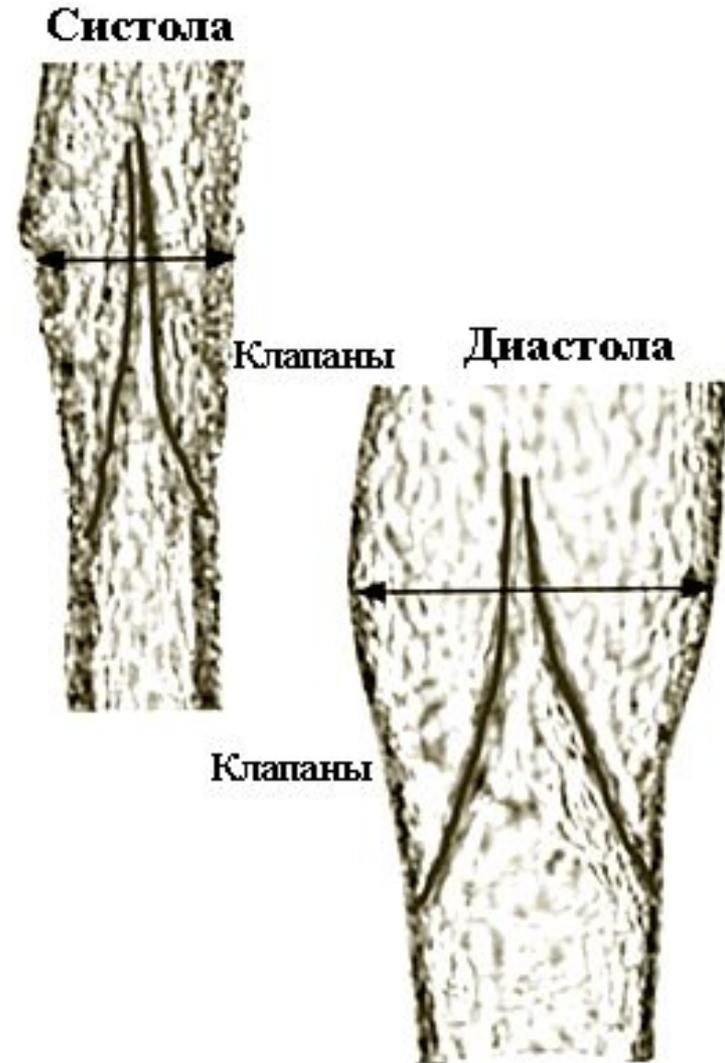
# Второй насос - лимфангион

прокачивает лимфу в две фазы:

*систола - диастола*



- ГМК Гладкомышечные клетки
- Макромолекулы и жидкость
- Иммунная клетка
- ЭК Эндотелиальные клетки
- Сокращение ГМК

