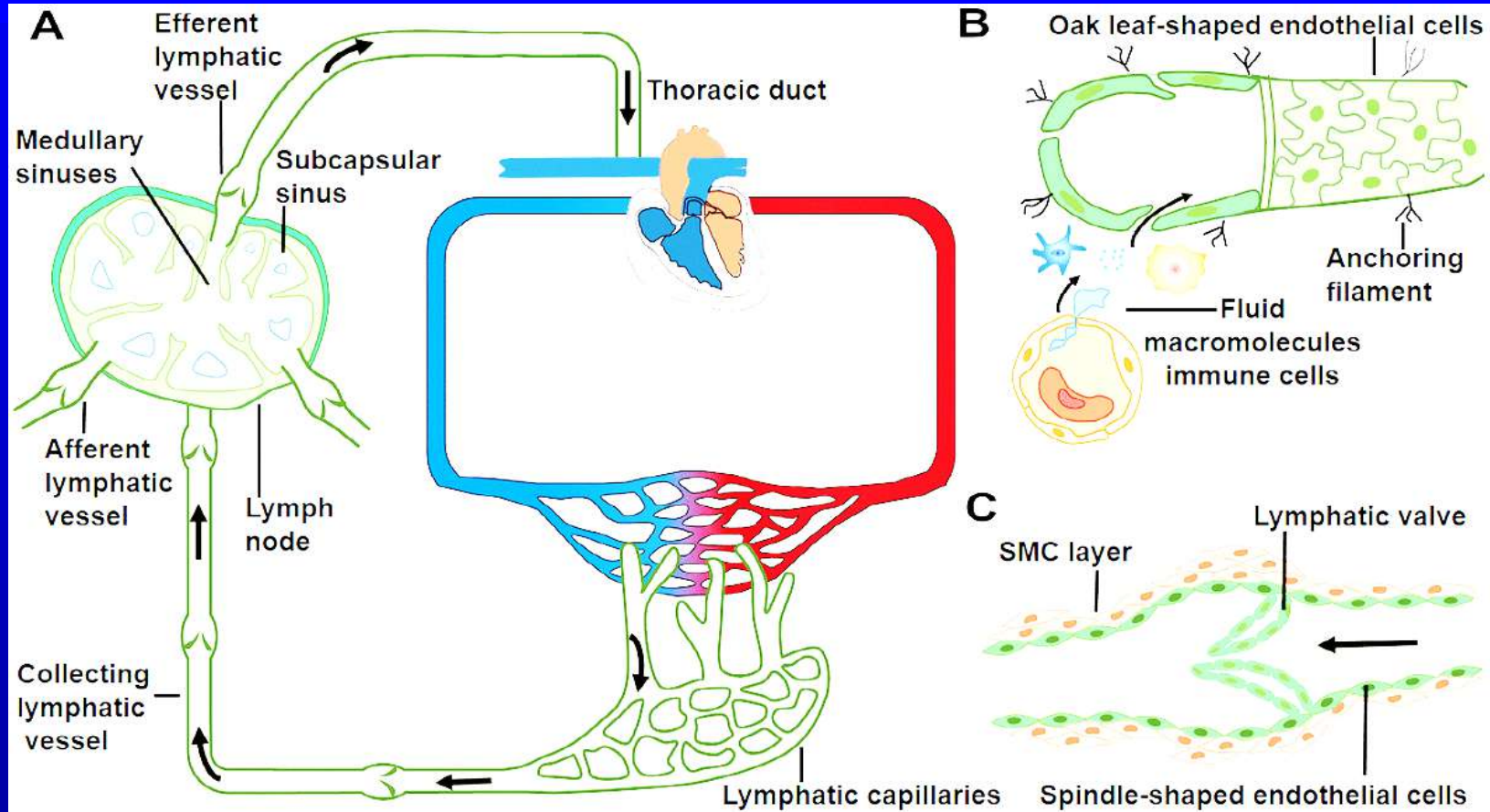


# Физиология лимфатической системы

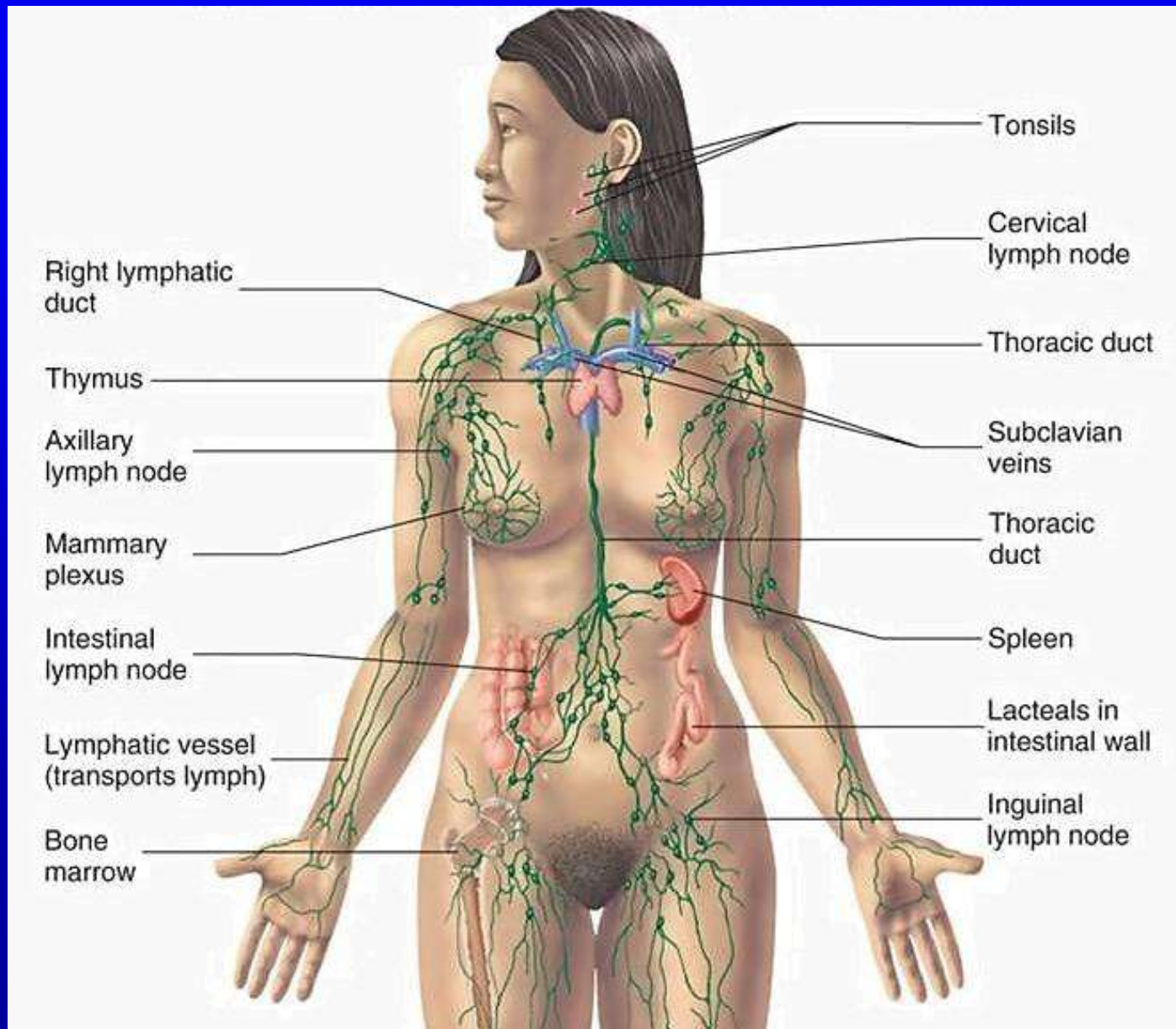


Проф. Г.И. Лобов

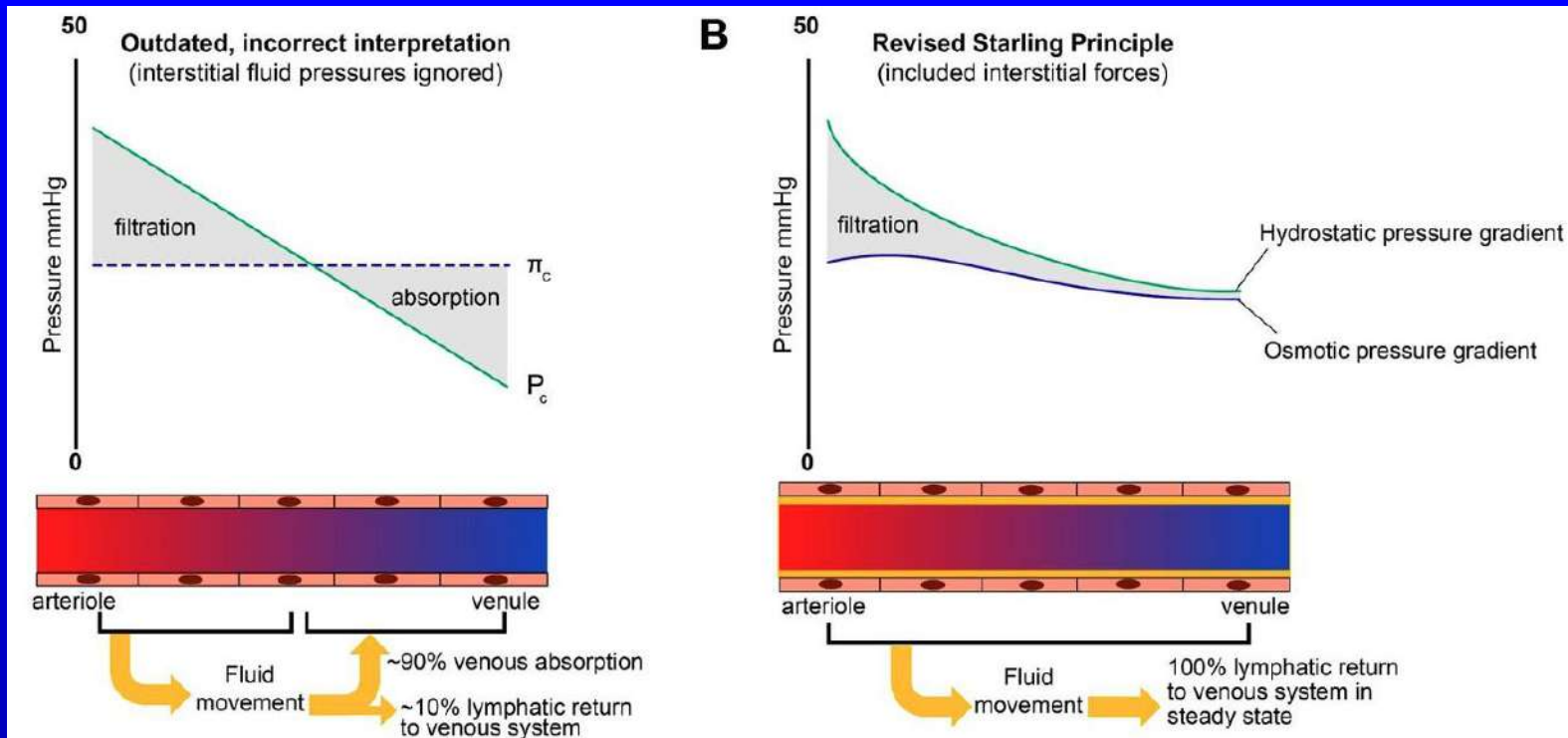
LobovGI@infran.ru

СПб - 2024

# Лимфатическая система



# Закон Старлинга

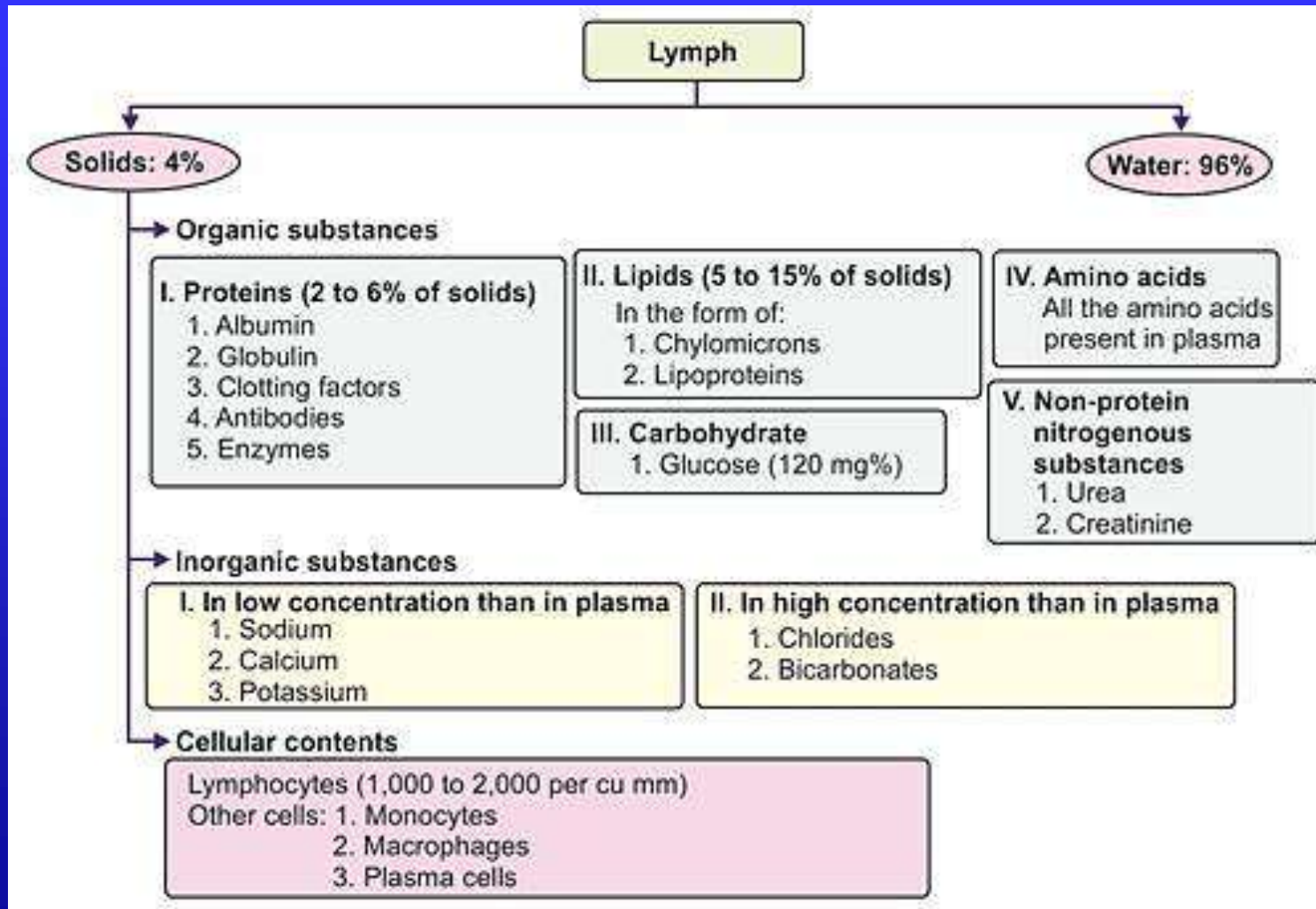


Благодаря прямому измерению интерстициального гидростатического давления жидкости и коллоидного осмотического давления, а также открытию гликокаликса (или «пути малых пор») старая теория (A) была опровергнута.

