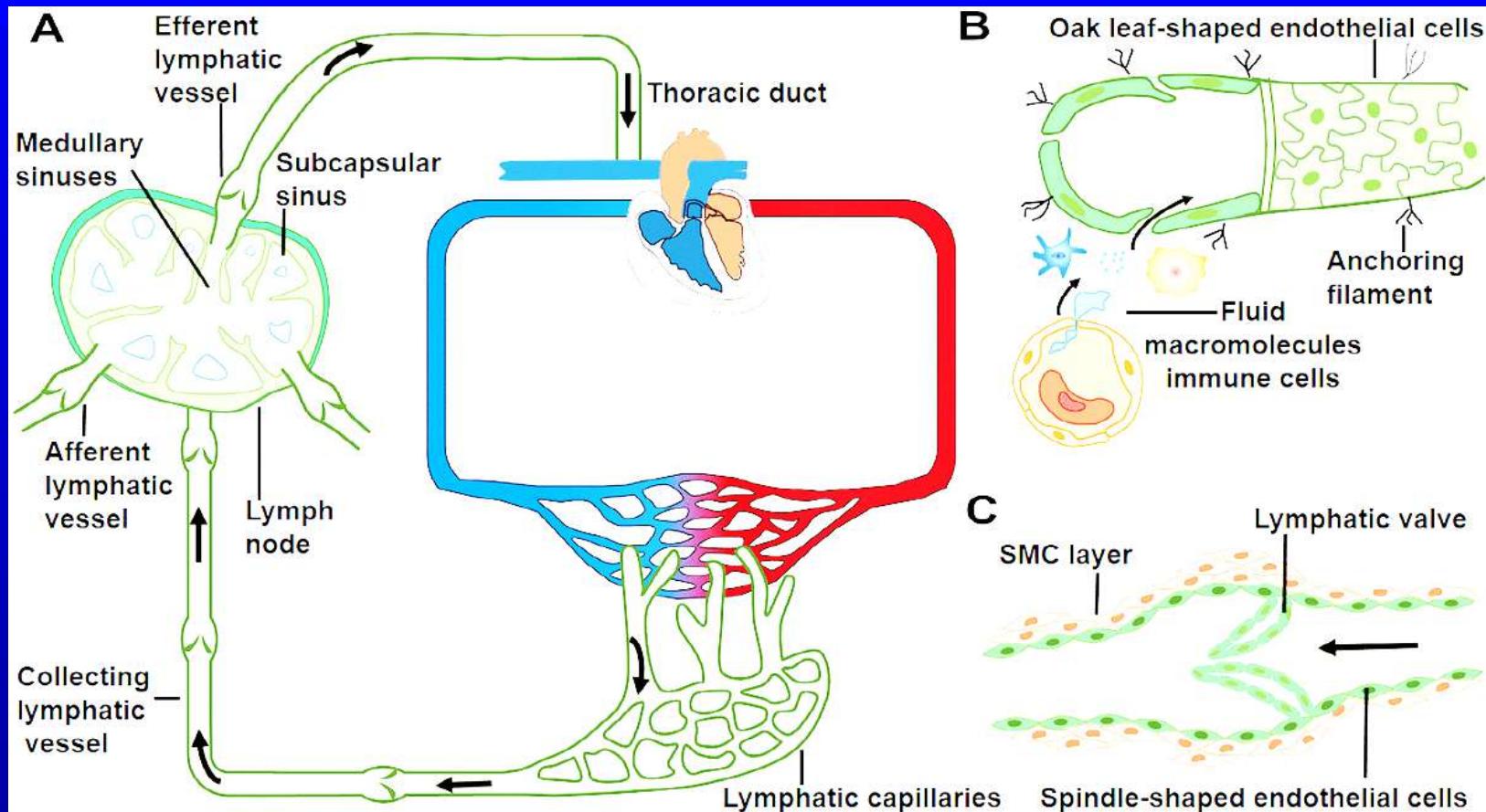


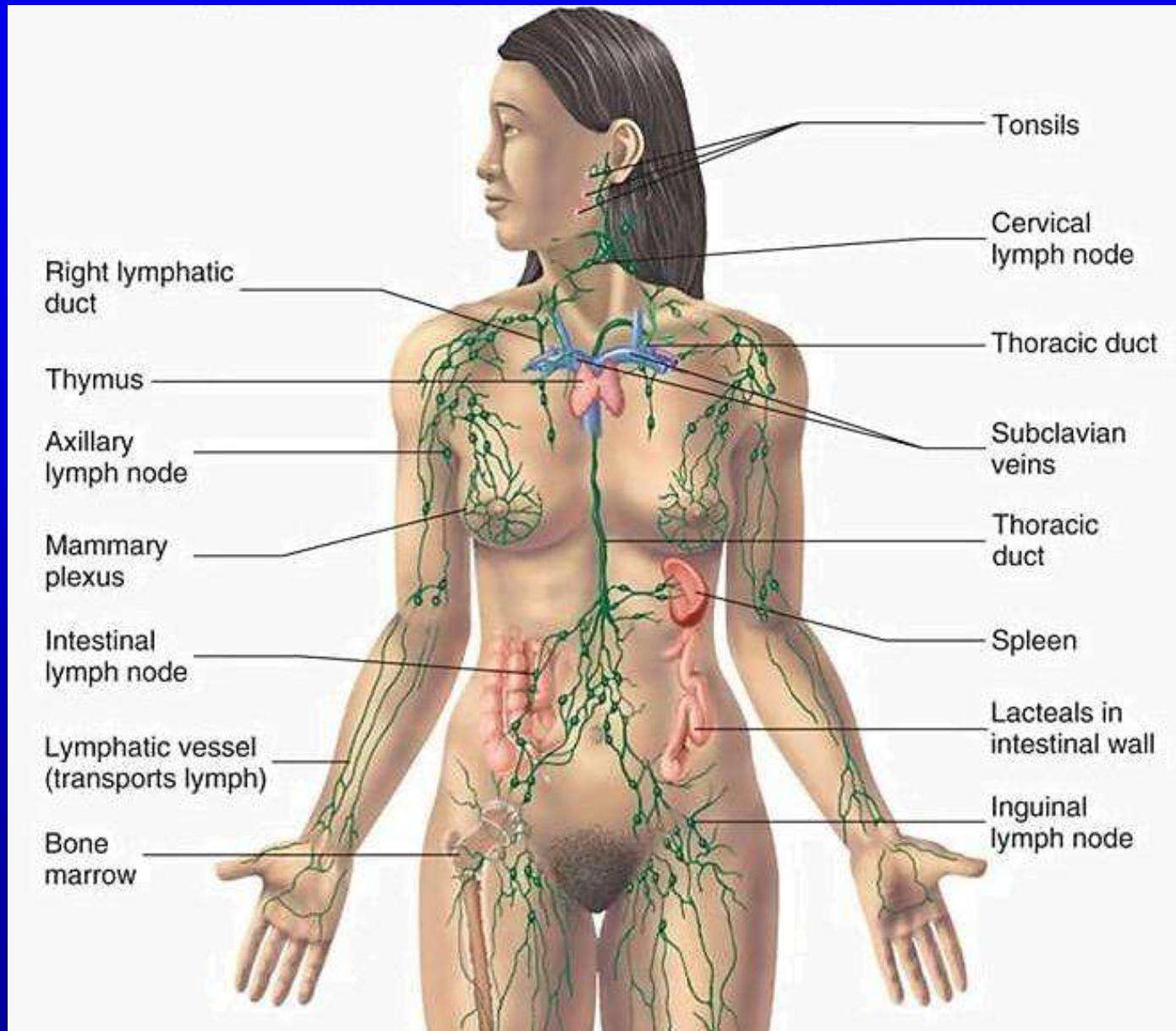
# Физиология лимфатической системы



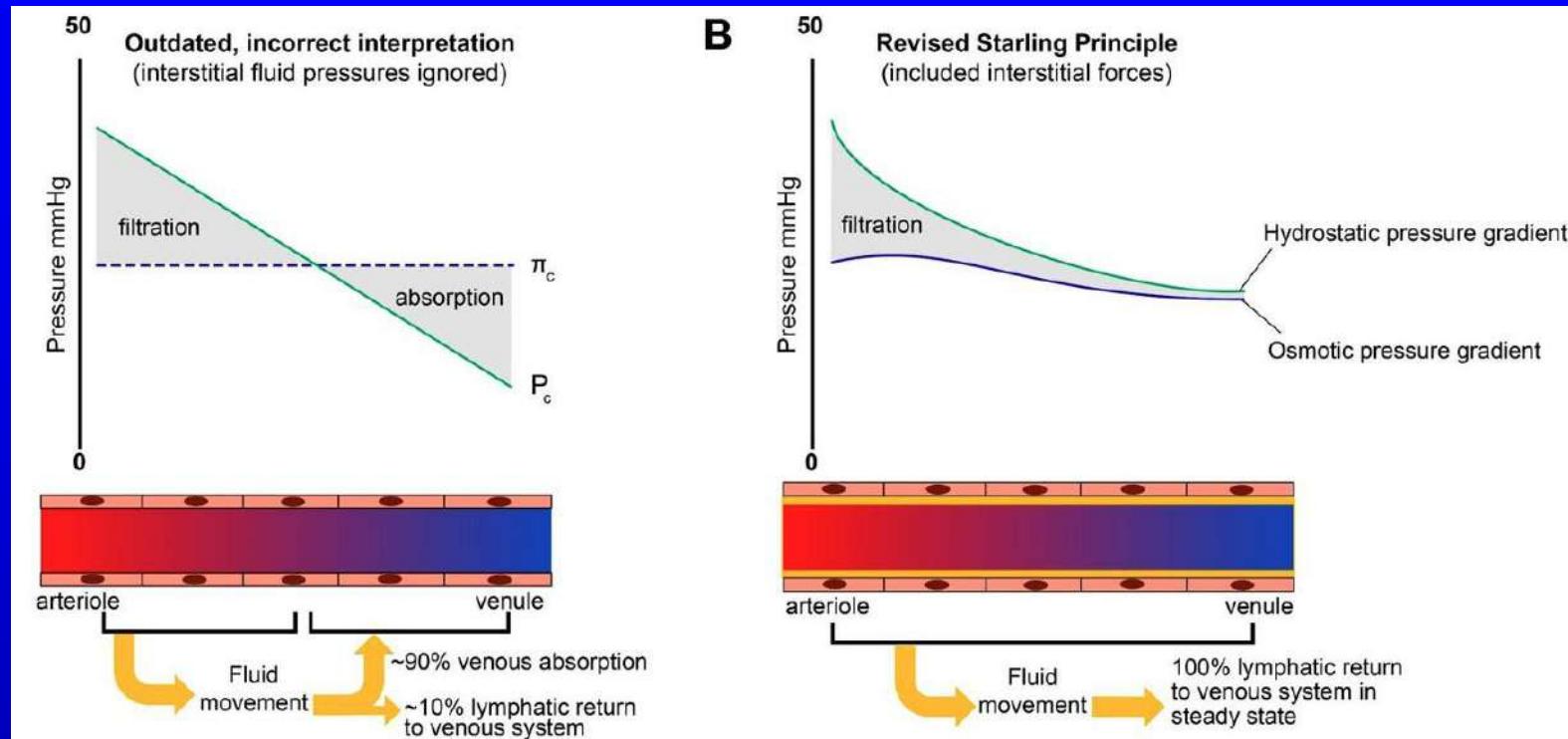