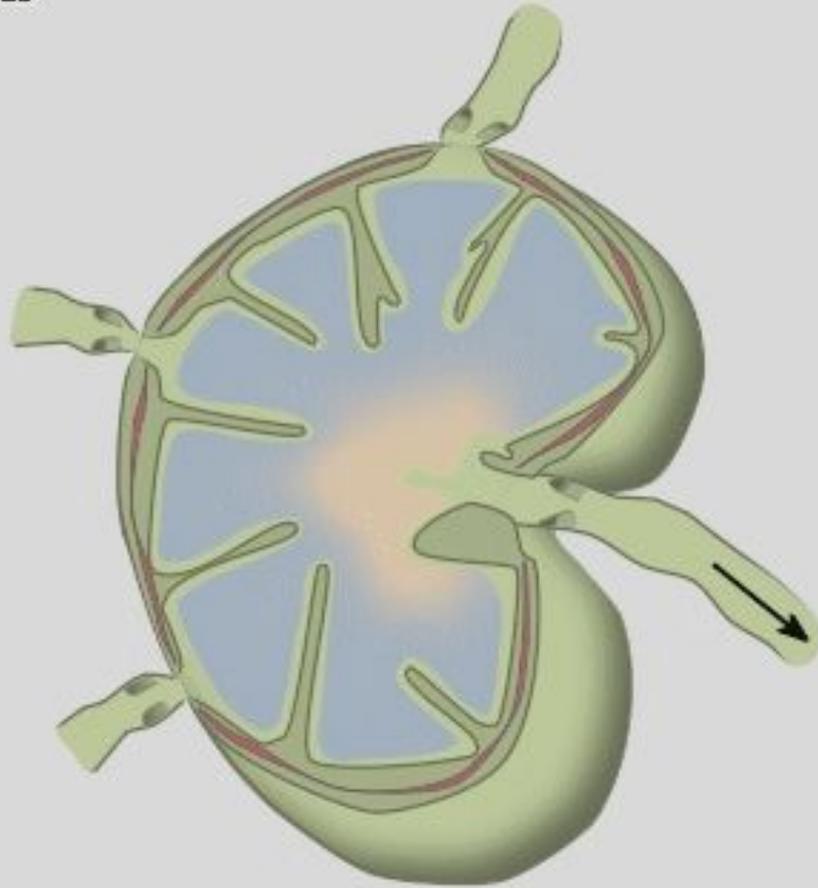


# Синхронная работа I и II насосов

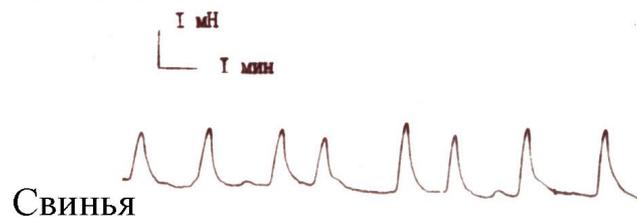
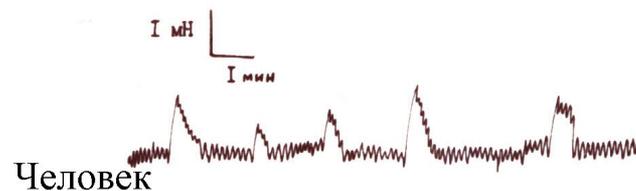
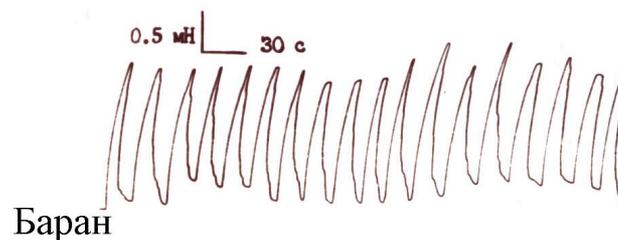
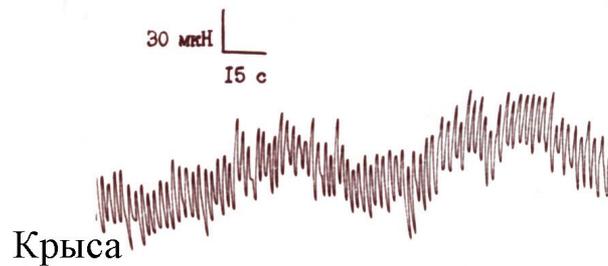
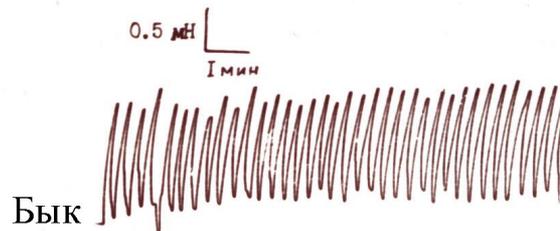