Пересмотр сил Старлинга показал, что в установившемся состоянии силы, вызывающие фильтрацию (зеленая линия), превышают силы, противодействующие фильтрации (синяя линия). Следовательно, чистая, но уменьшающаяся фильтрация будет происходить по всей длине капилляра

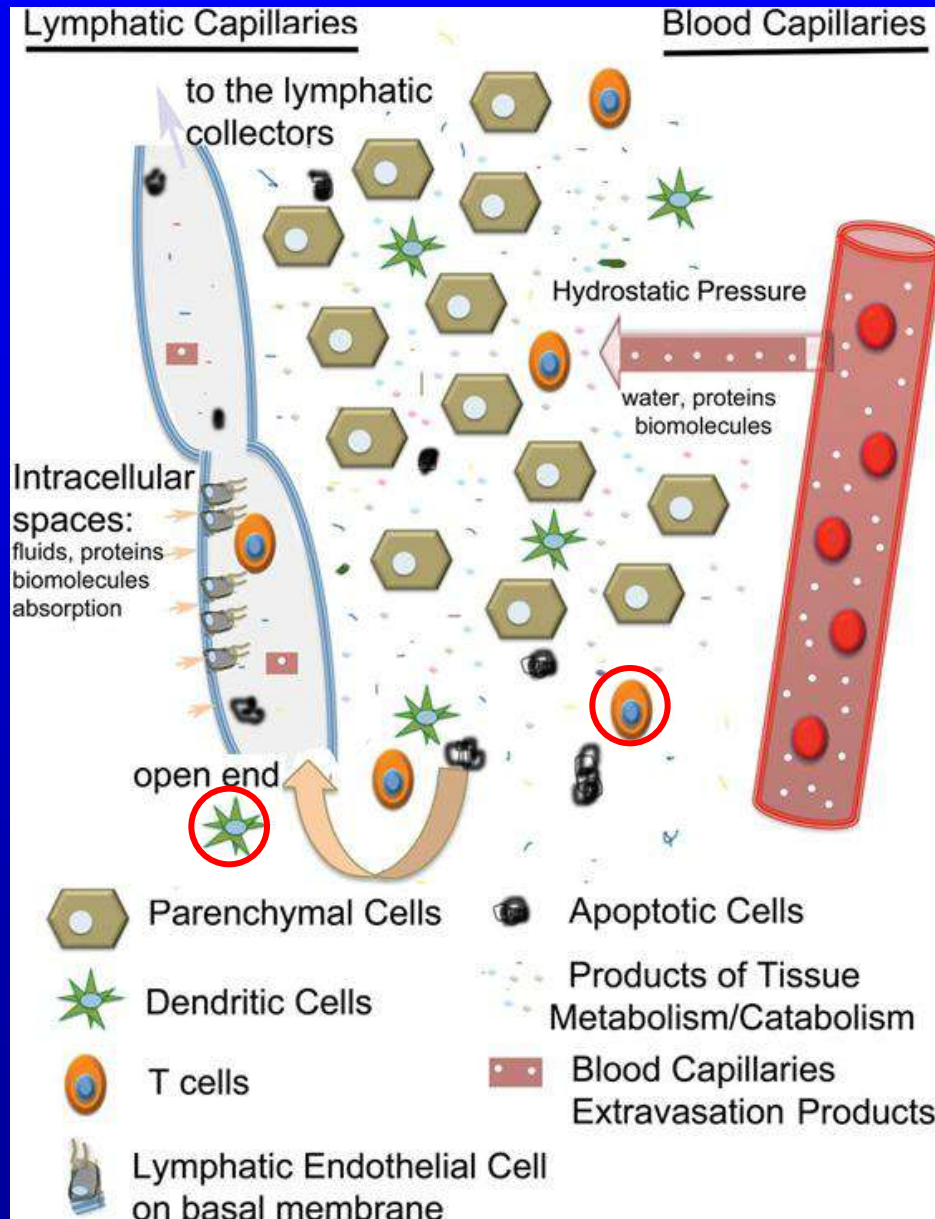
**Что фильтруется? Все, кроме клеток и белков**

# Состав лимфы

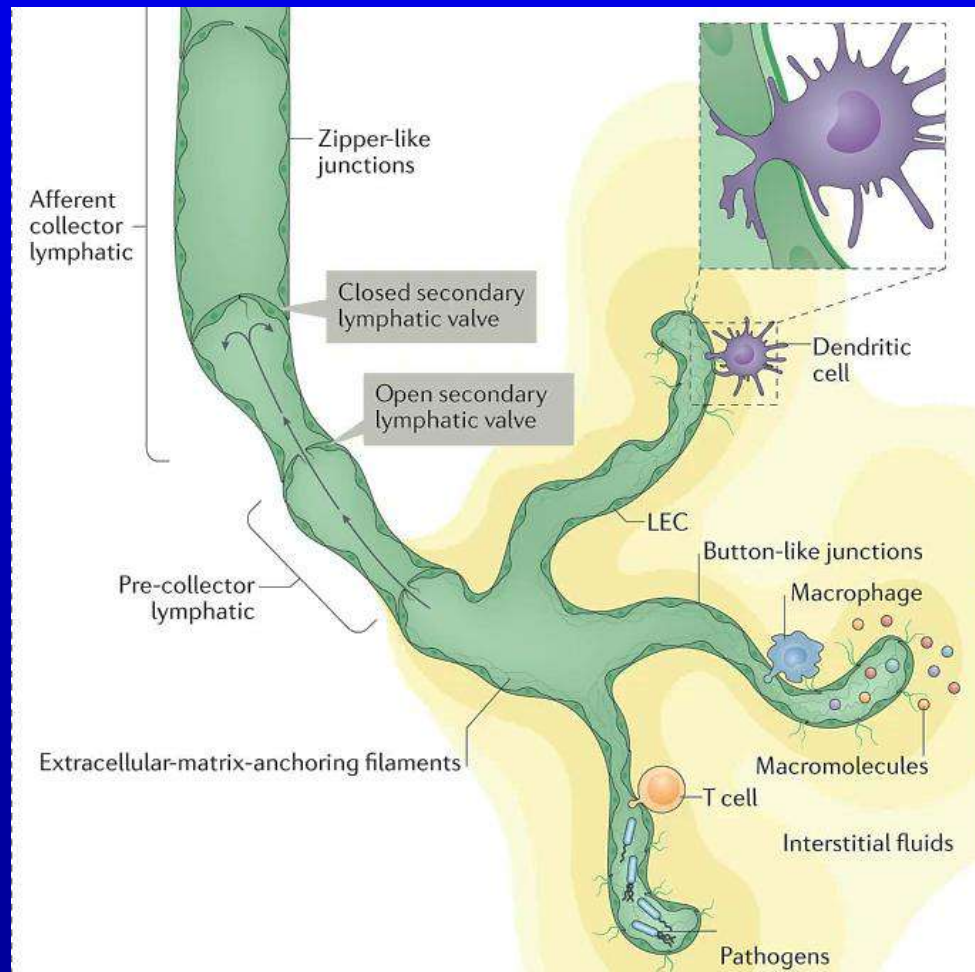
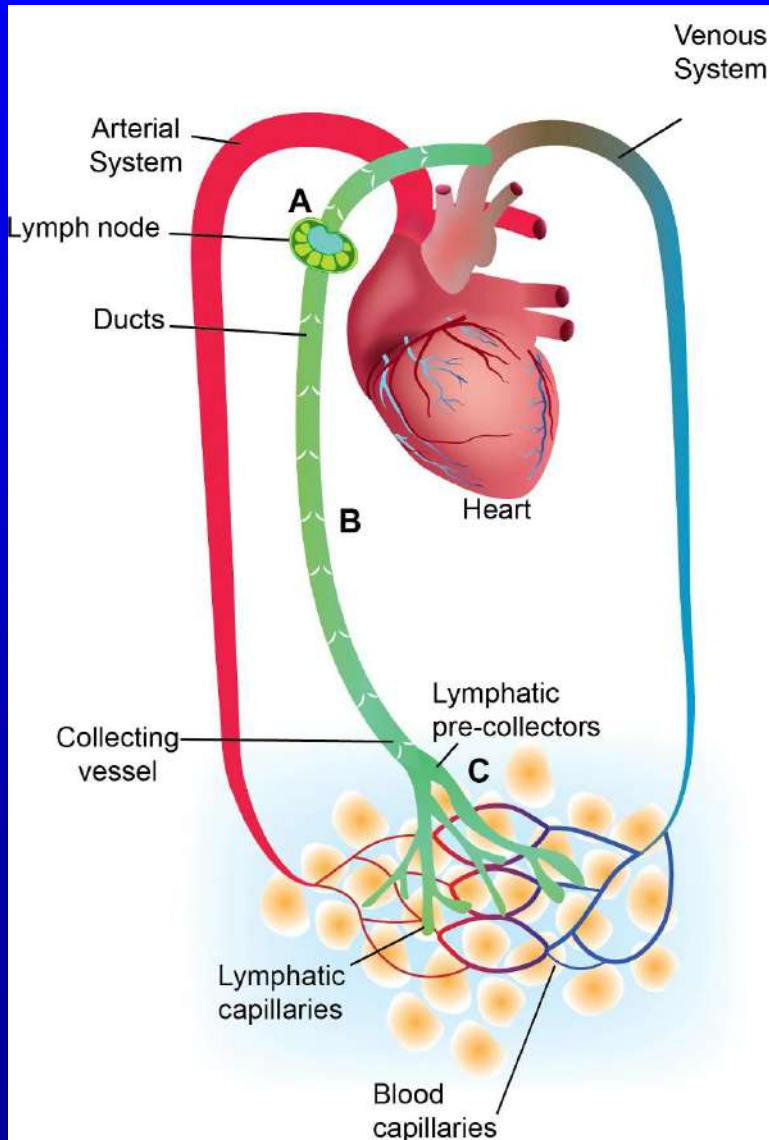




# Состав лимфы

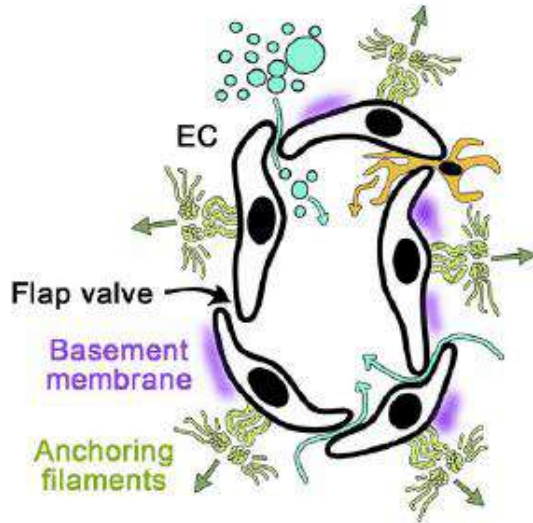


# Лимфатические капилляры, преколлекторы и сосуды



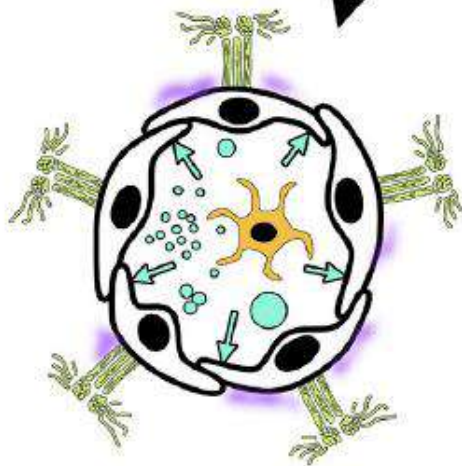
# Образование лимфы

(a)

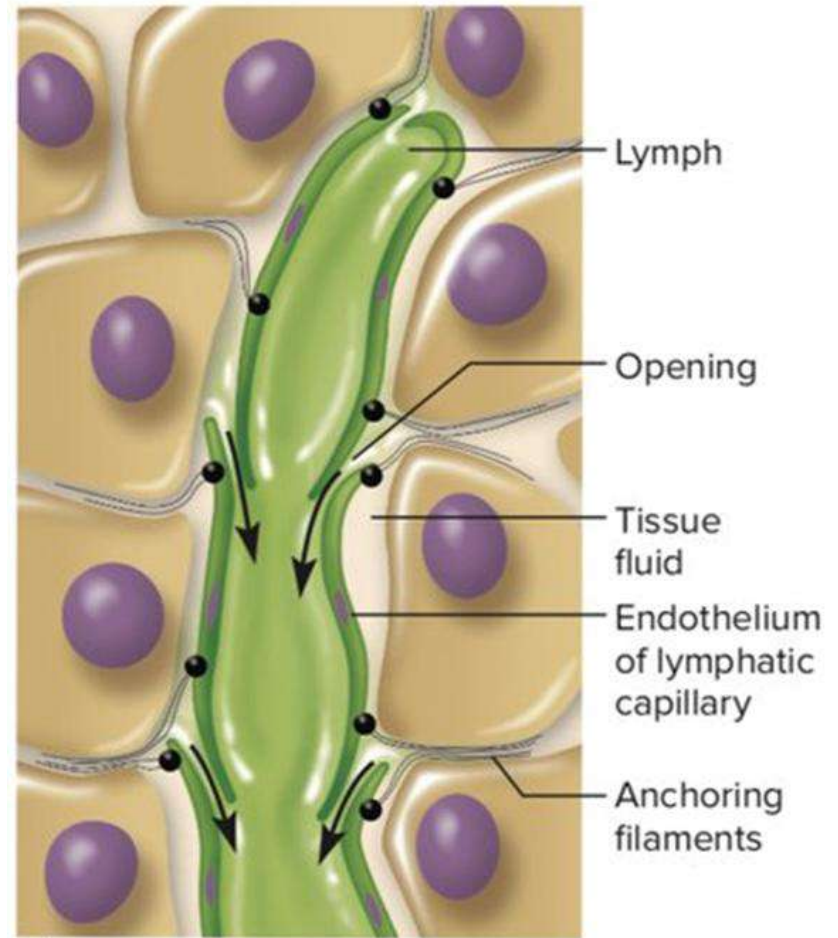


(b)

Increased interstitial pressure

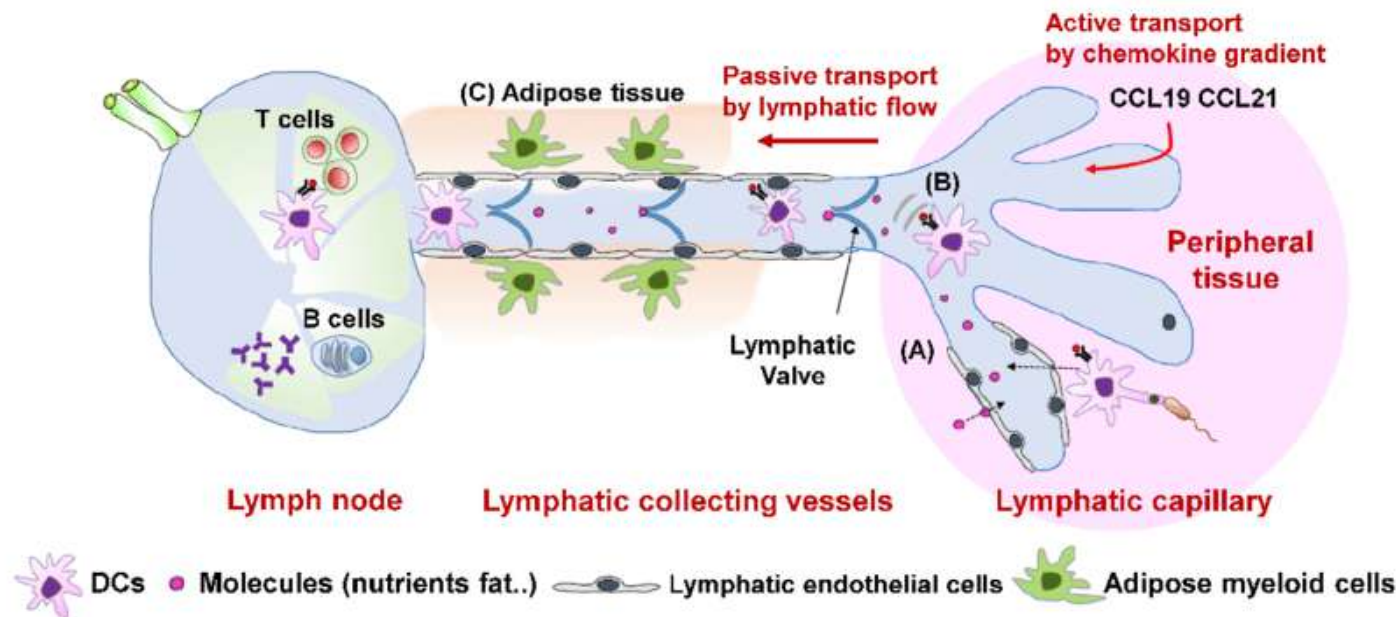
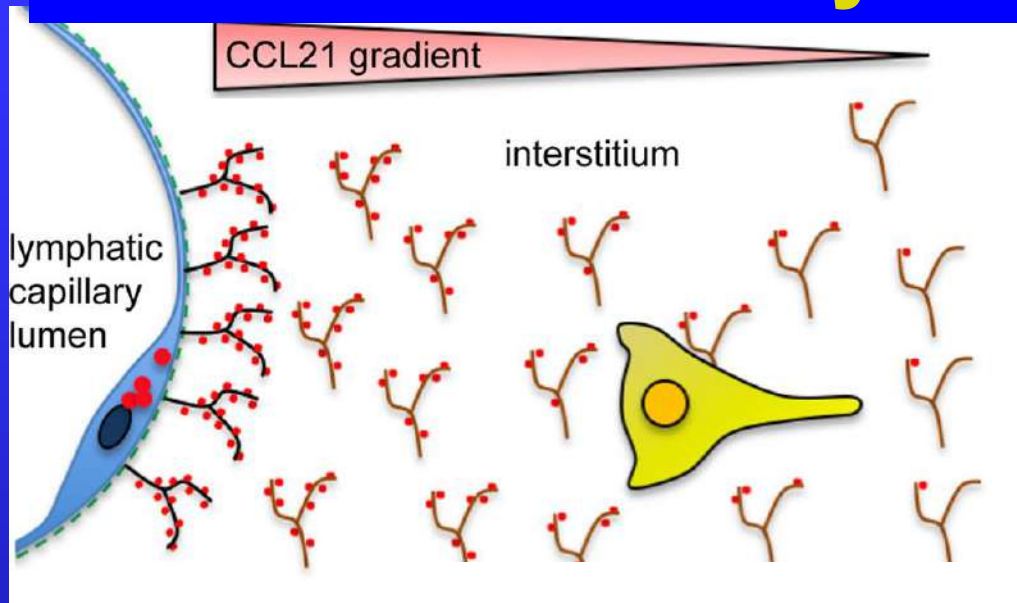