Проф. Г.И. Лобов

LobovGI@infran.ru

# Лимфатическая система



# Закон Старлинга

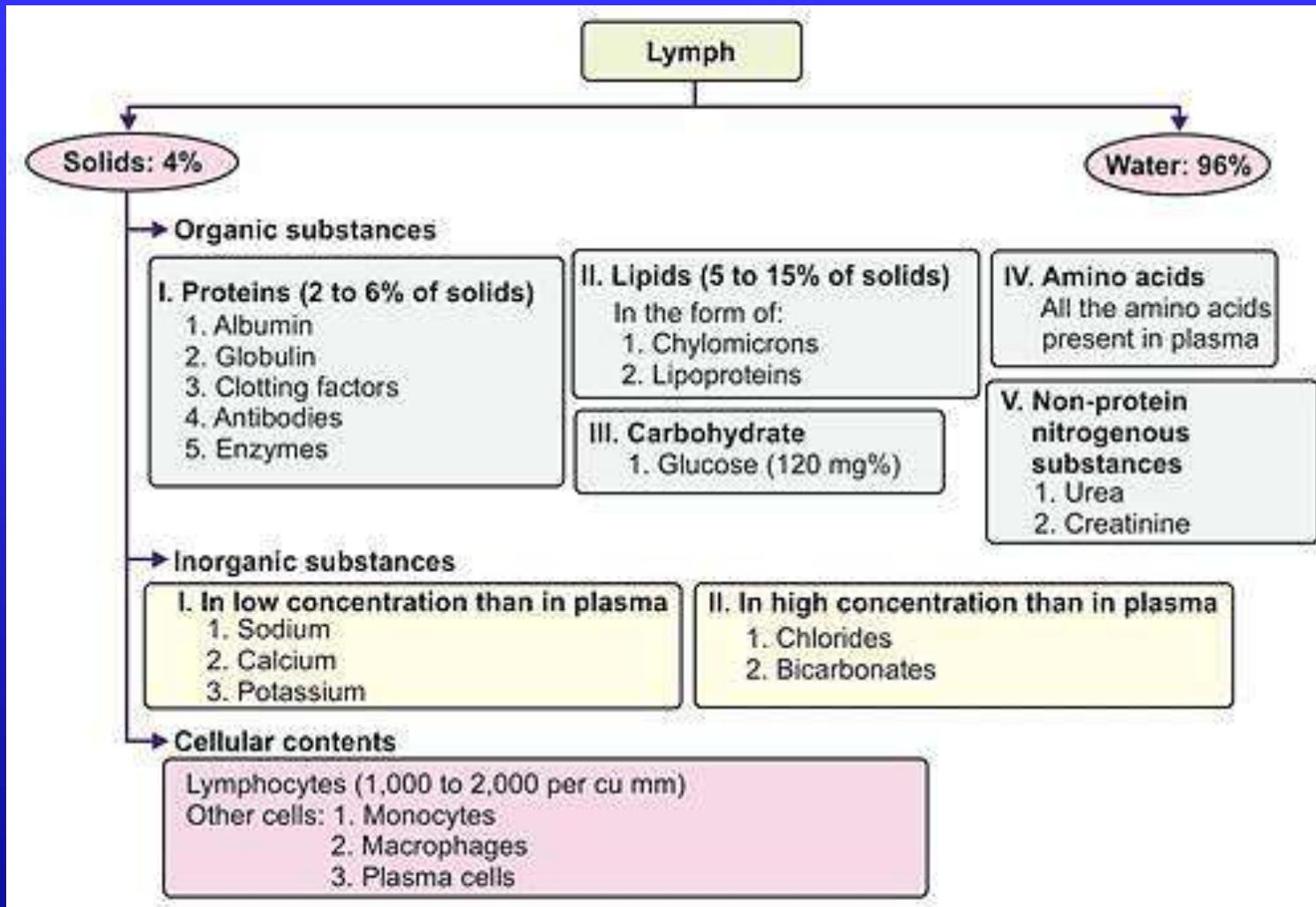


Благодаря прямому измерению интерстициального гидростатического давления и коллоидного осмотического давления, а также открытию гликокаликса (или «пути малых пор») старая теория (А) была опровергнута.