# Третий насос - лимфатический узел

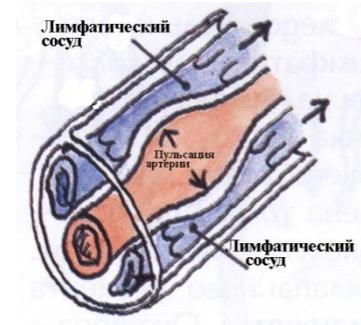
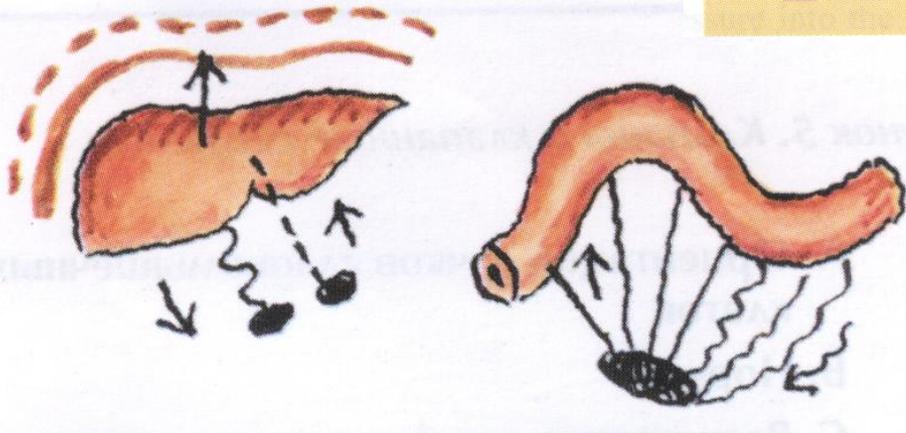
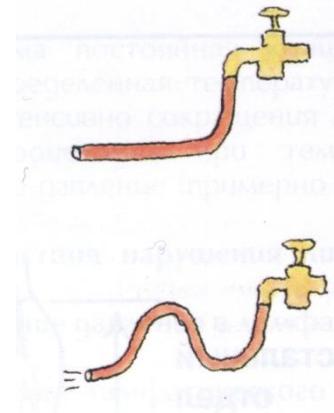
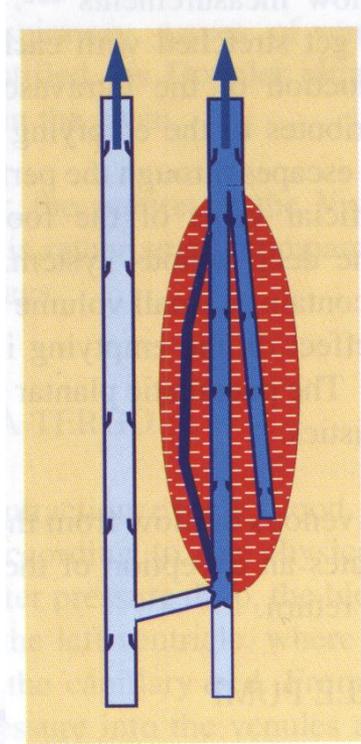
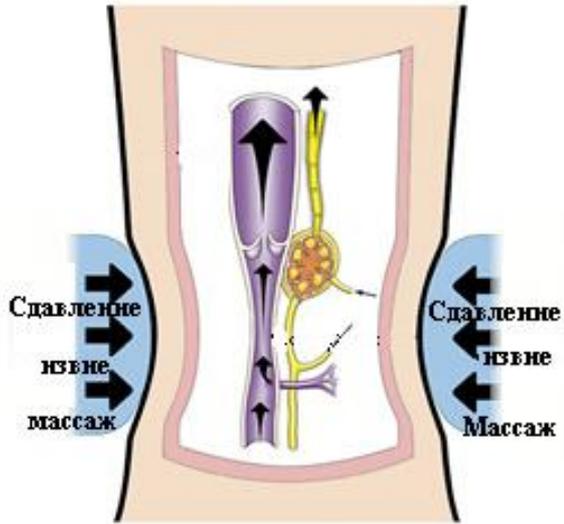
www.gif-animator.com - UNREGISTERED