- Fluid movement
- Macromolecules and fluid
- Immune cells
- Cell entry
- Extension



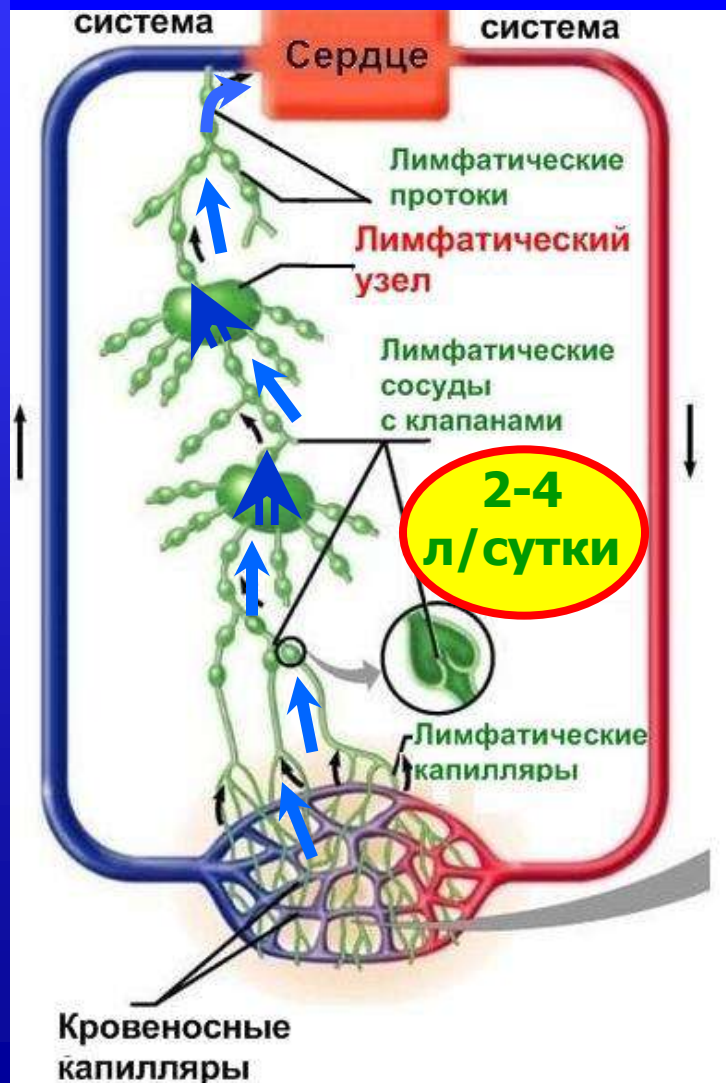


# Роль лимфатических капилляров в ИММУНИТЕТЕ





# Единая система гемо- и лимфодинамики



- $V_{\text{лимфы}} = V_{\text{плазмы}}$
- За сутки с лимфой в кровь поступает от 40 до 100 г белка
- Количество лимфоцитов в лимфе составляет в среднем  $2 \times 10^{10}/\text{л}$
- Система лимфатических сосудов и узлов - единственно возможный путь возврата белка и лимфоцитов из тканей в кровеносную систему

# Проблемы при нарушении транспортной функции лимфатической системы



**Лимфедема, 3-я стадия  
с осложнениями:  
трофические язвы, некроз тканей**

# Проблемы при нарушении транспортной функции лимфатической системы



**Лимфедема,  
2-я стадия**

**2%  
населения  
Европы**



# Проблемы при нарушении транспортной функции лимфатической системы

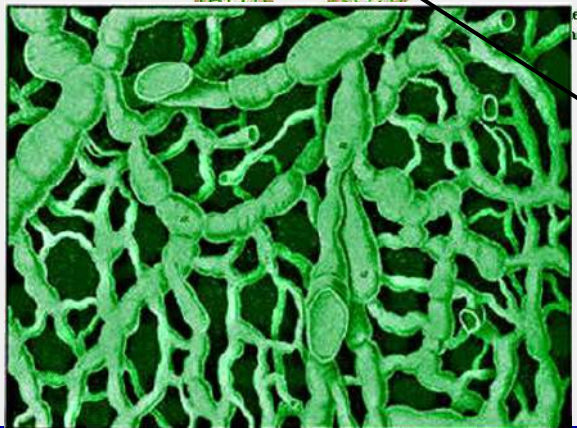
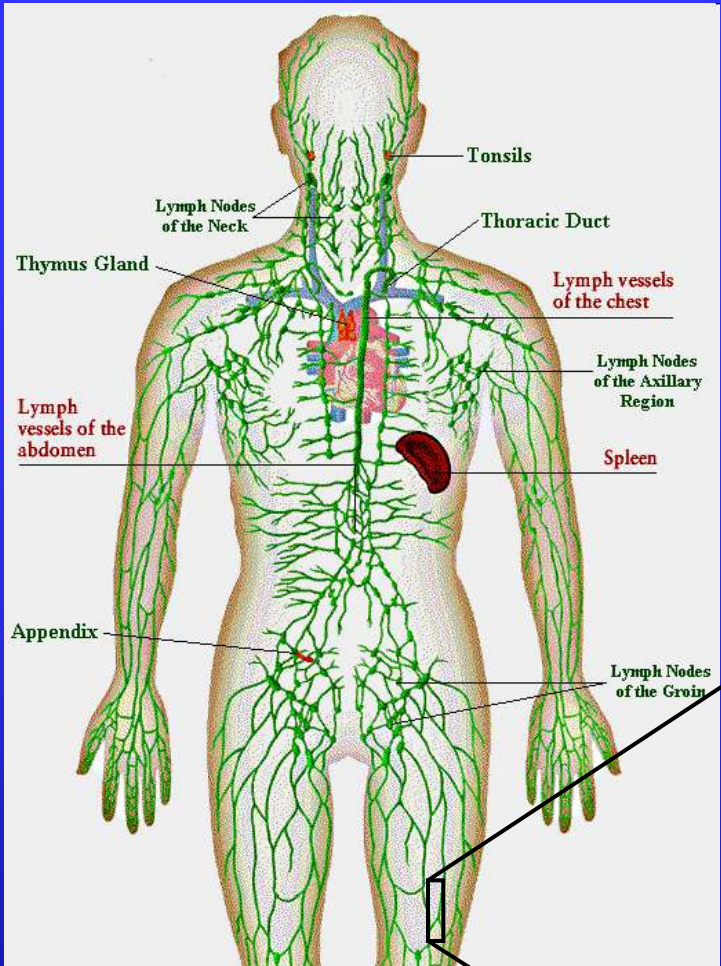


**Лимфедема,  
1-я стадия**

**8 % населения  
Европы**

**(60 млн чел.)**

# Лимфатическая система – структурно-функциональная единица лимфатических сосудов

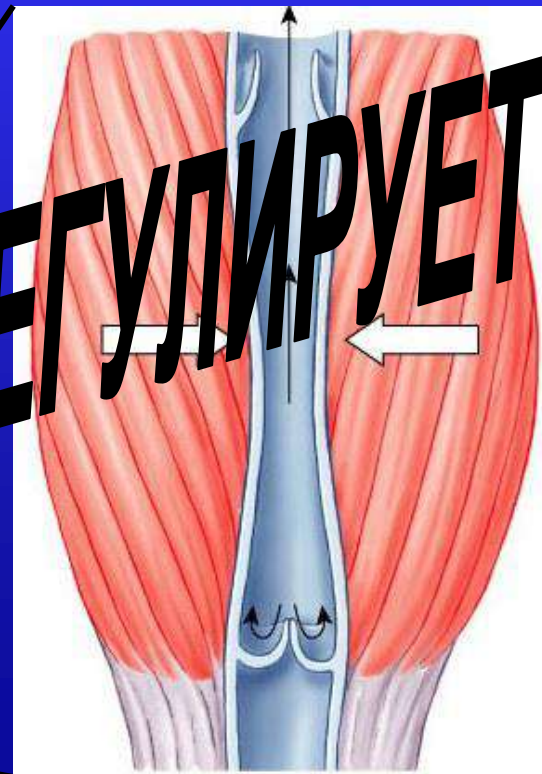
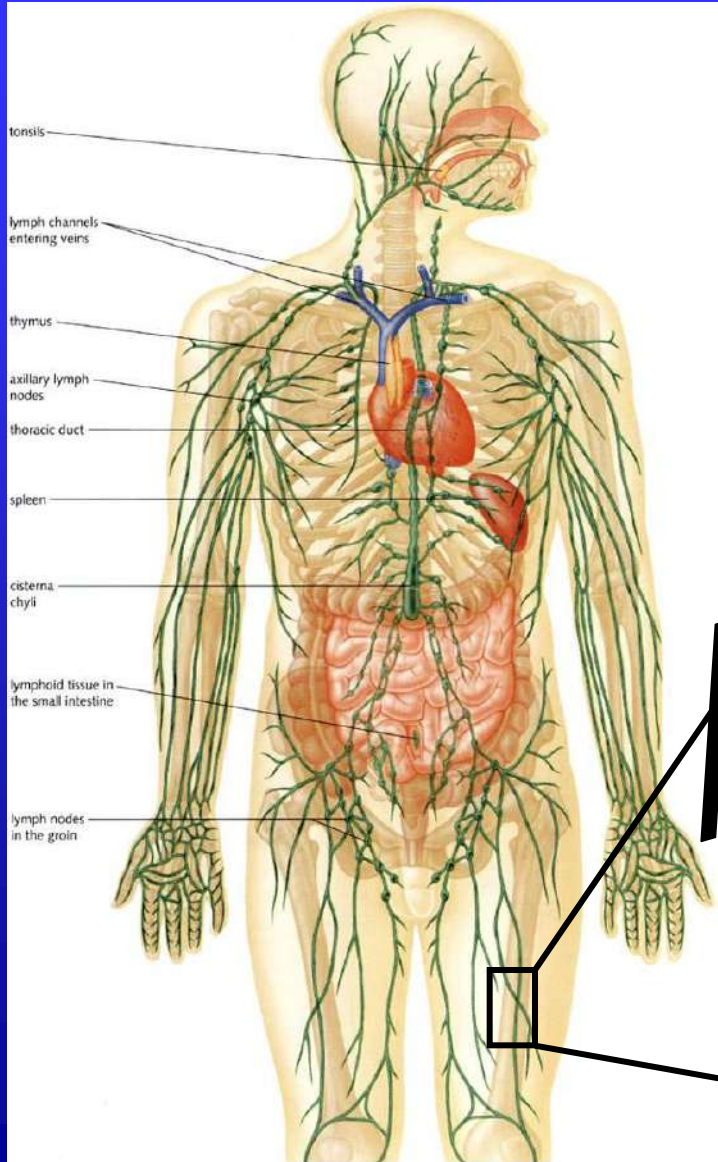


Клапан

Лимфенная манжетка

# Механизм пассивного транспорта лимфы

Выполняет основную функцию в процессе транспорта лимфы в органах, подвергающихся периодической компрессии



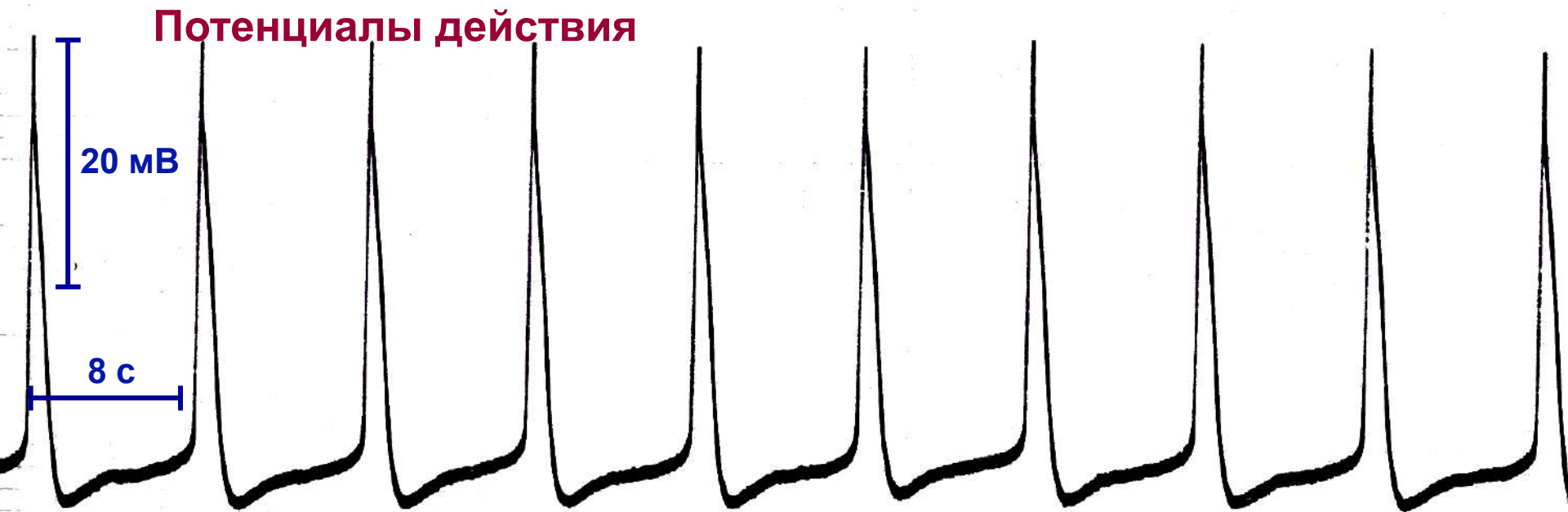
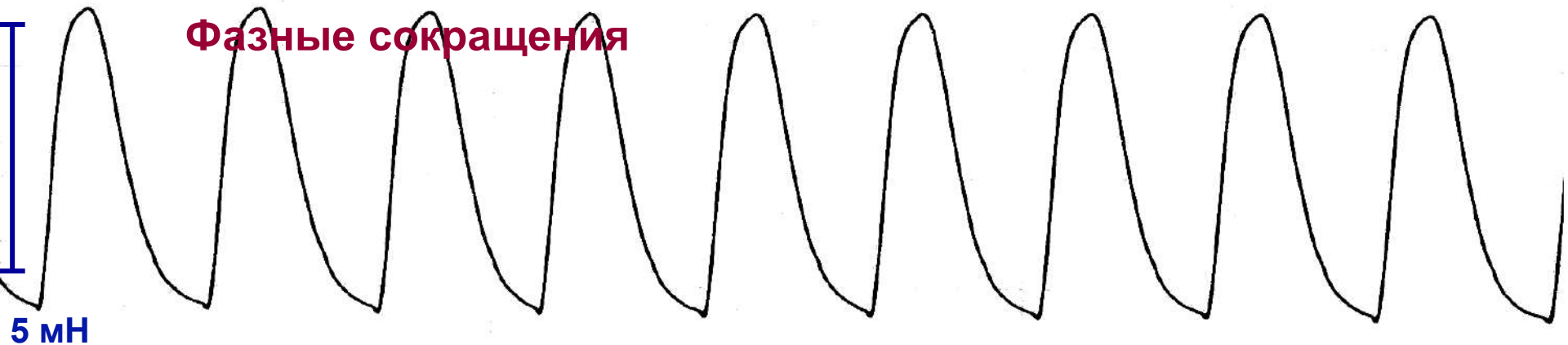
**НЕ РЕГУЛИРУЕТСЯ!**