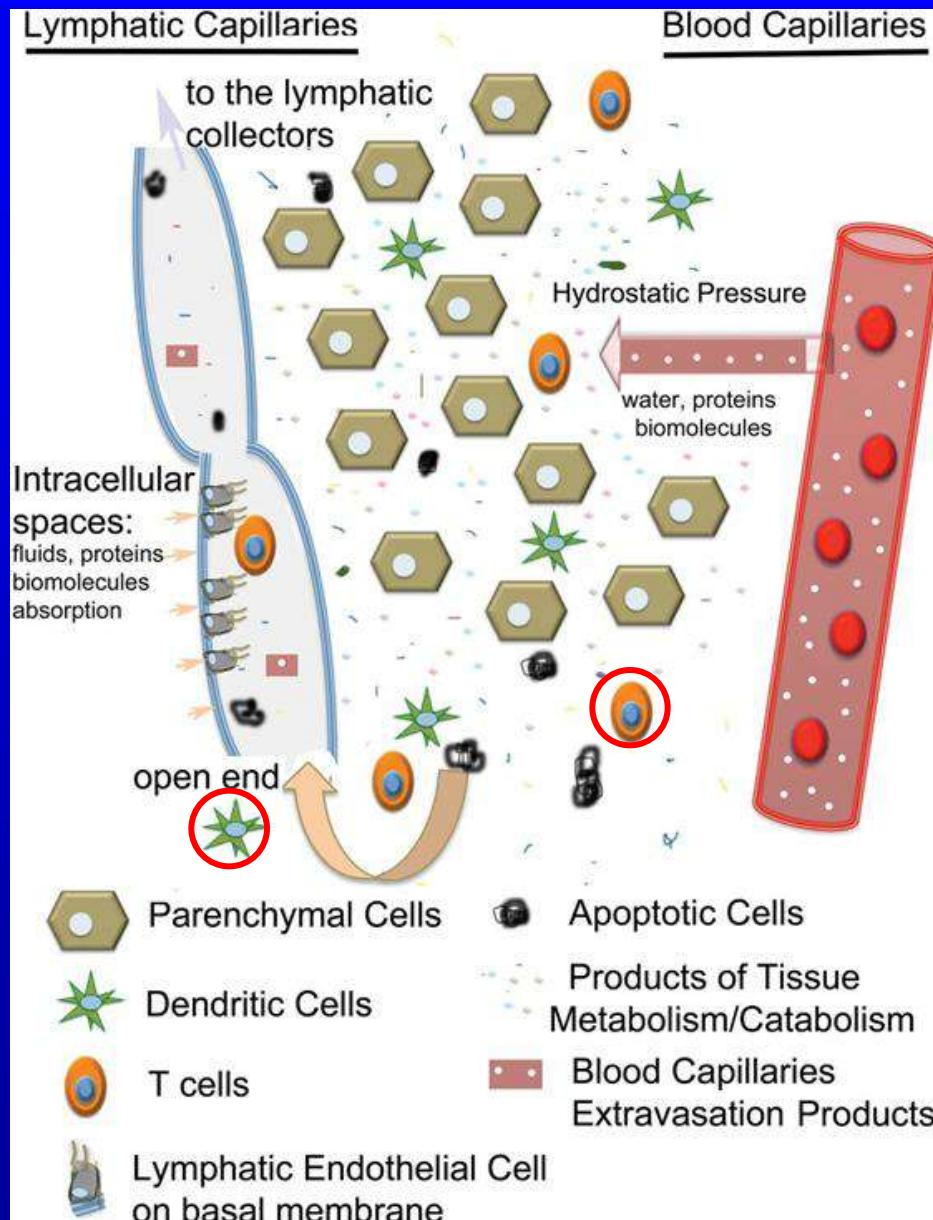
Пересмотр сил Старлинга показал, что в установившемся состоянии силы, вызывающие фильтрацию (зеленая линия), превышают силы, противодействующие фильтрации (синяя линия). Следовательно, чистая, но уменьшающаяся фильтрация будет происходить по всей длине капилляра