# Примеры фазной активности лимфатических узлов

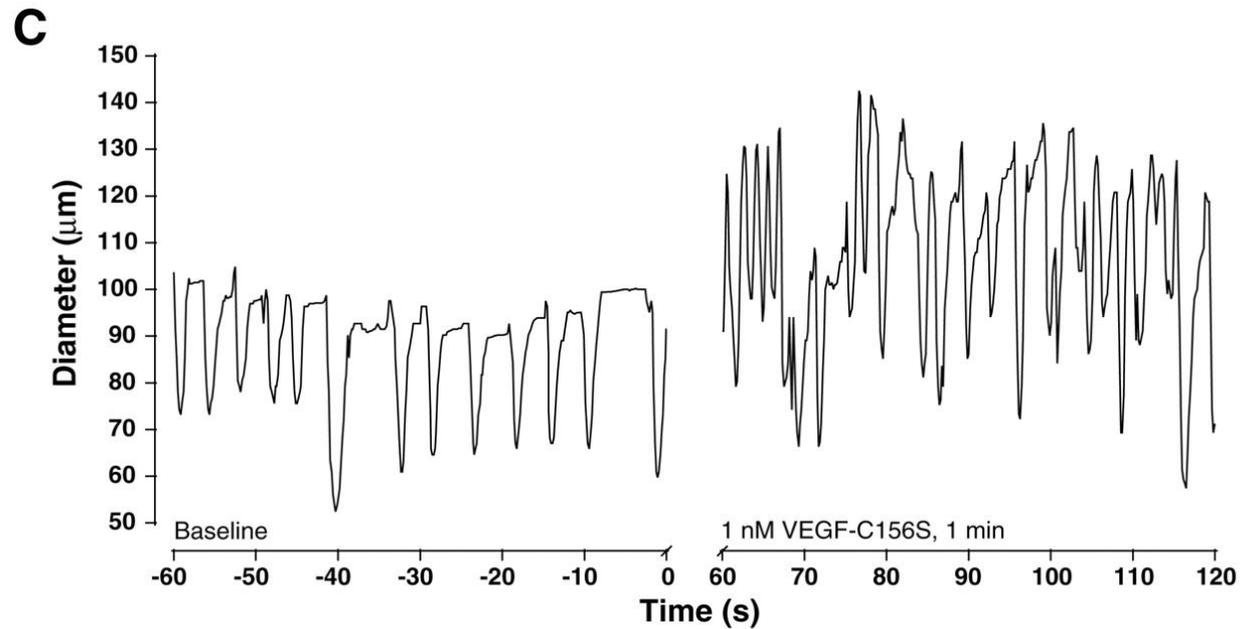
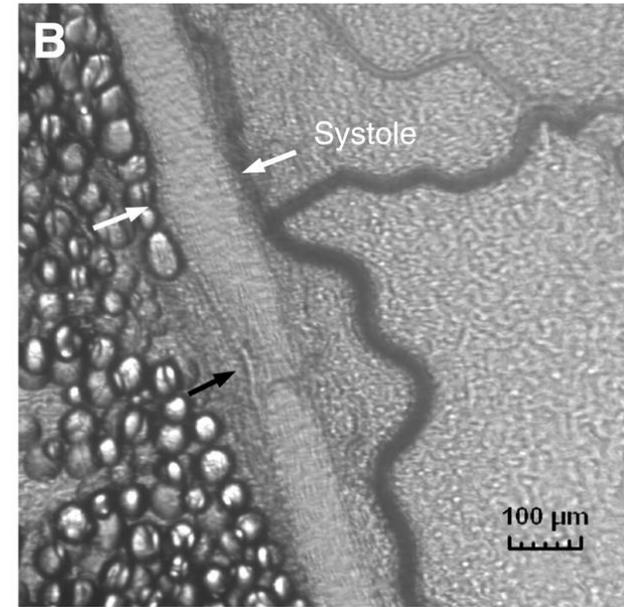
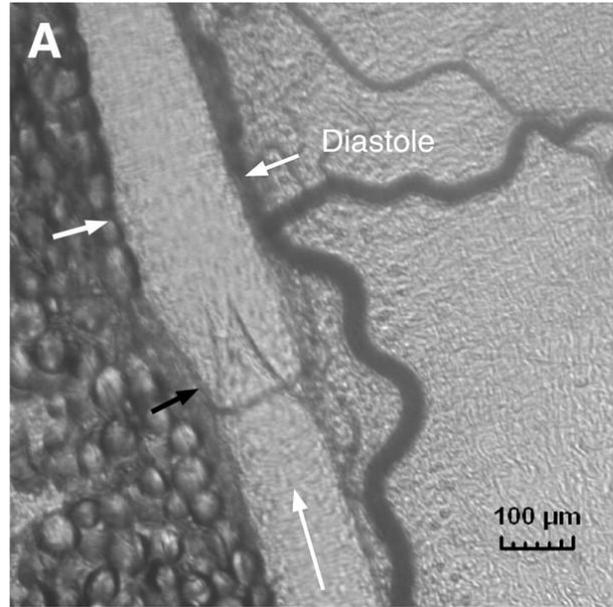