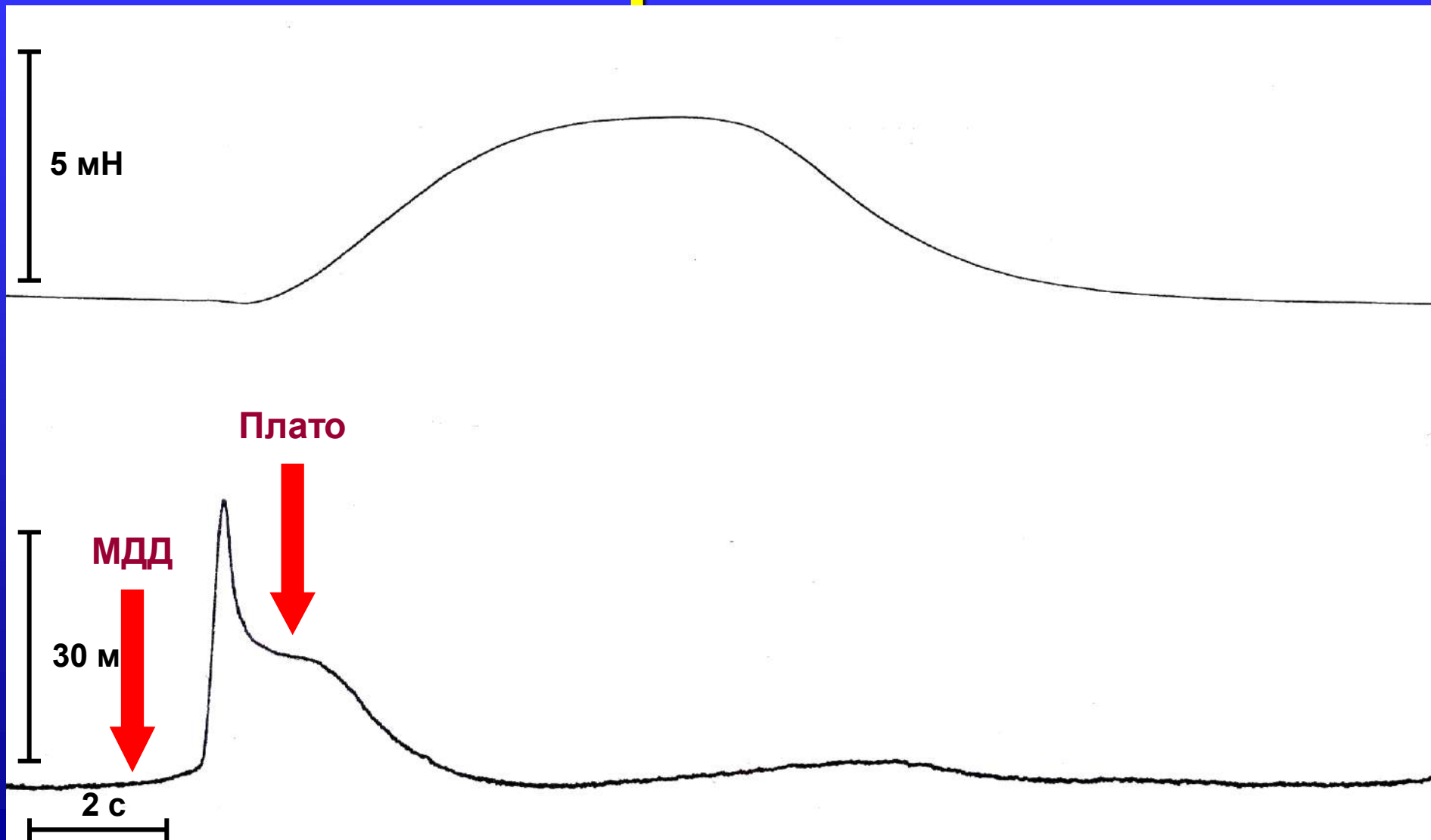
# Активный транспорт лимфы

# Потенциалы действия и сокращения ГМК лимфангиона

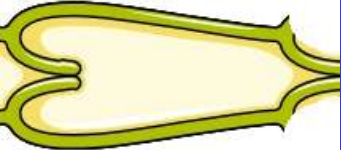
Метод сахарозного мостика



# ПД и сокращение ГМК лимфангиона

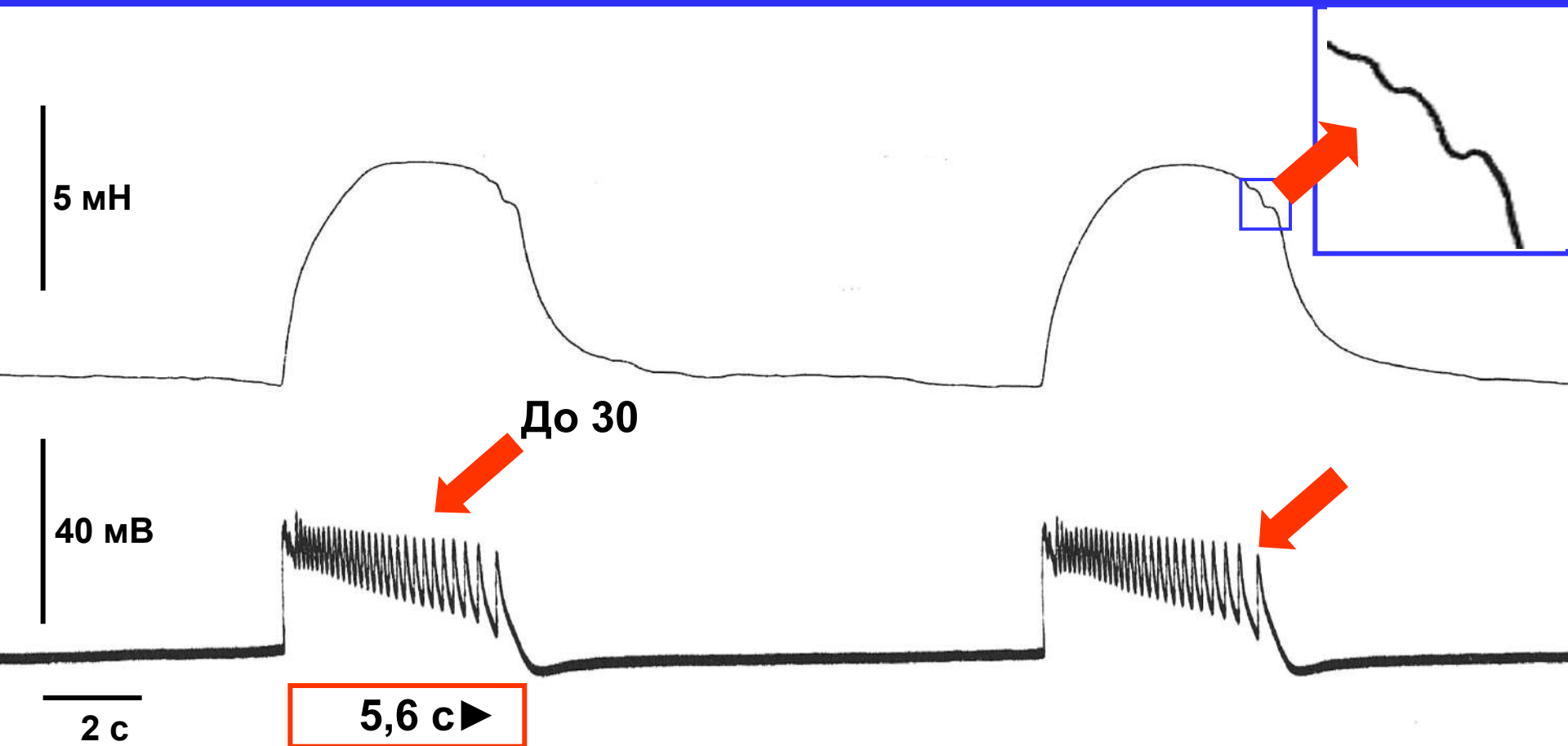


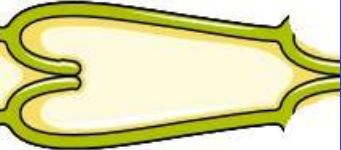




# ПД и фазные сокращения ГМК лимфангиона

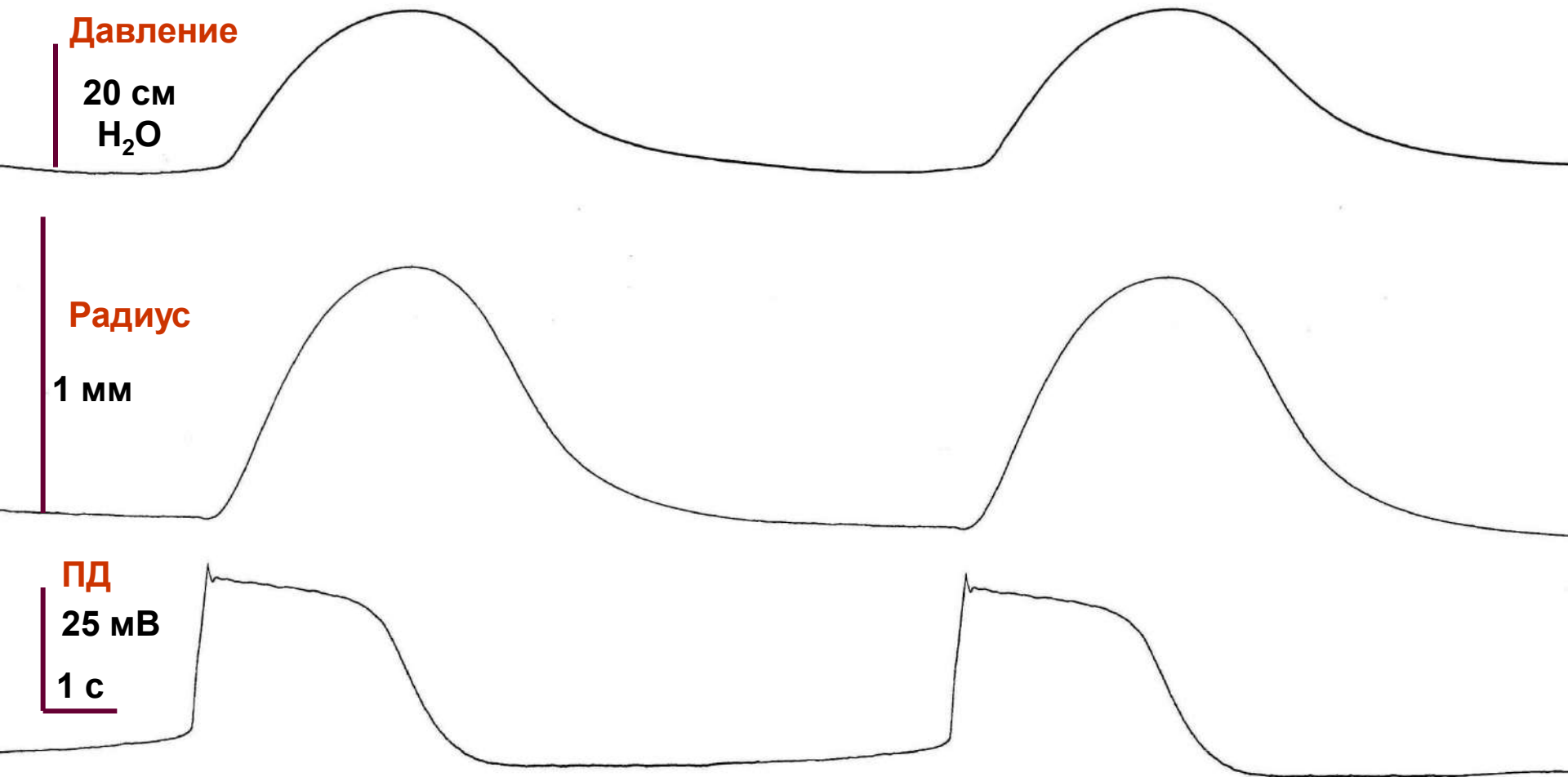
при растяжении, эквивалентном трансмуральному давлению 25 см H<sub>2</sub>O



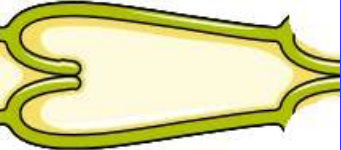


# Фазные сокращения и изменения давления в лимфангионе

(в изоволюмических условиях)



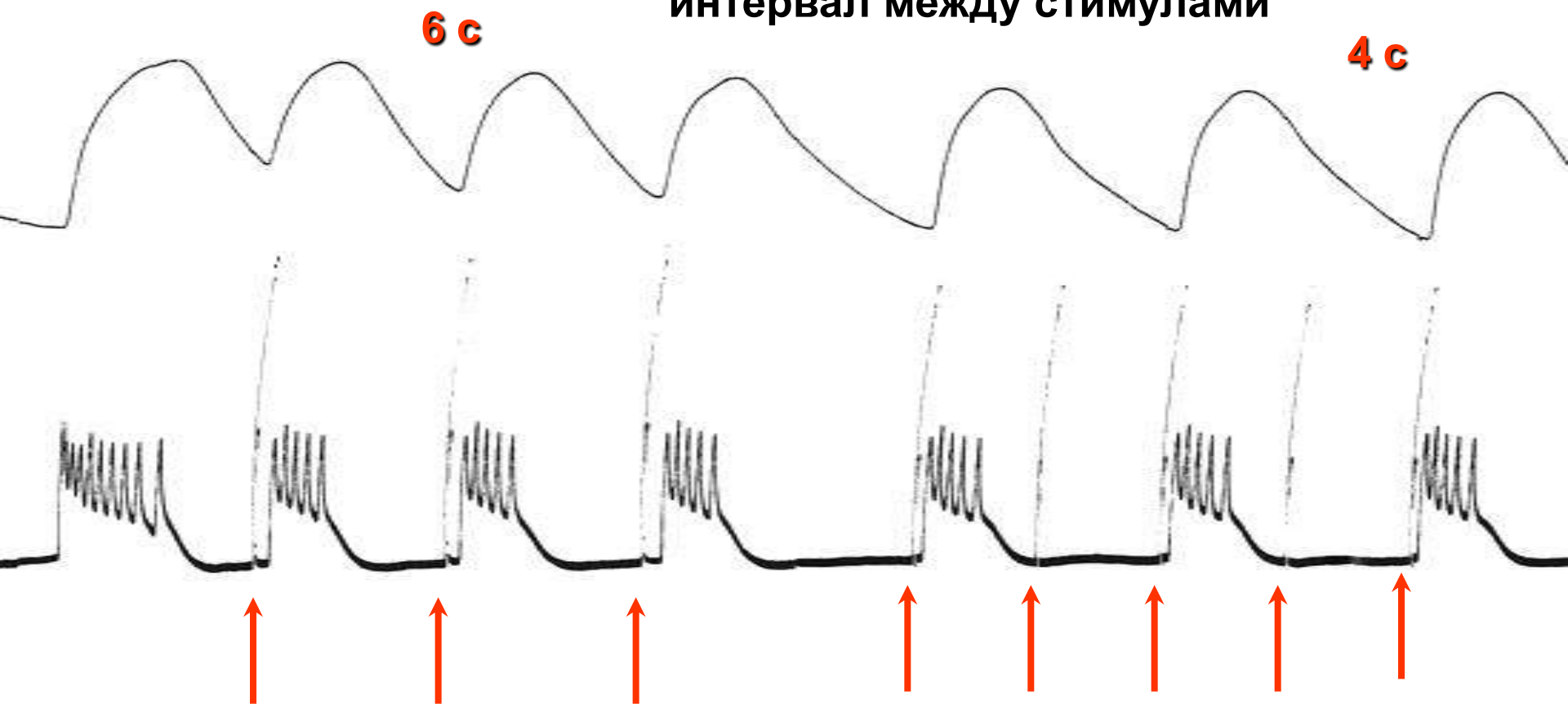
Исходное давление 8 см H<sub>2</sub>O



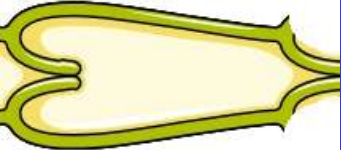
# ПД и фазные сокращения ГМК лимфгангиона

при стимуляции одиночными надпороговыми стимулами (5В, 20 мс)

**Навязанный ритм**  
интервал между стимулами



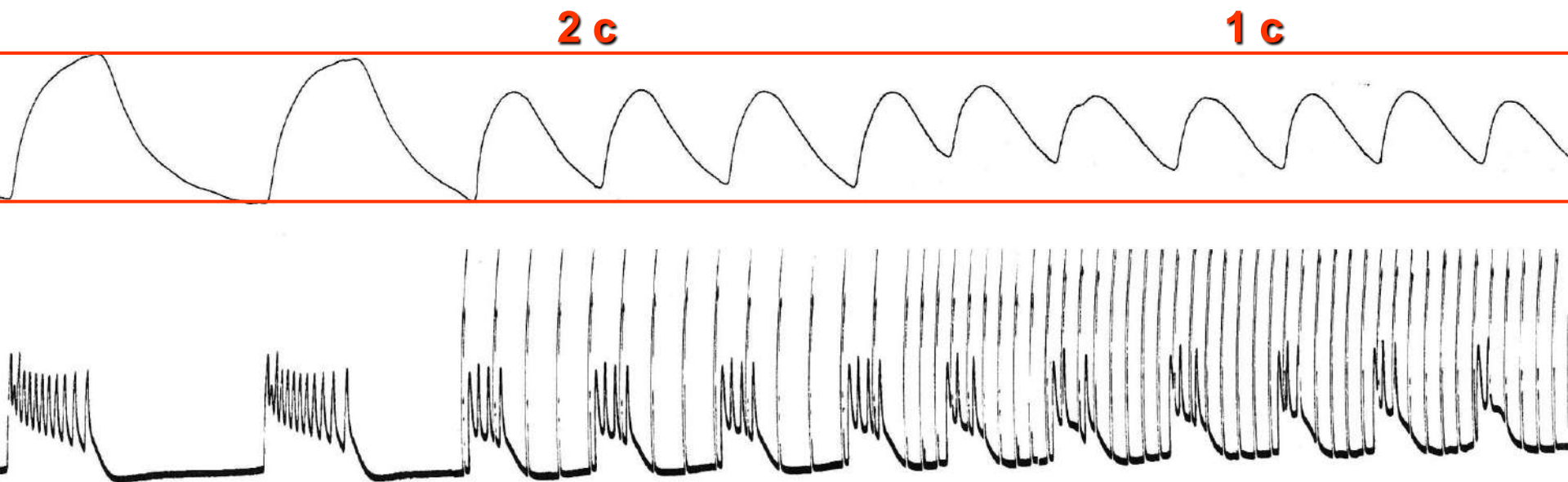


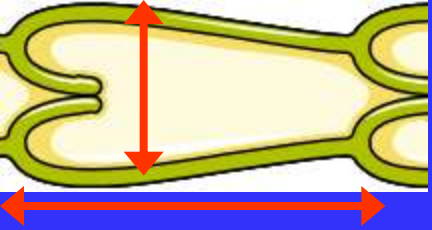


# ПД и фазные сокращения ГМК лимфангиона

при стимуляции одиночными надпороговыми стимулами (5В, 20 мс)