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

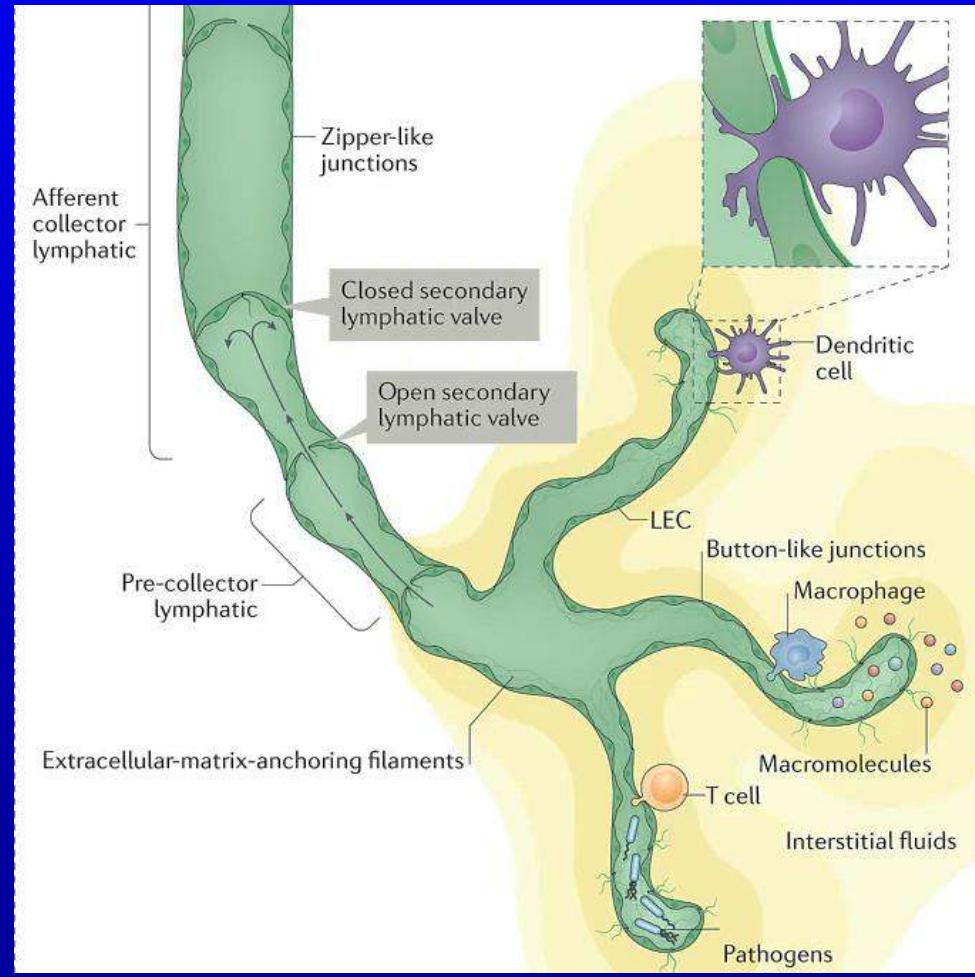
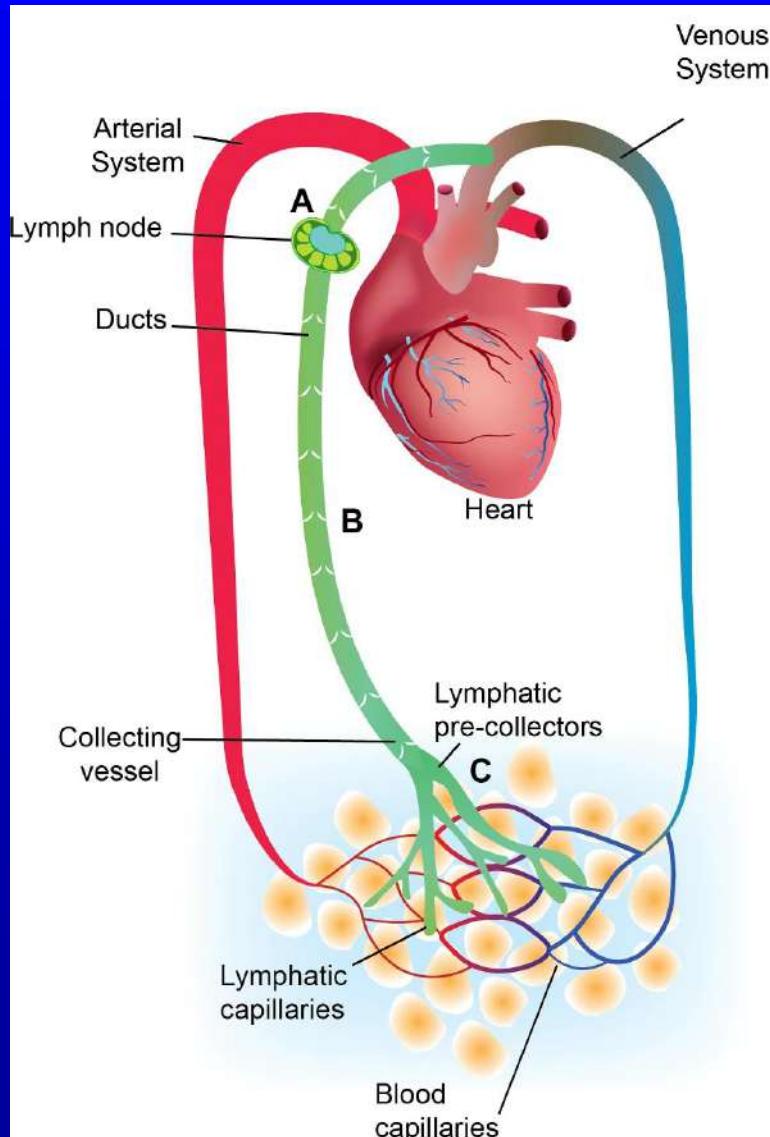
# Состав лимфы