# Внешние движущие силы лимфотока



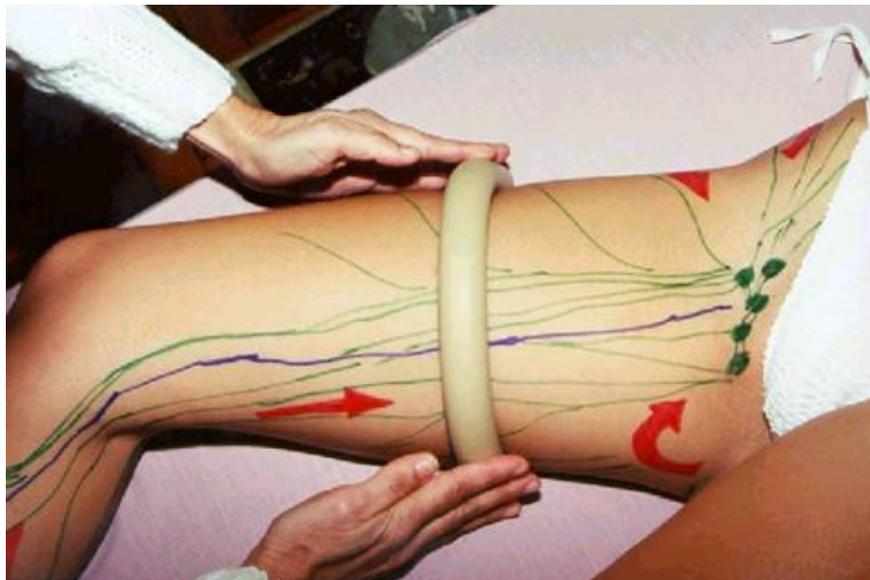
Сосудистый эндотелиальный фактор роста **VEGF** стимулирует лимфангиогенез путем активации рецепторов **VEGFR-2** и **VEGFR-3**

- ▶ Показано, что мутации гена VEGFR-3 в организме человека являются причиной первичный (наследственный) лимфедемы (Jerome W. Breslin a.all., 2007)
- ▶ VEGFR-3 участвует в улучшении течения вторичной лимфедемы, так как активирует миогенную активность лимфангионов, стимулирует лимфангиогенез и может уменьшить проявления лимфедемы (Saaristo A, Tammela T, Timonen J., 2004).



Фактор роста  
лимфатических  
капилляров **VEGFR-3**  
активирует насосную  
функцию лимфангионов ( )