При высокой частоте сокращений повышенный тонус увеличивает гидродинамическое сопротивление лимфатического сосуда, а уменьшение амплитуды фазных сокращений приводит к уменьшению систолического давления и систолического объема

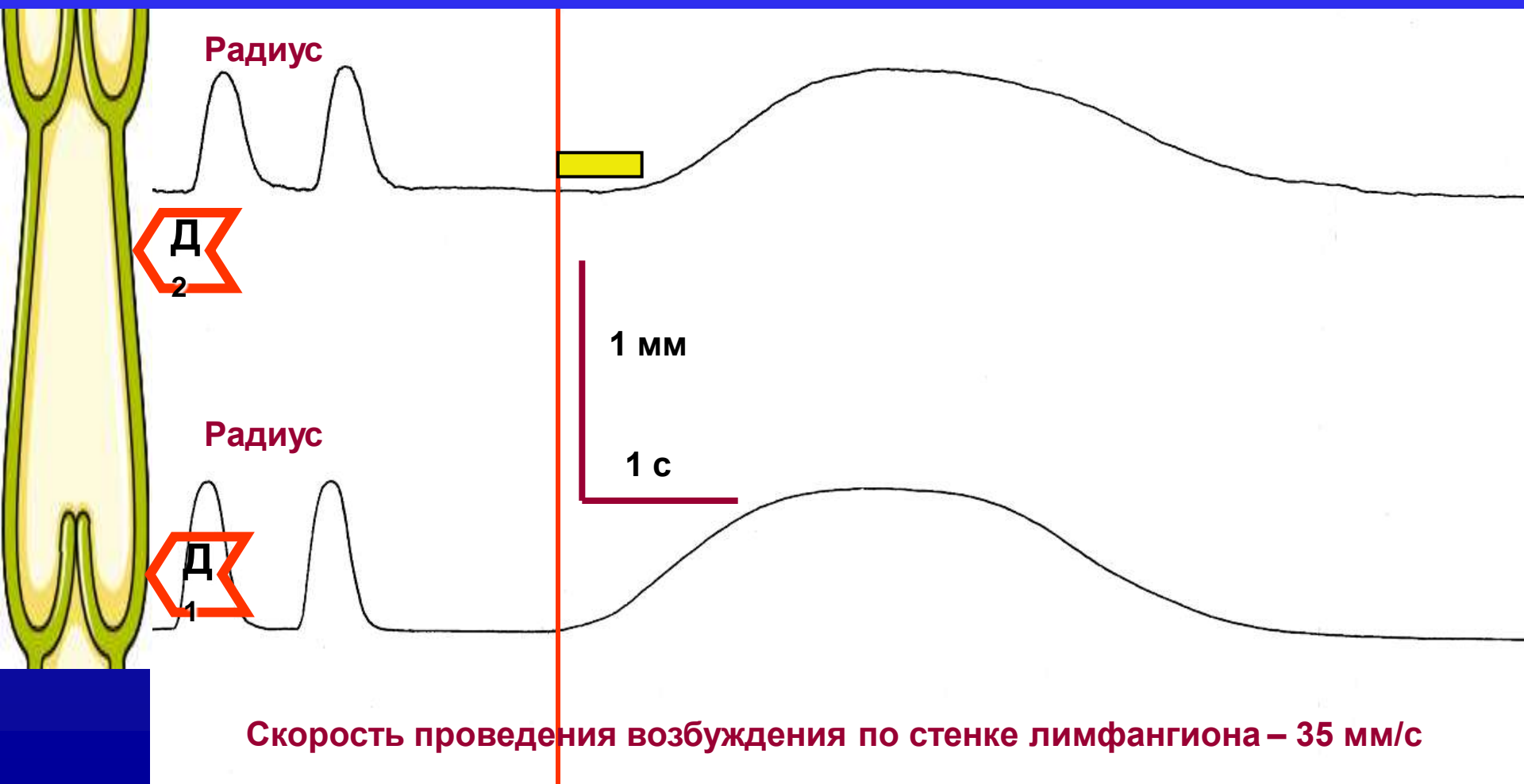




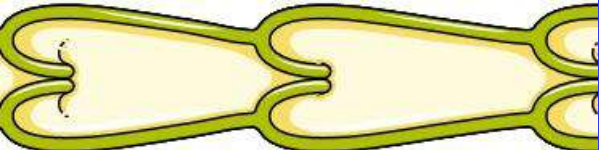
# ПД и изменения радиуса и длины лимфангиона



# Где в лимфангионе расположены ГМК, выполняющие функцию водителя ритма?





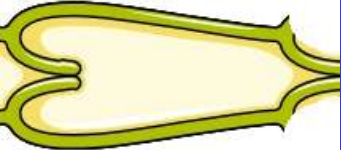


# Фазные сокращения, давление и систолический объем лимфангиона

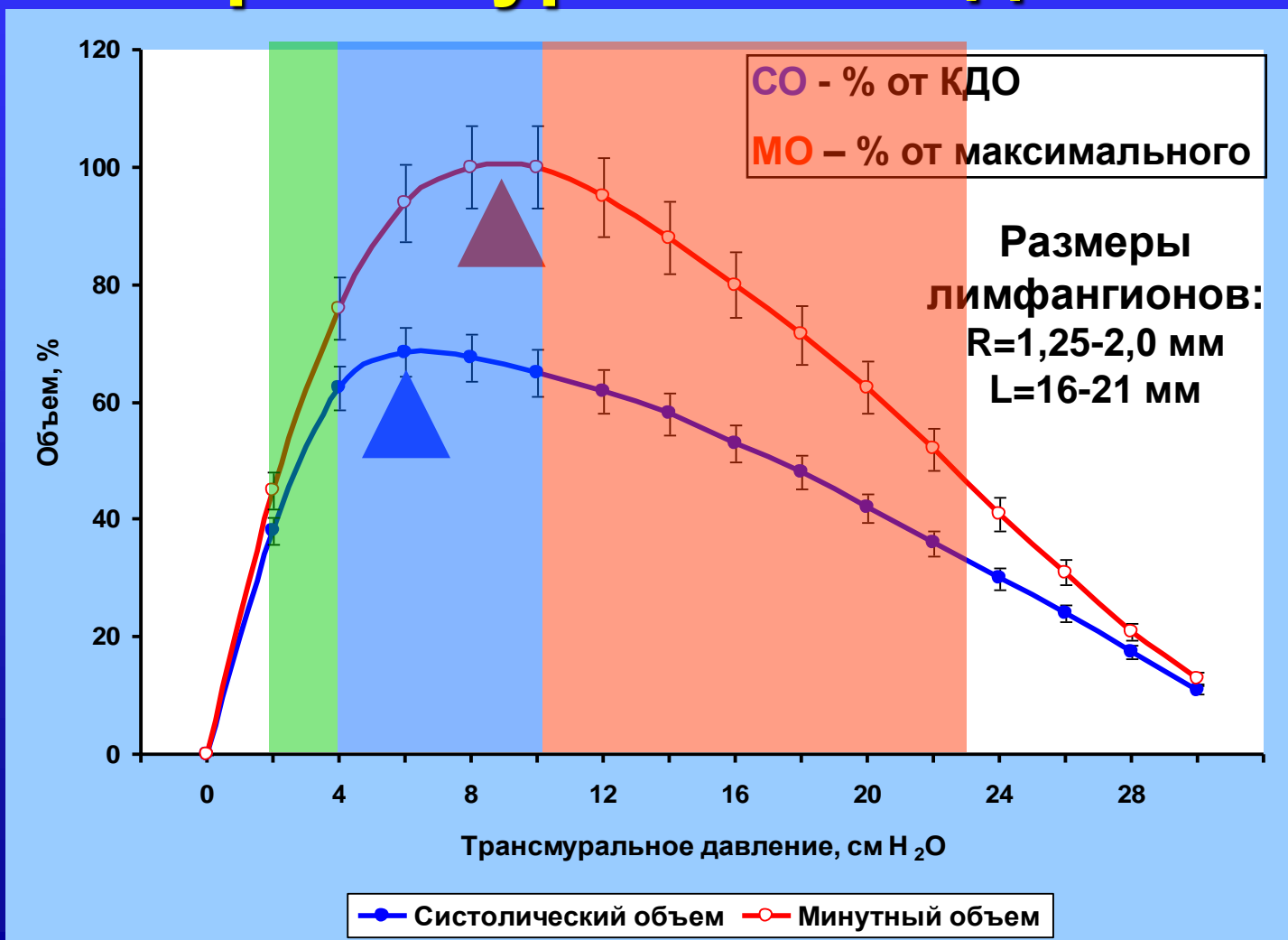


Давление на входе и выходе лимфангиона 3 см H<sub>2</sub>O

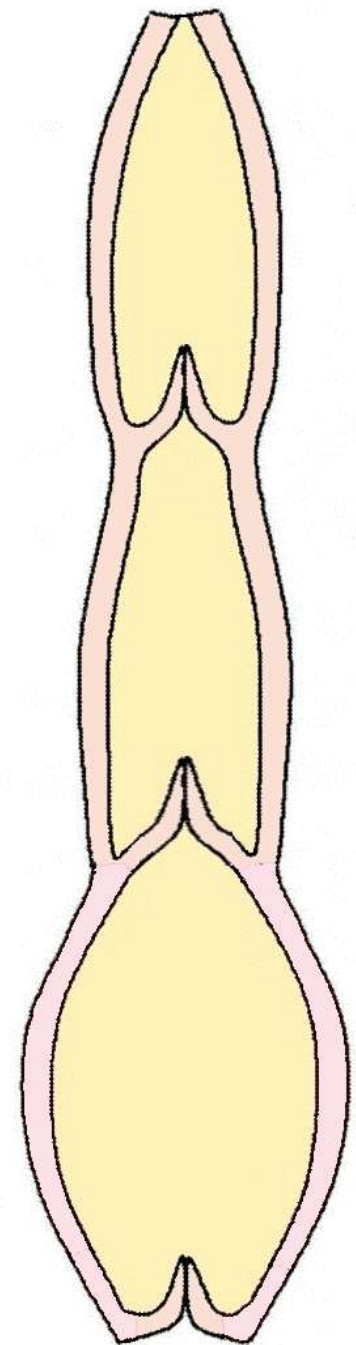


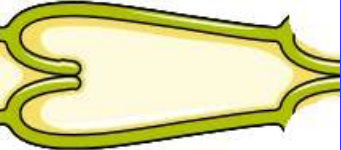


# Зависимость систолического и минутного объемов лимфангиона от трансмурального давления



# Координированная деятельность лимфангионов в лимфатическом сосуде



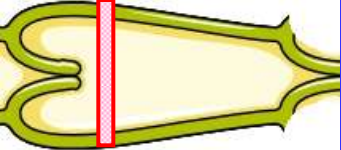


# Регуляция сократительной функции ГМК (насосной функции) лимфангиона

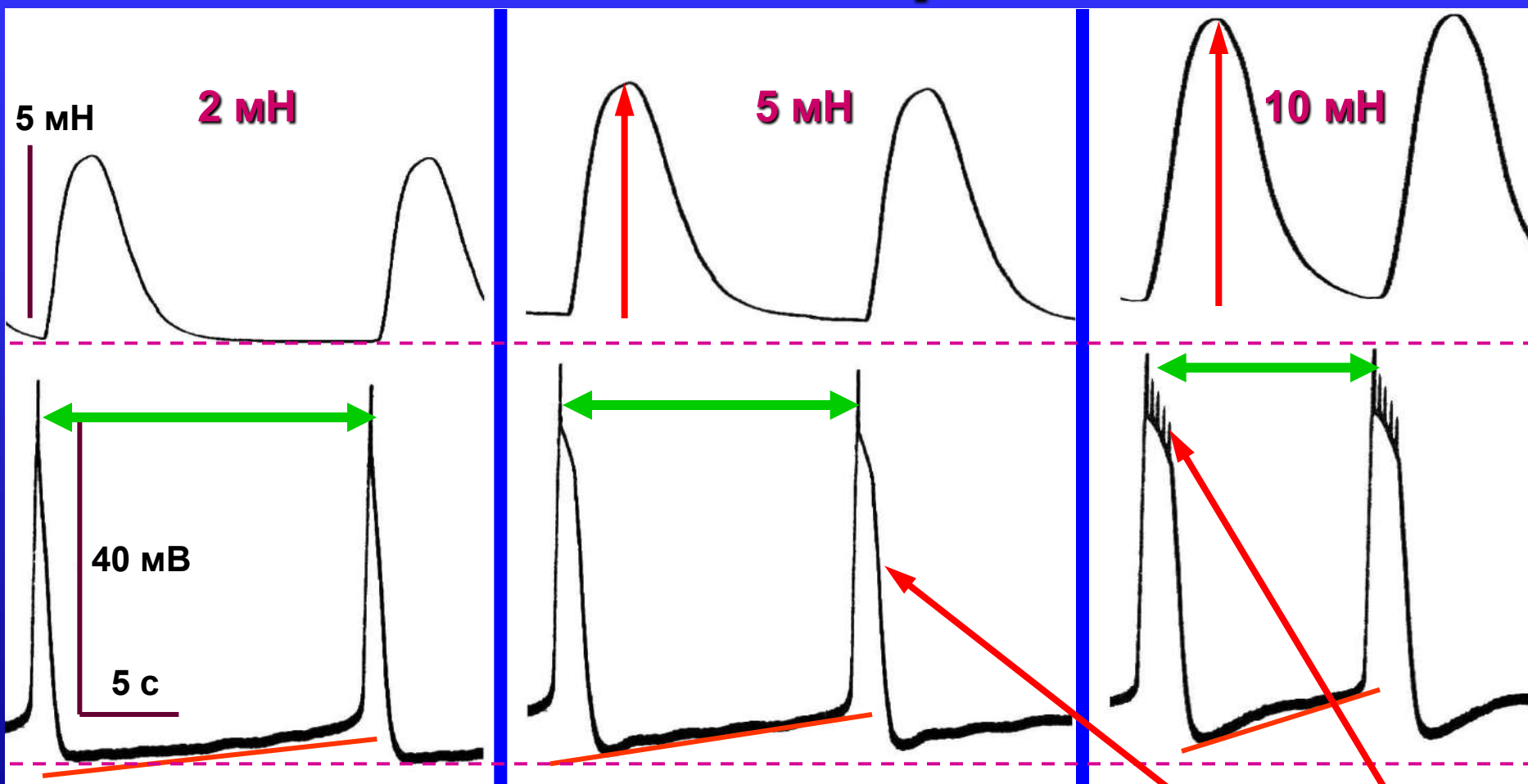
## Миогенная ауторегуляция

### Выявляется:

- в интактных лимфангионах,
- в дезэндотелизированных
- на фоне действия тетродотоксина

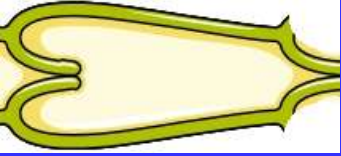


# Миогенная ауторегуляция сократительной функции ГМК лимфангиона



Растяжение  
сопровождается:

Увеличением длительности ПД, количества  
пиков на плато и амплитуды сокращений ГМК