# Состав лимфы

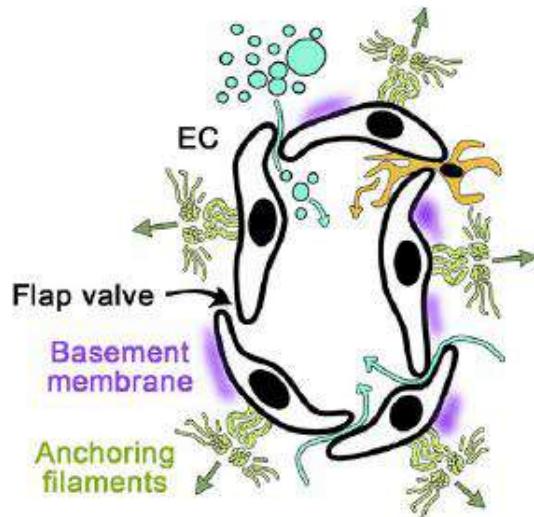


# Лимфатические капилляры, преколлекторы и сосуды

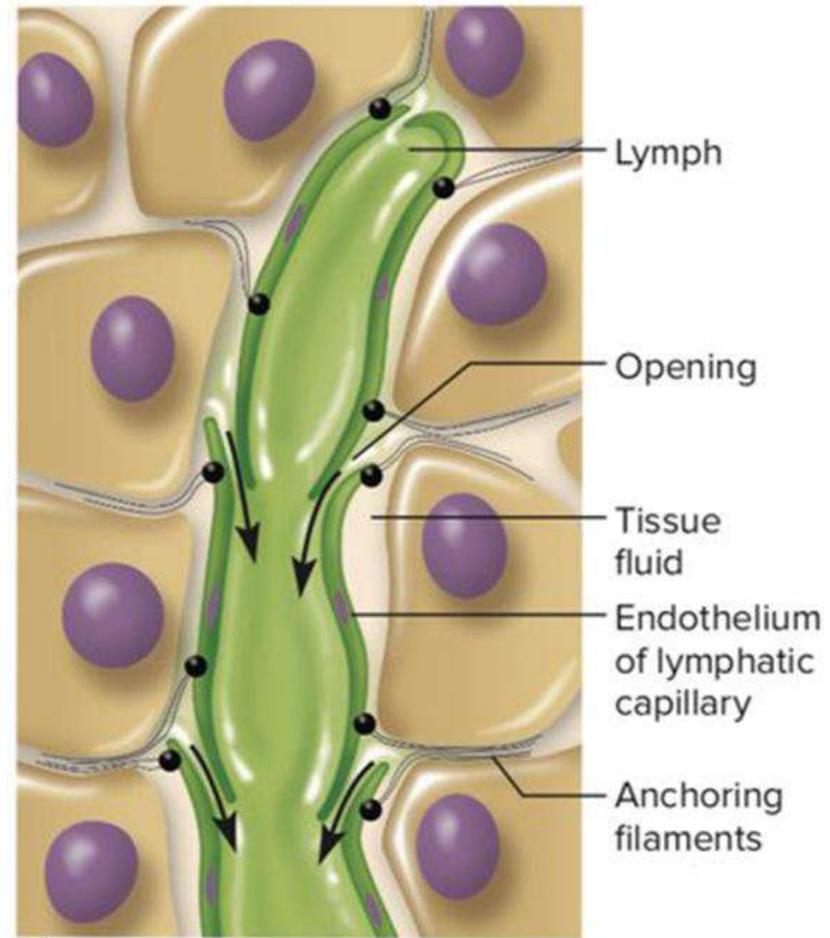
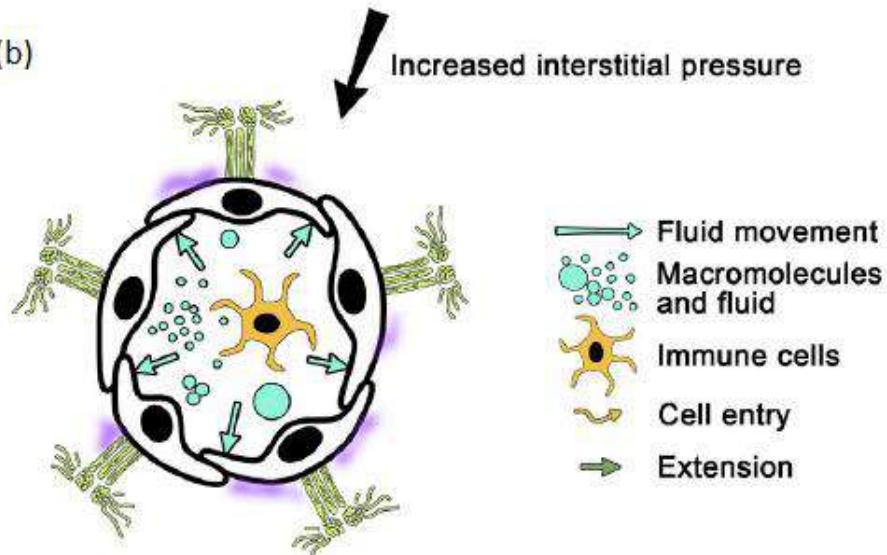