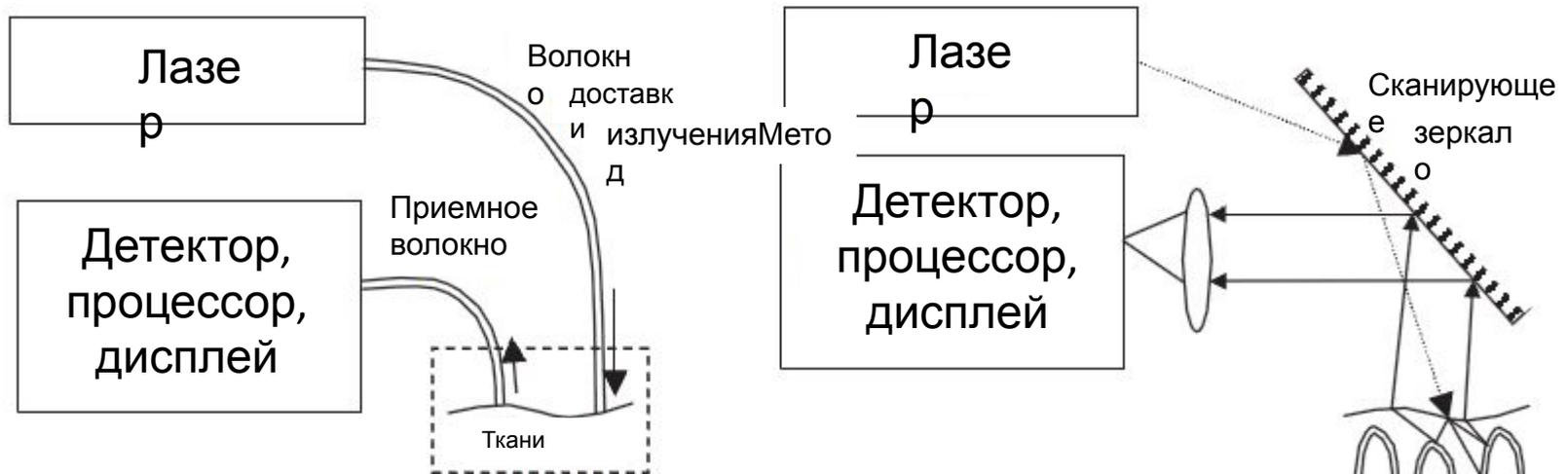
Профессор Н.А. Бубнова - первой в России обосновала патогенез и лечение лимфедемы с позиций современных знаний о насосной функции лимфатического русла



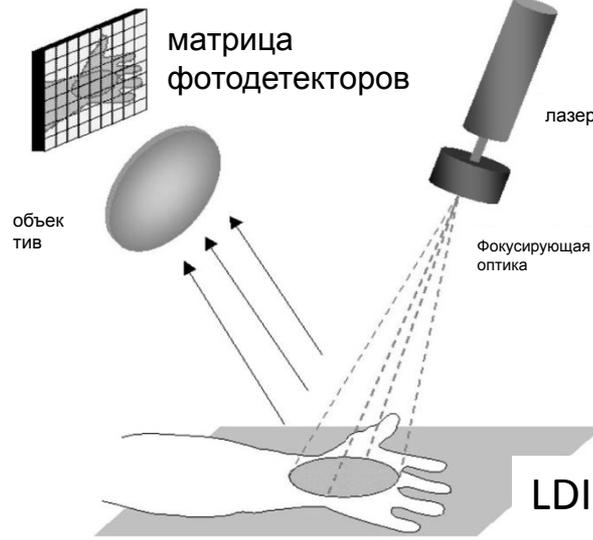
Основатель  
учения о  
лимфангионе  
академик РАН Р.  
С.Орлов



# Метод лазерной доплеровской флоуметрии - ЛДФ и принцип работы лазерных доплеровских флоуметров



LDPM



LDPI

## Положение датчика



# Заключение

1. *ЛДФ- сигналы позволяют судить о патологии лимфатических сосудов на этапе начальных изменений и могут использоваться для мониторинга эффективности лечения*
2. *ЛДФ- паттерны соответствуют современным представлениям о патогенезе вторичной лимфедемы и свидетельствуют о вкладе лимфодинамики в суммарный ЛДФ-сигнал*
3. *Перспективной задачей является разработка новых алгоритмов анализа ЛДФ-сигнала с целью более точного учёта аperiodических составляющих*

**Спасибо за внимание!**