# Регуляция сократительной функции ГМК (насосной функции) лимфангиона

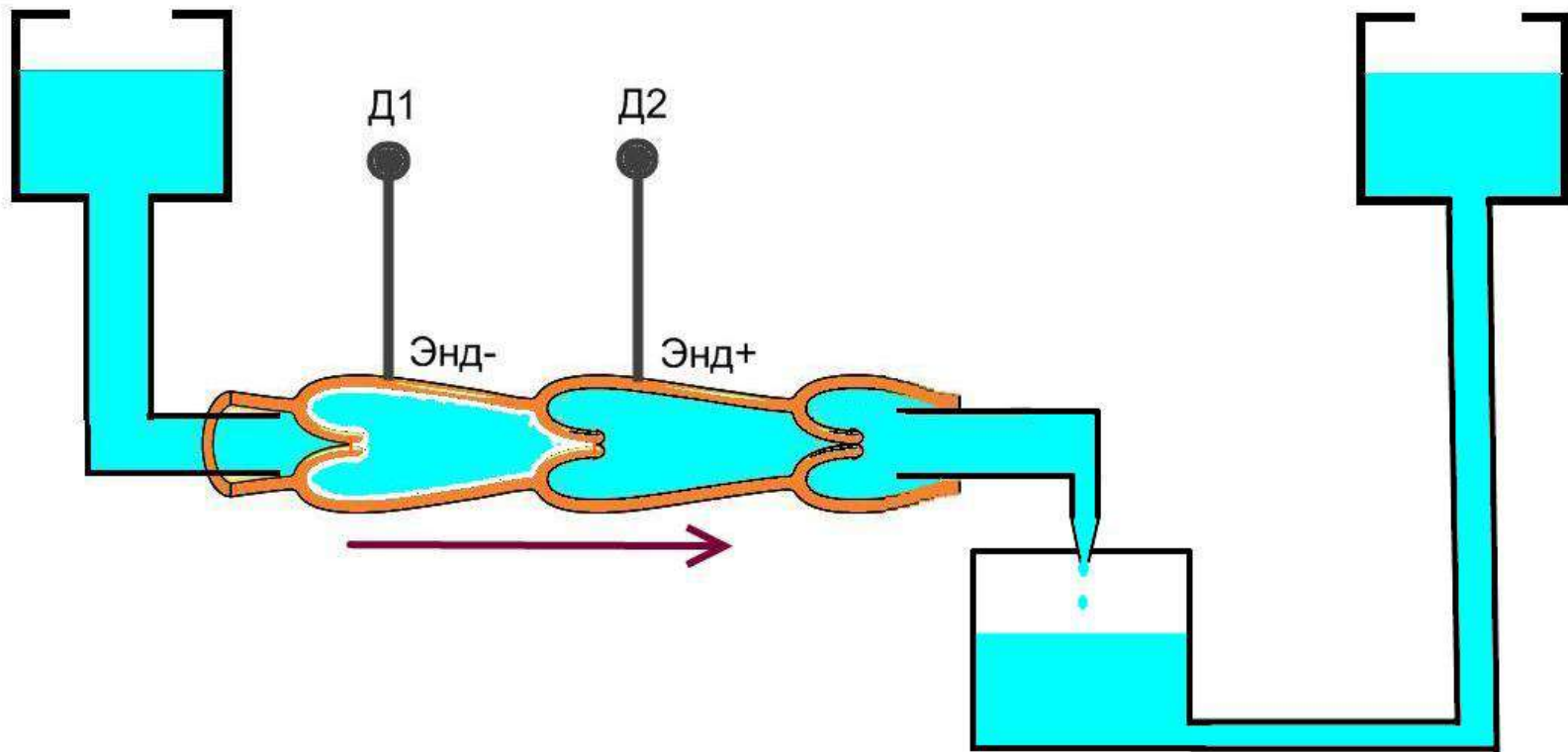
## Эндотелий-зависимая регуляция

Реализуется за счет продукции эндотелием NO, EDHF и в меньшей степени - простагликлина:

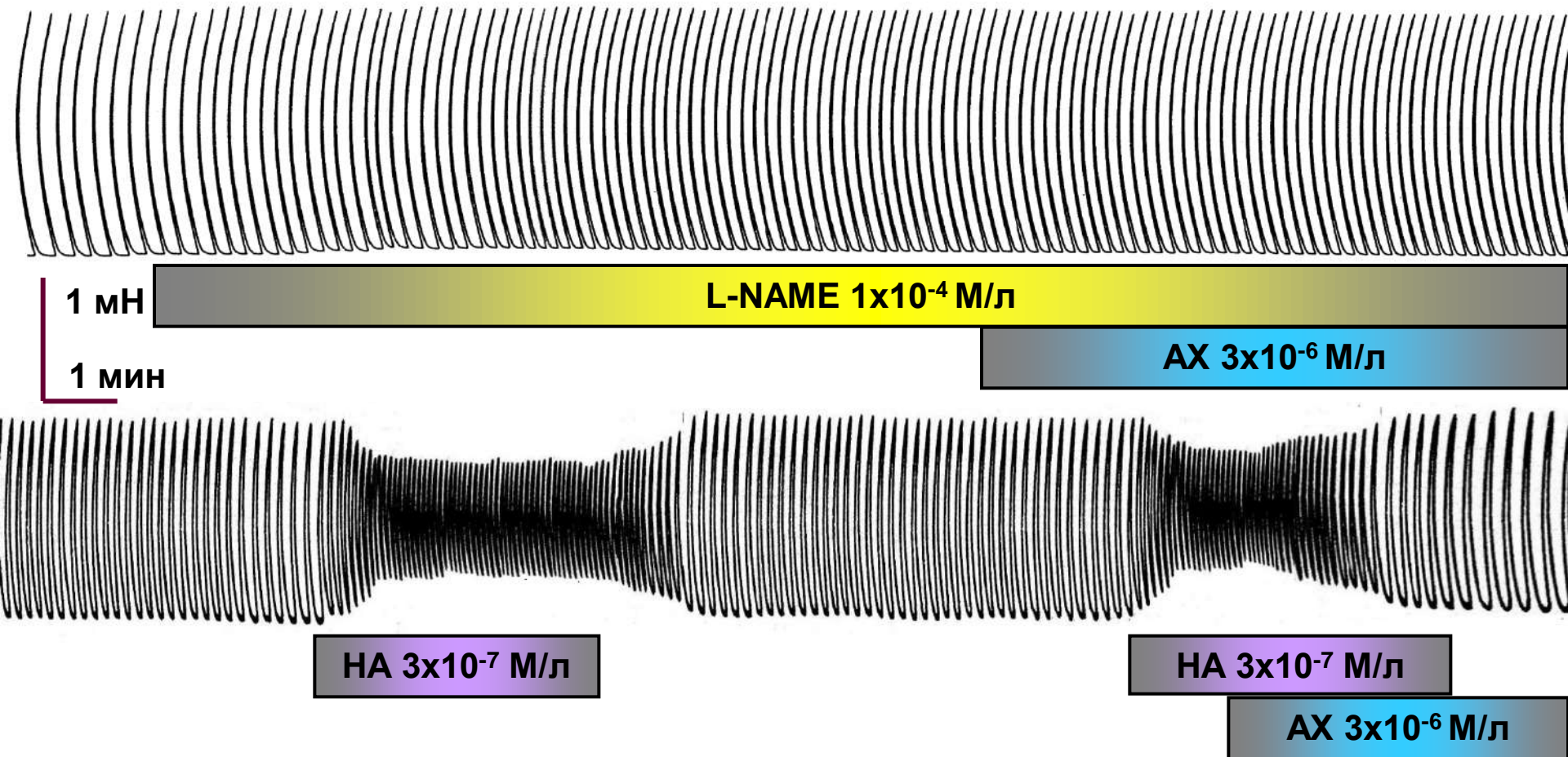
- при возрастании напряжения сдвига
- при стимуляции эндотелия ацетилхолином, брадикинином, цитокинами и др.

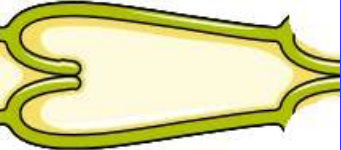


# Эндотелий-зависимая регуляция насосной функции лимфангиона



# Сократительная активность ГМК лимфангиона при действии ацетилхолина



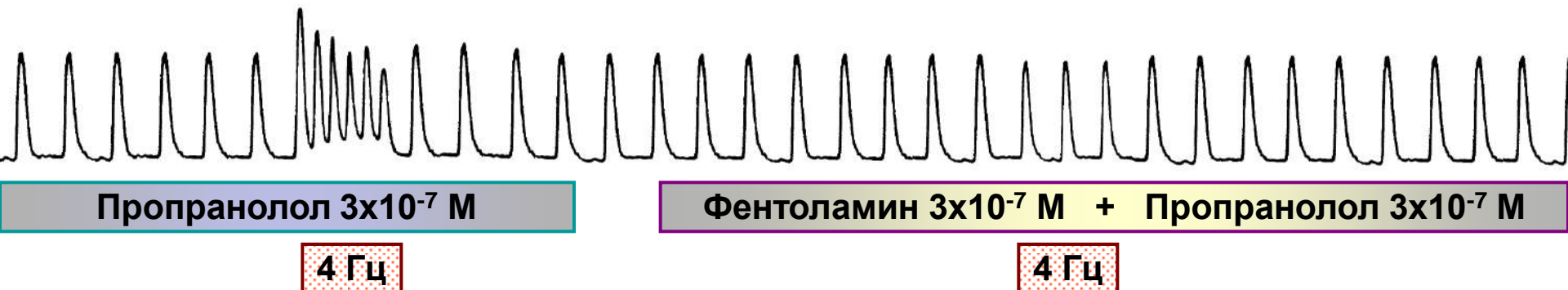
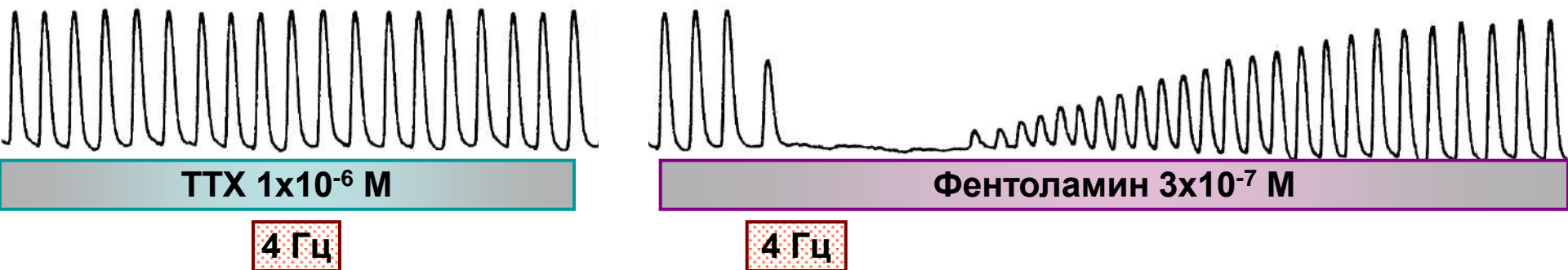


# Регуляция сократительной функции ГМК (насосной функции) лимфангиона

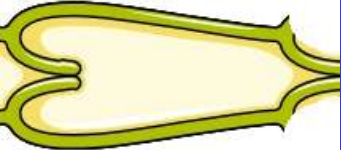
## Нервная регуляция

Симпатическая нервная система принимает участие в регуляции транспортной функции лимфатических сосудов в экстремальных ситуациях (стресс, кровопотеря)

# Реакция ГМК лимфангиона на стимуляцию нервных окончаний





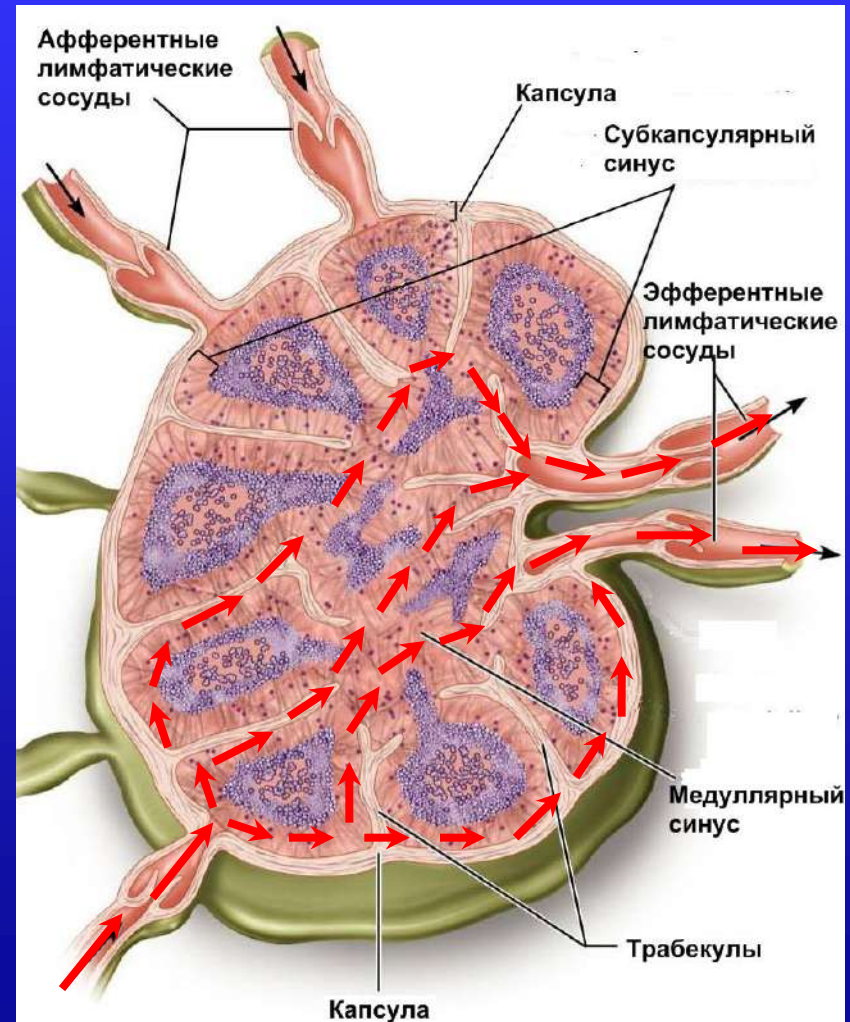
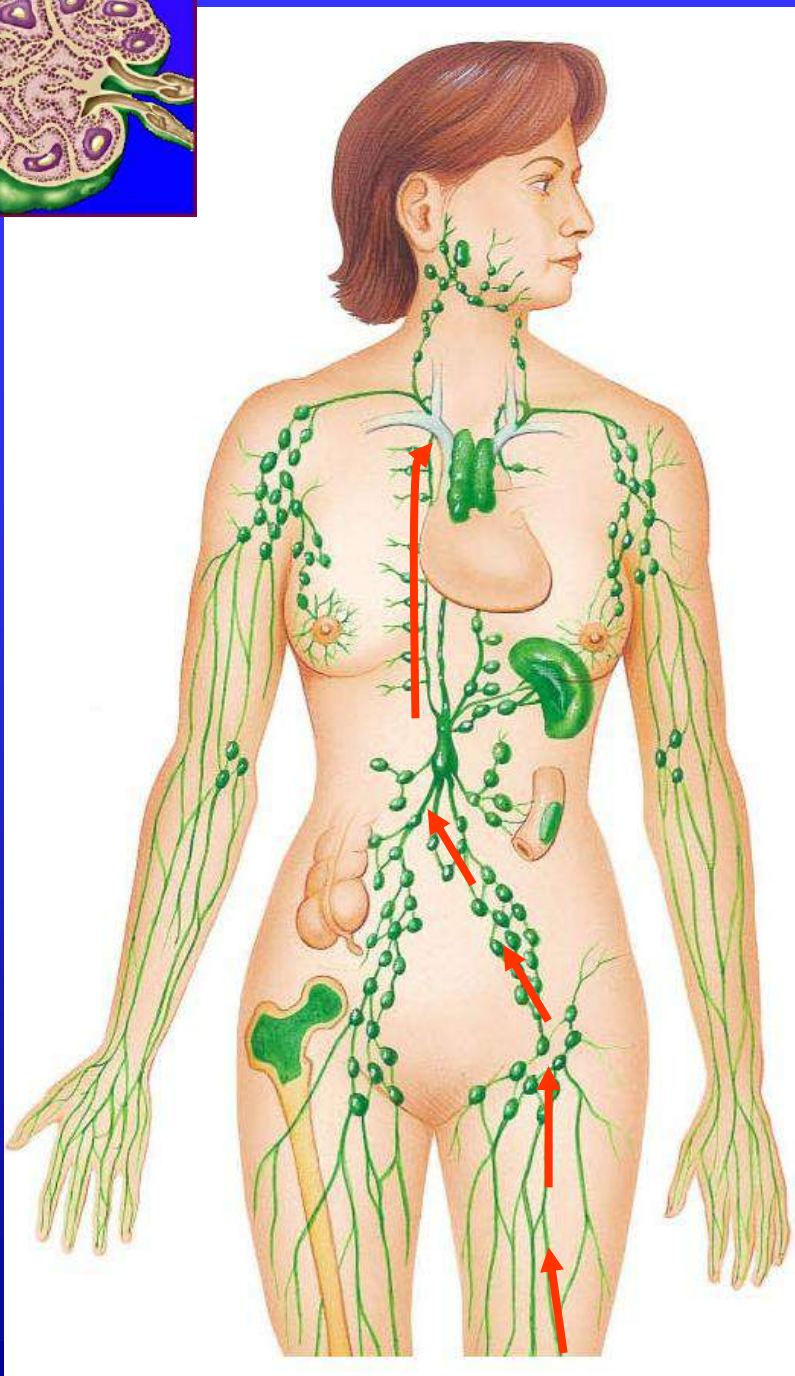