# Образование лимфы

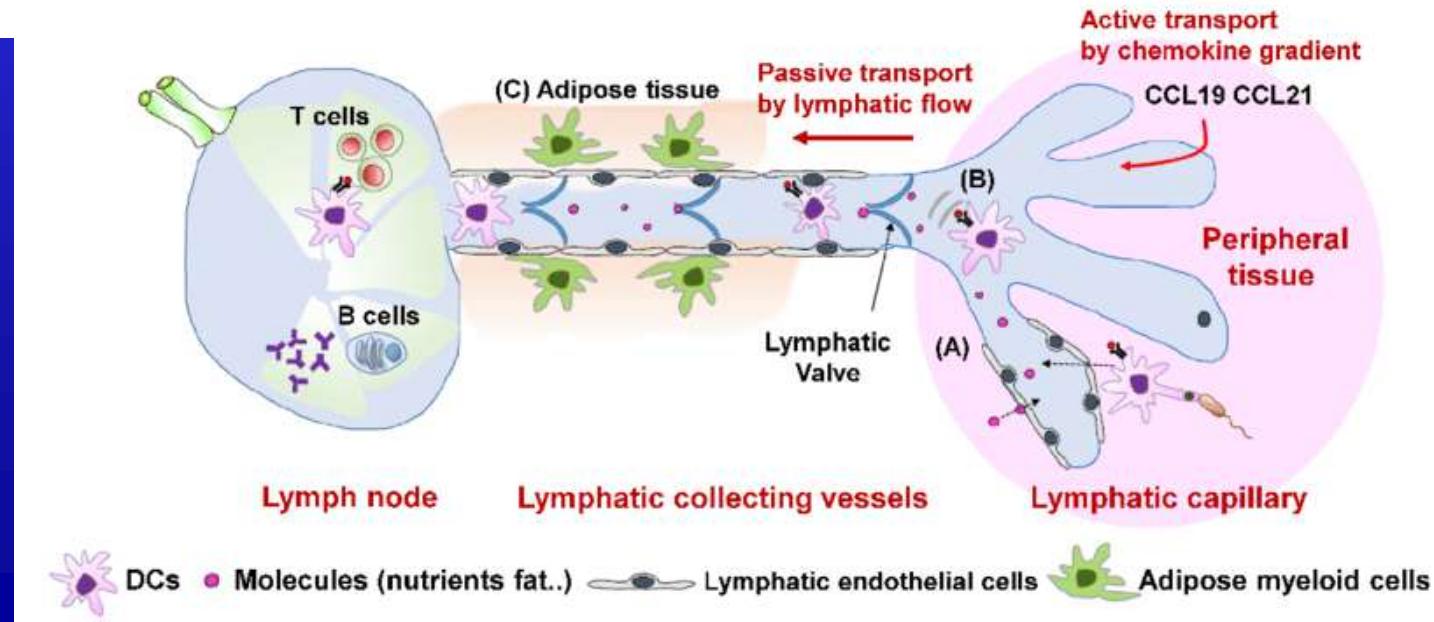
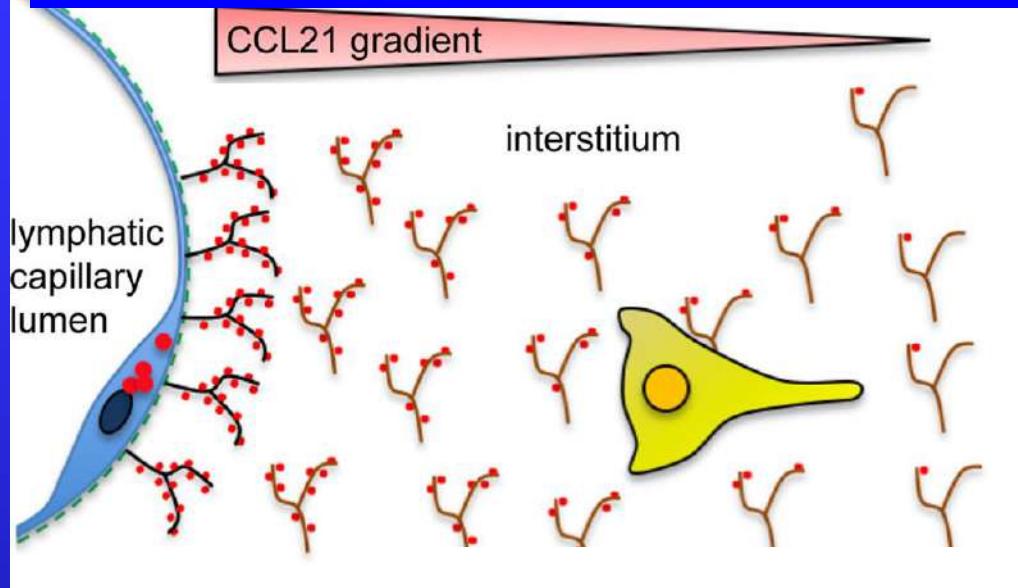
(a)



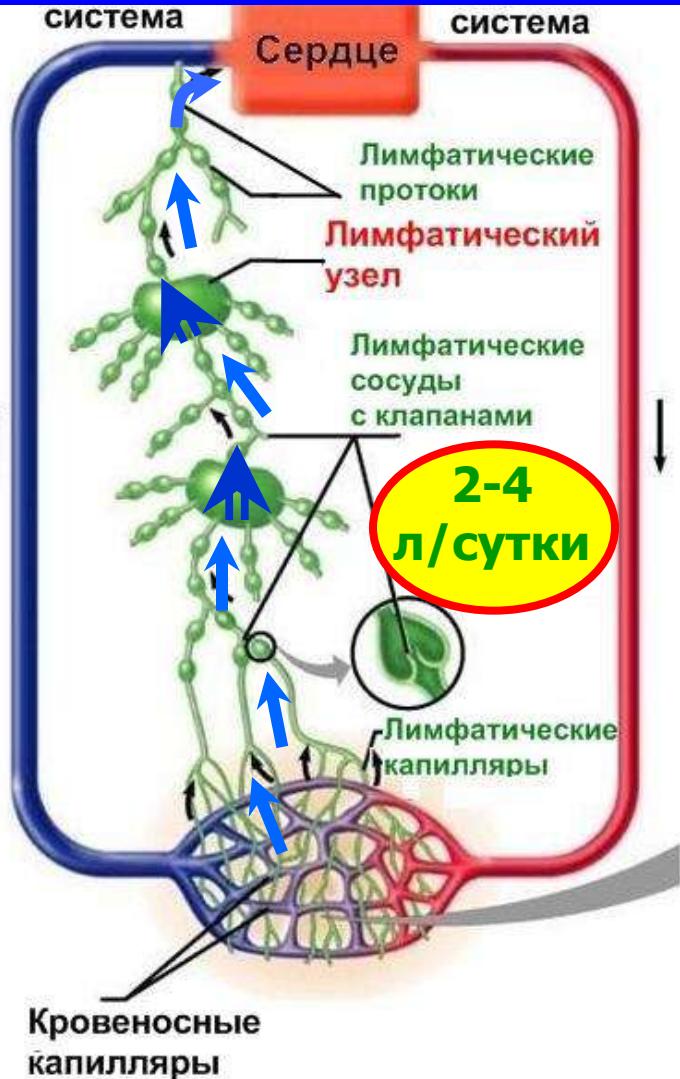
(b)