# Регуляция сократительной функции ГМК (насосной функции) лимфангиона

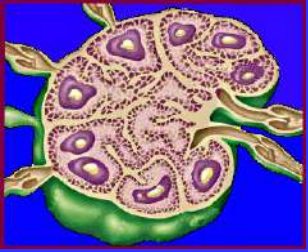




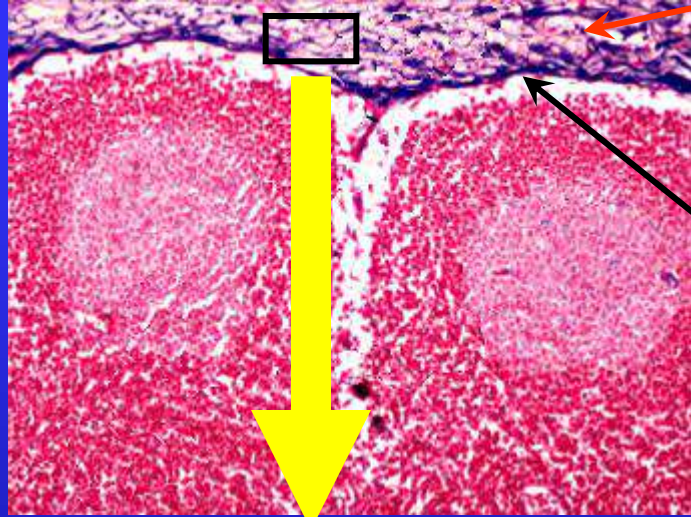
# Лимфатические узлы







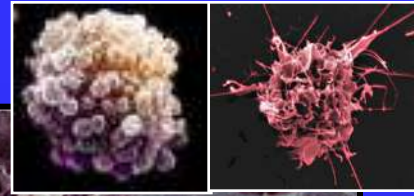
# Строение лимфатического узла



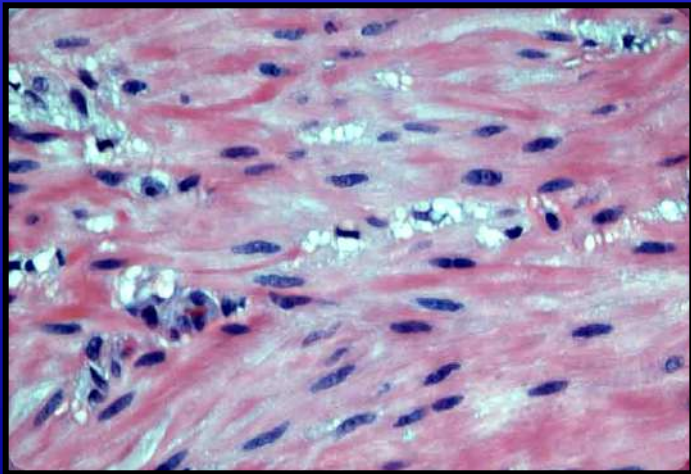
Капсула

20-30 мкм

Субкапсулярный  
синус



Эндотелиальные  
(литоральные)  
клетки



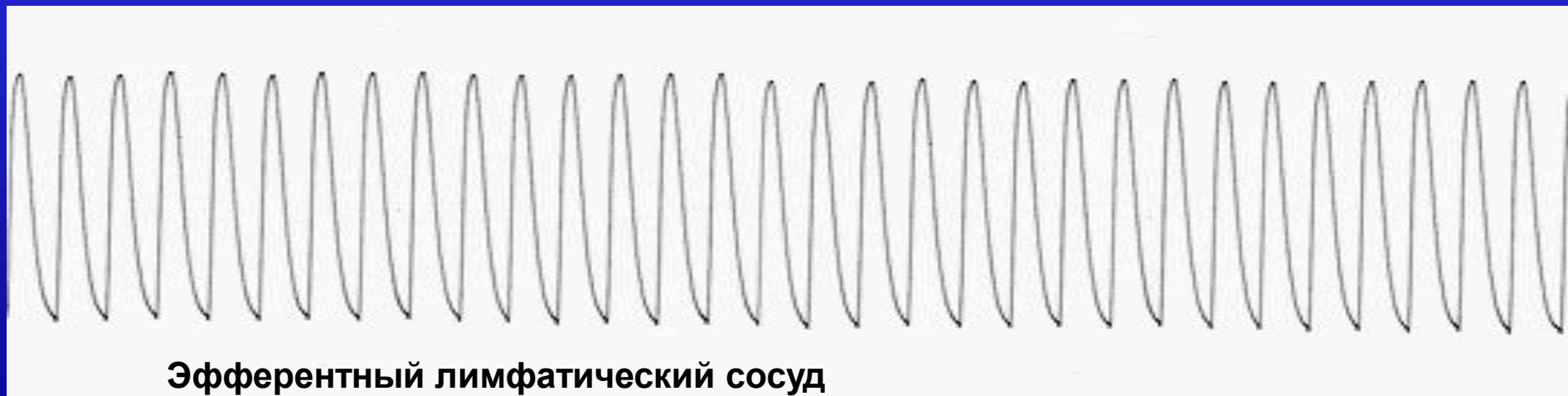
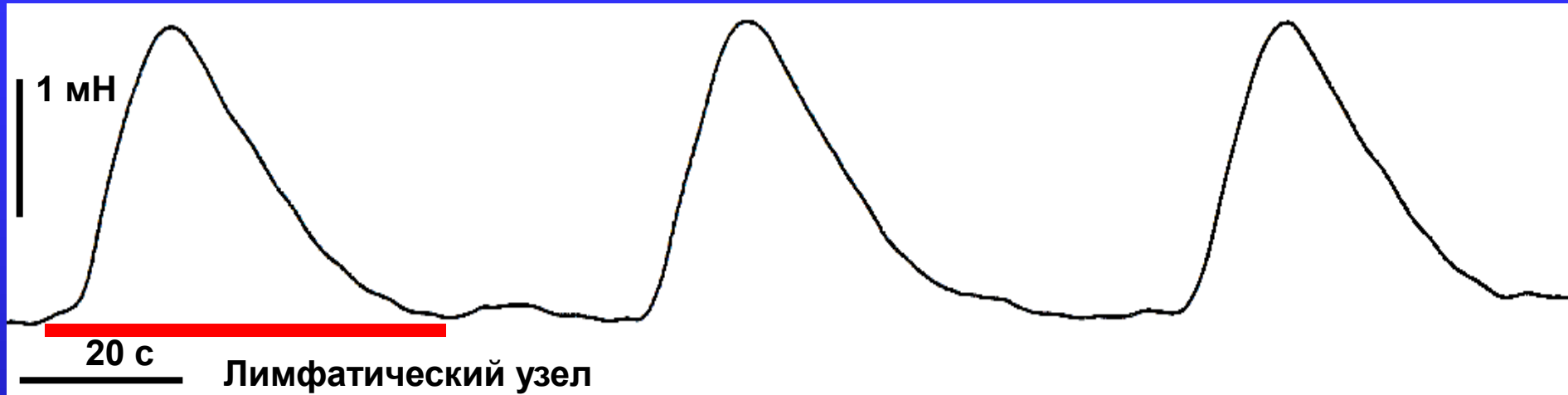
Гладкомышечные  
клетки

Ohtani O. and Ohtani Y. Arch  
Histol Cytol, 71 (2): 69-76. 2008

Welsch U. et al. Anat  
Rec 247:225-242. 1997

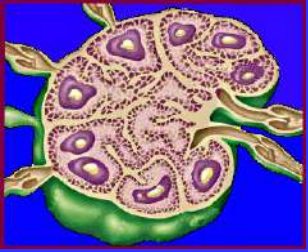


# Фазные сокращения ГМК капсулы ЛУ

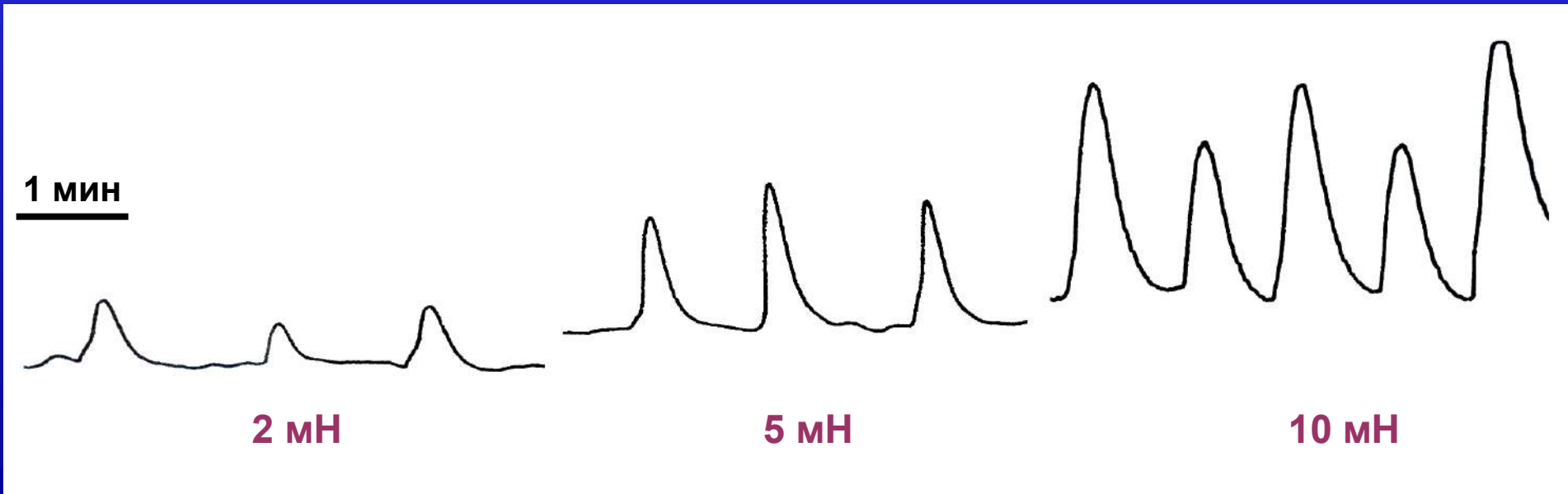
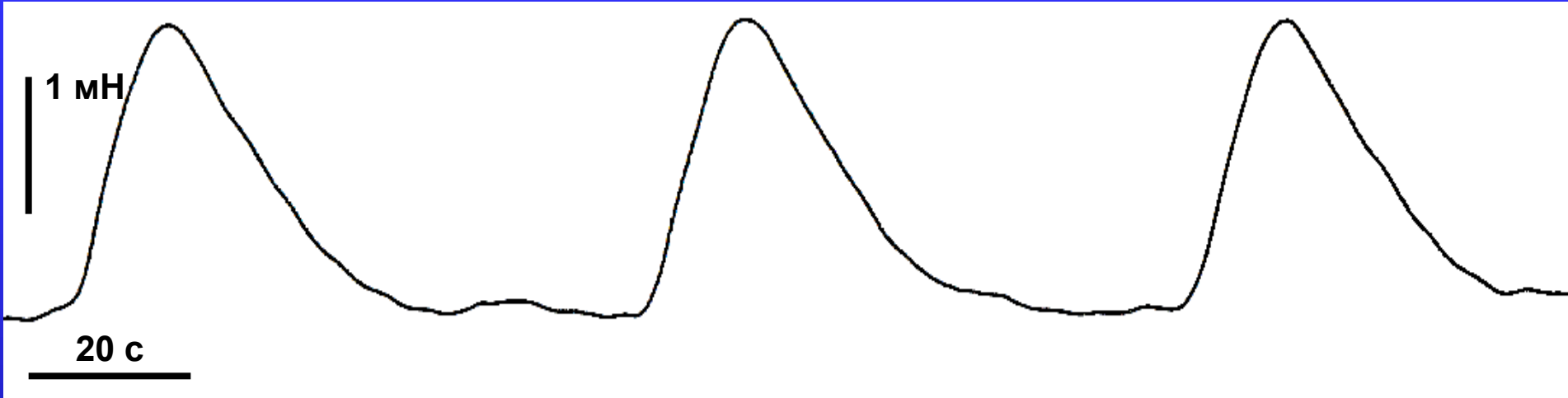


# Регуляция сократительной функции ГМК (насосной функции) лимфатических узлов



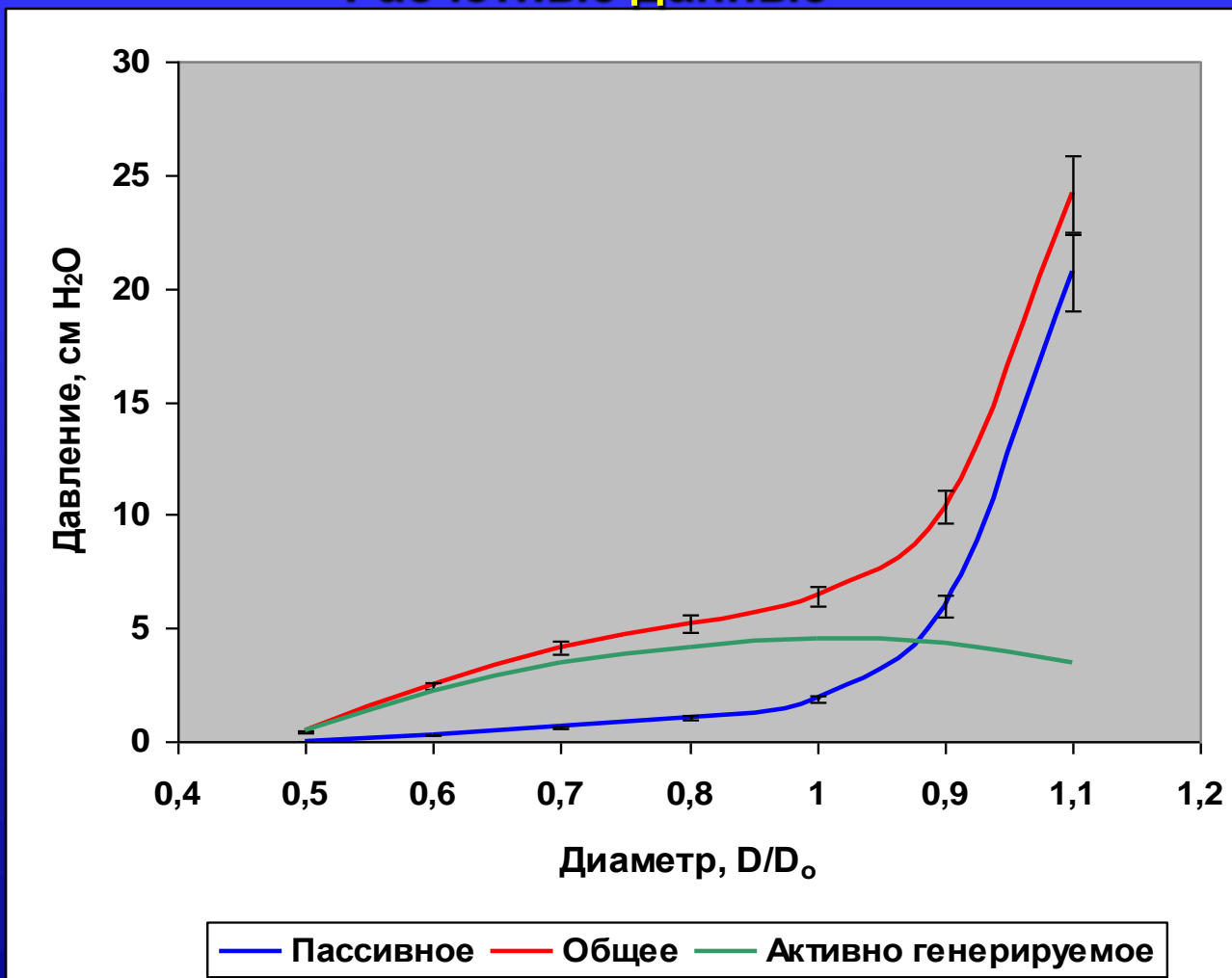


# Миогенная регуляция сокращений ГМК капсулы лимфатических узлов



# Давление в лимфатическом узле

Расчетные данные



**Максимальное активно генерируемое давление составляет 4,5 см H<sub>2</sub>O**

**Эндотелий-зависимая  
регуляция сократительной  
функции ГМК (насосной  
функции) лимфатических  
узлов**

**Нервная регуляция  
сократительной функции ГМК  
(насосной функции)  
лимфатических узлов**



**Гуморальная регуляция  
сократительной функции ГМК  
(насосной функции)  
лимфатических узлов**

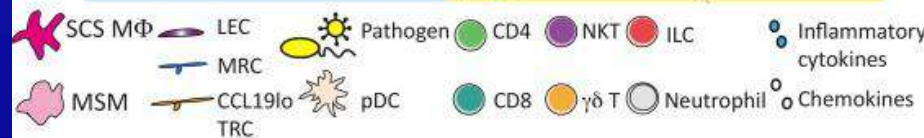
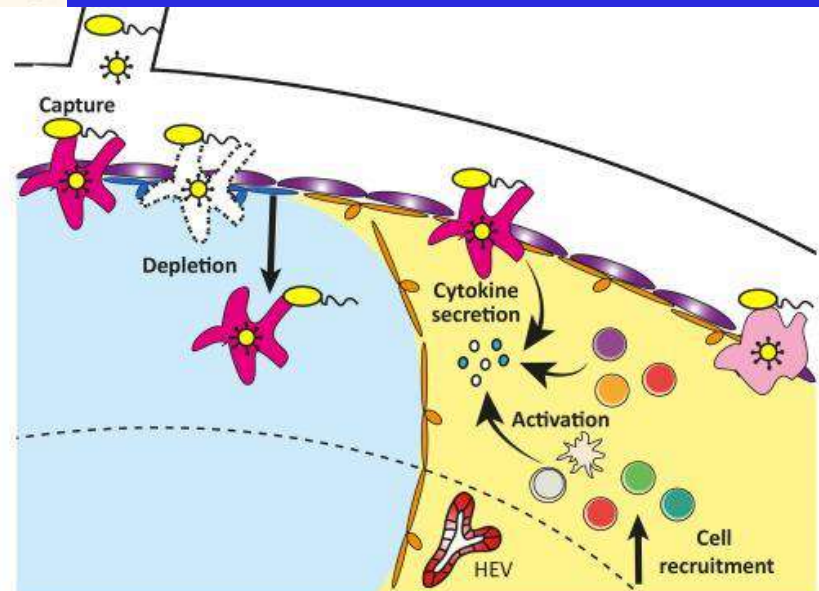
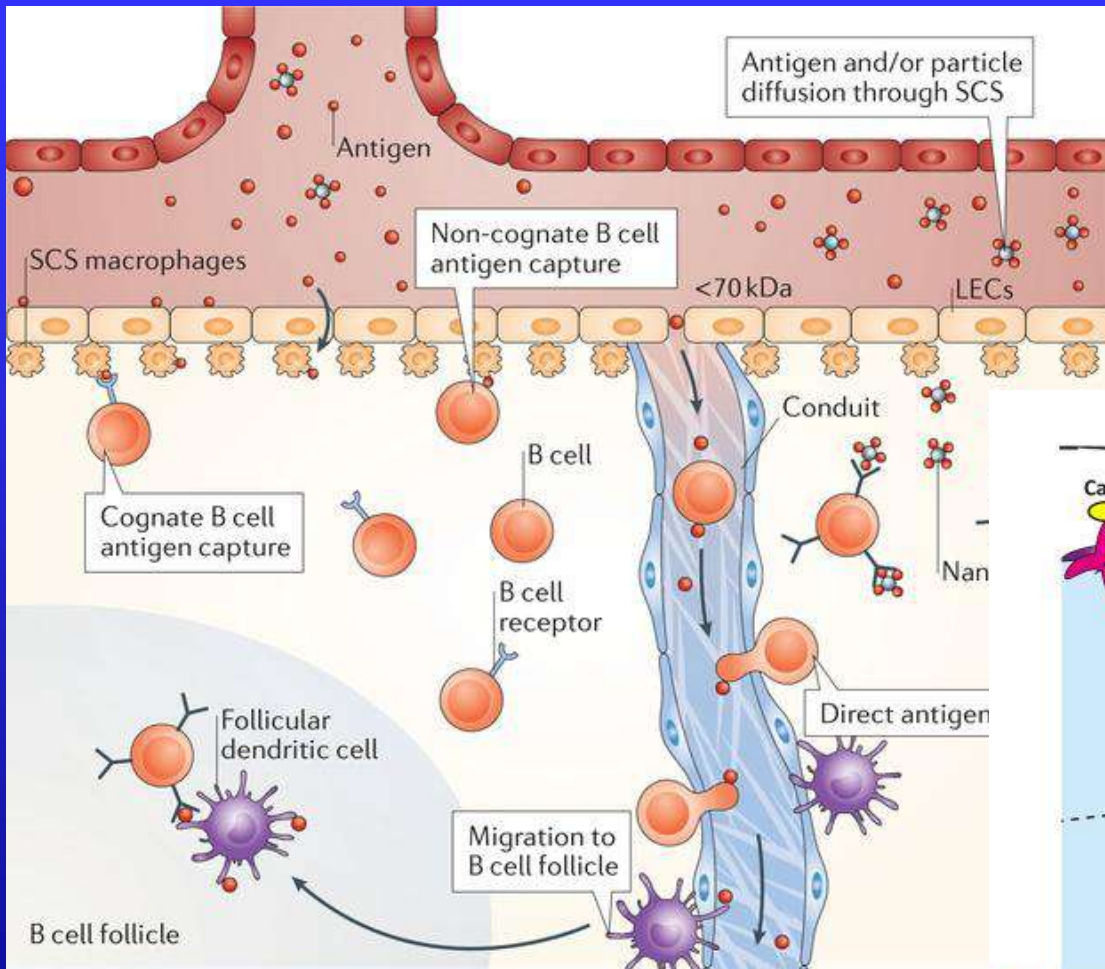
# Эффекты гистамина на лимфатические сосуды и узлы

Лимфатический сосуд

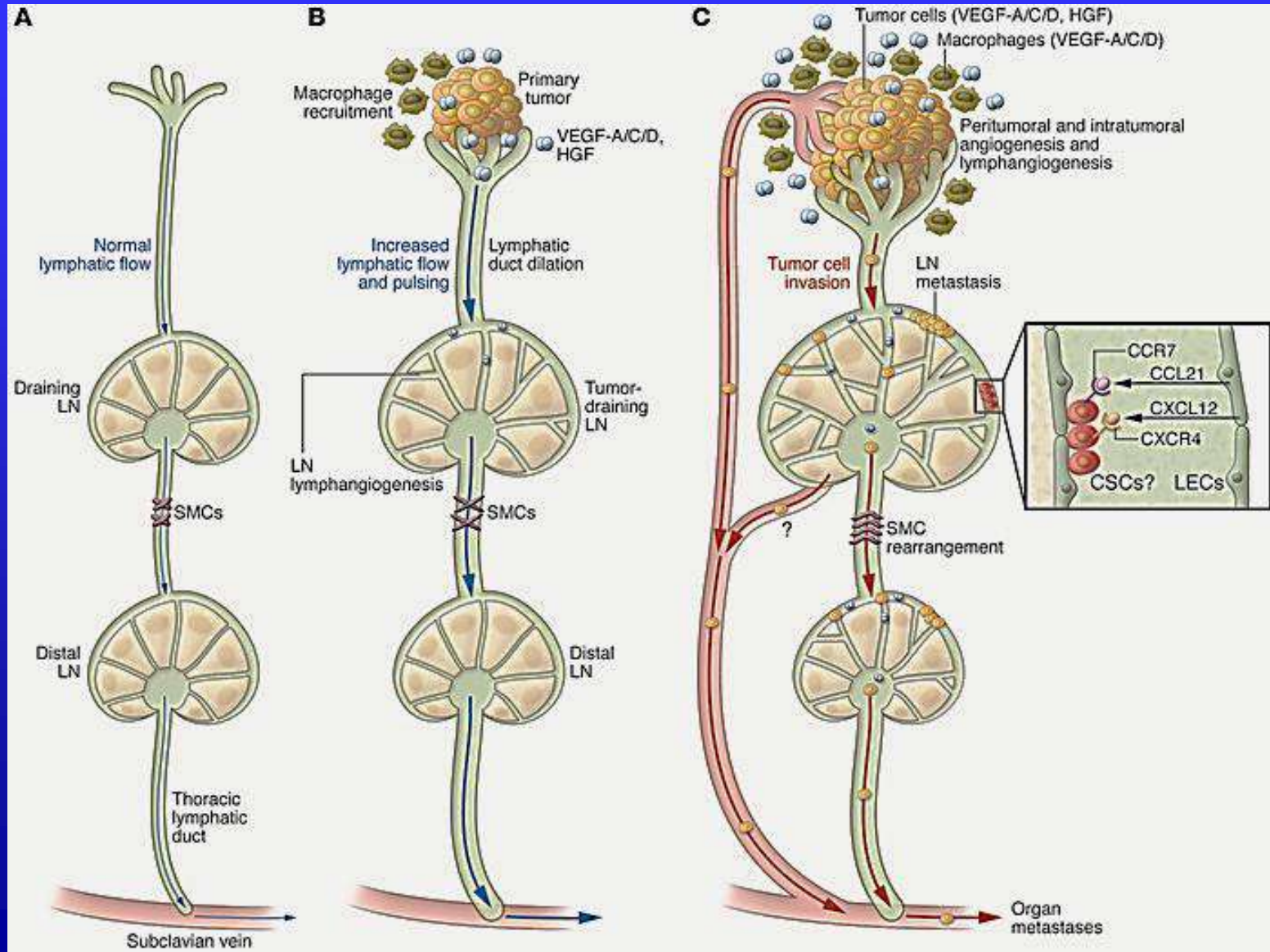
Лимфатический узел

Лимфатический узел

# Иммунная функция лимфатических узлов



# Механизмы лимфатического метастазирования

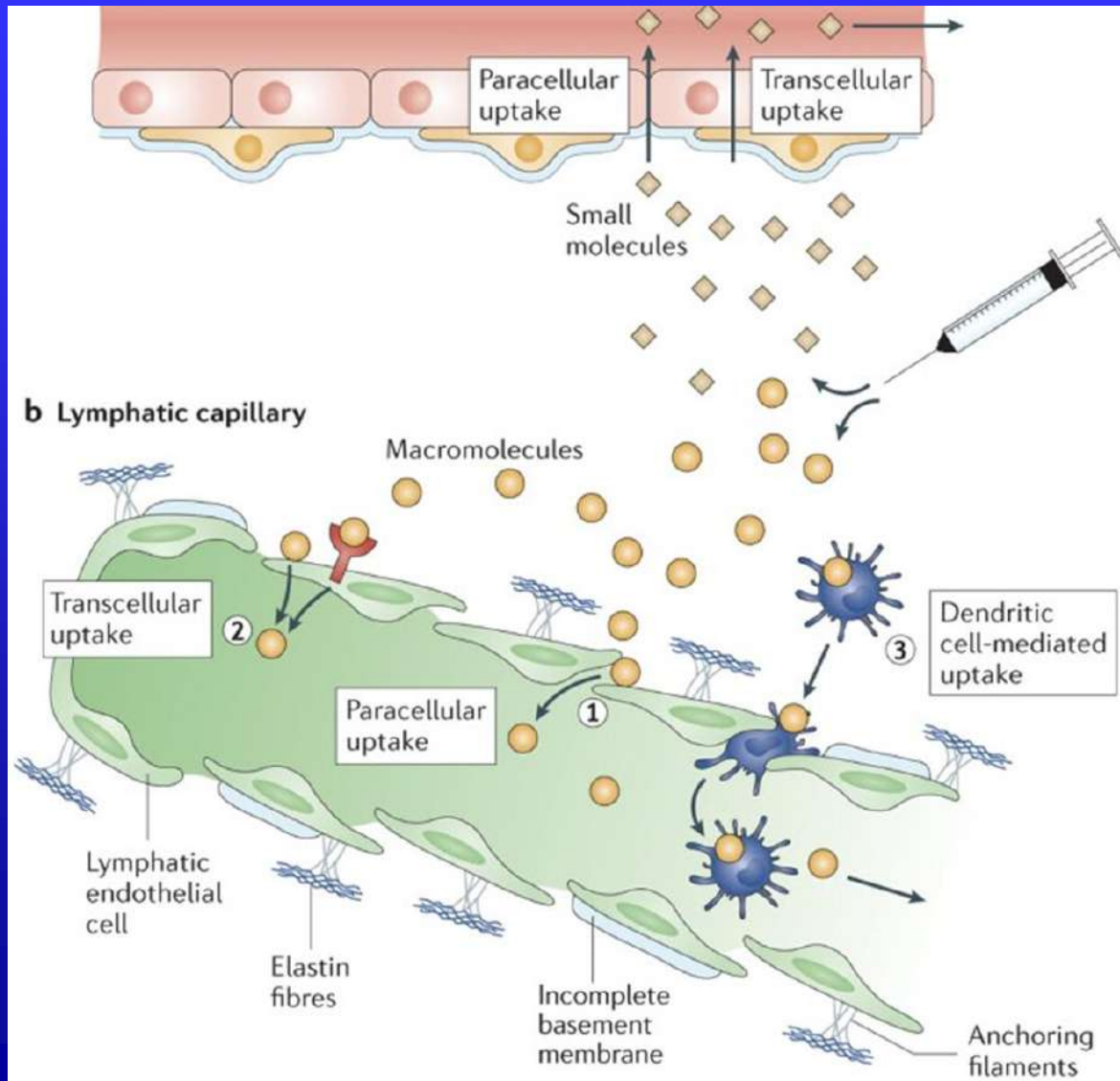




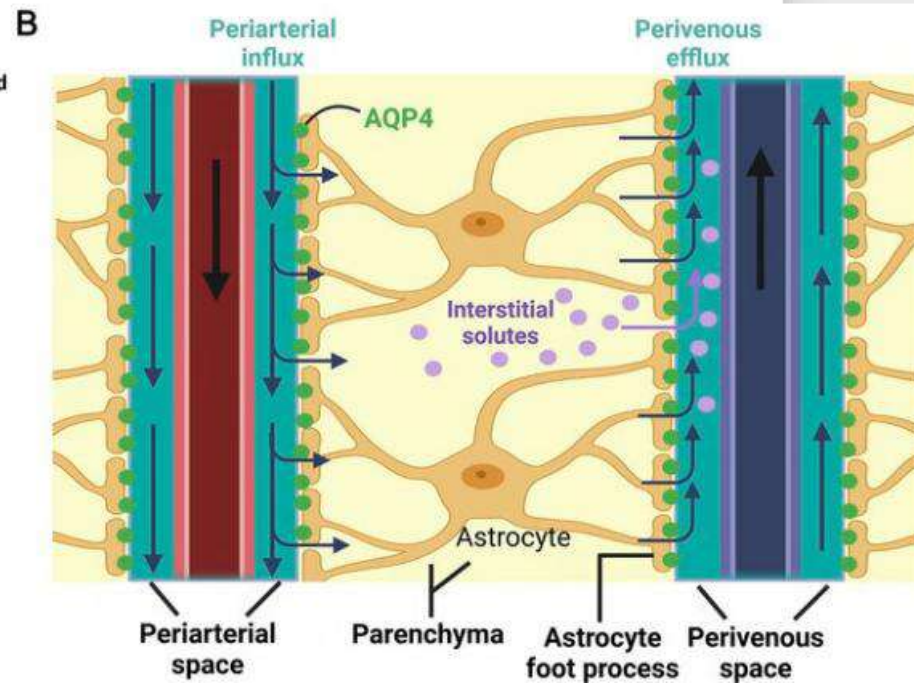
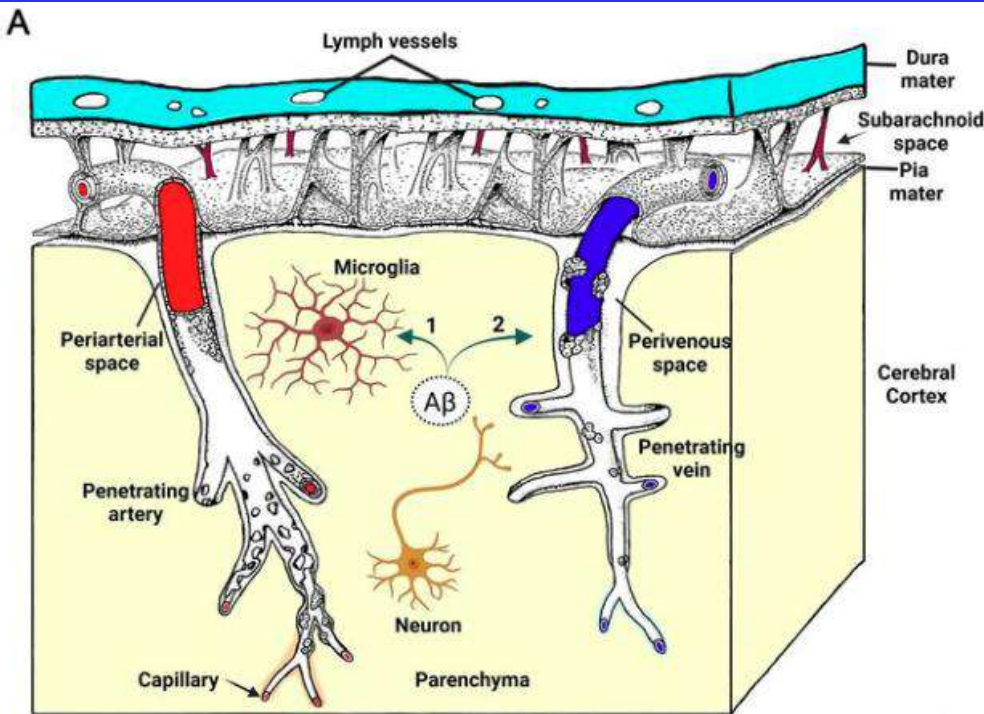
# Методы лечения, направленные на структуры лимфатической системы

- Эндолимфатическая терапия при воспалительных и онкологических заболеваниях
- Лимфотропная терапия
- Применение липофильных наночастиц размером 10-80 нм, нагруженных лечебными препаратами.

# Методы лечения, направленные на структуры лимфатической системы



# Глиально-лимфатическая система



# Глиально-лимфатическая система