# 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**

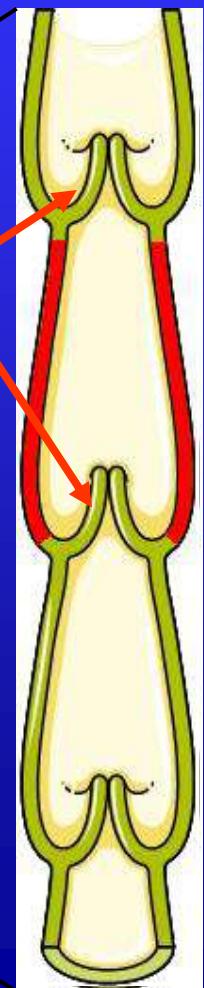
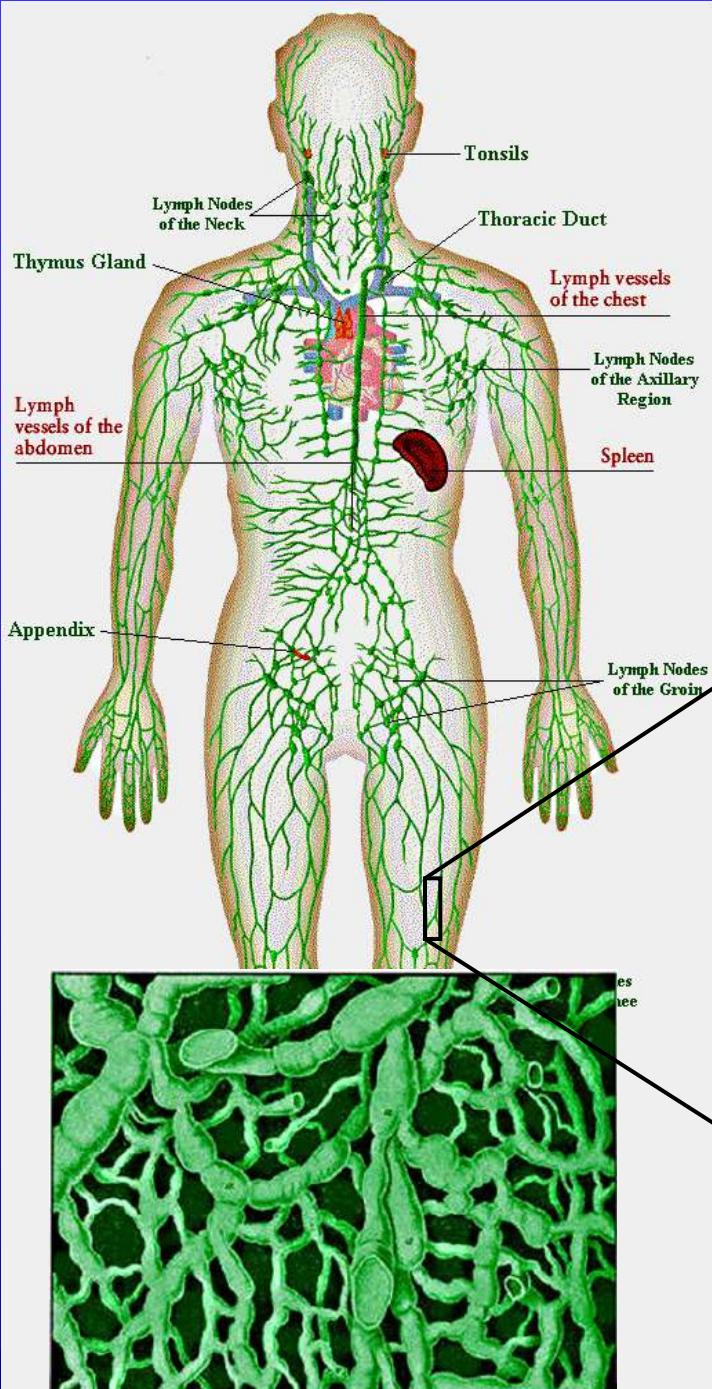
# Проблемы при нарушении транспортной функции лимфатической системы



Лимфедема,  
1-я стадия

8 % населения  
Европы  
(60 млн чел.)

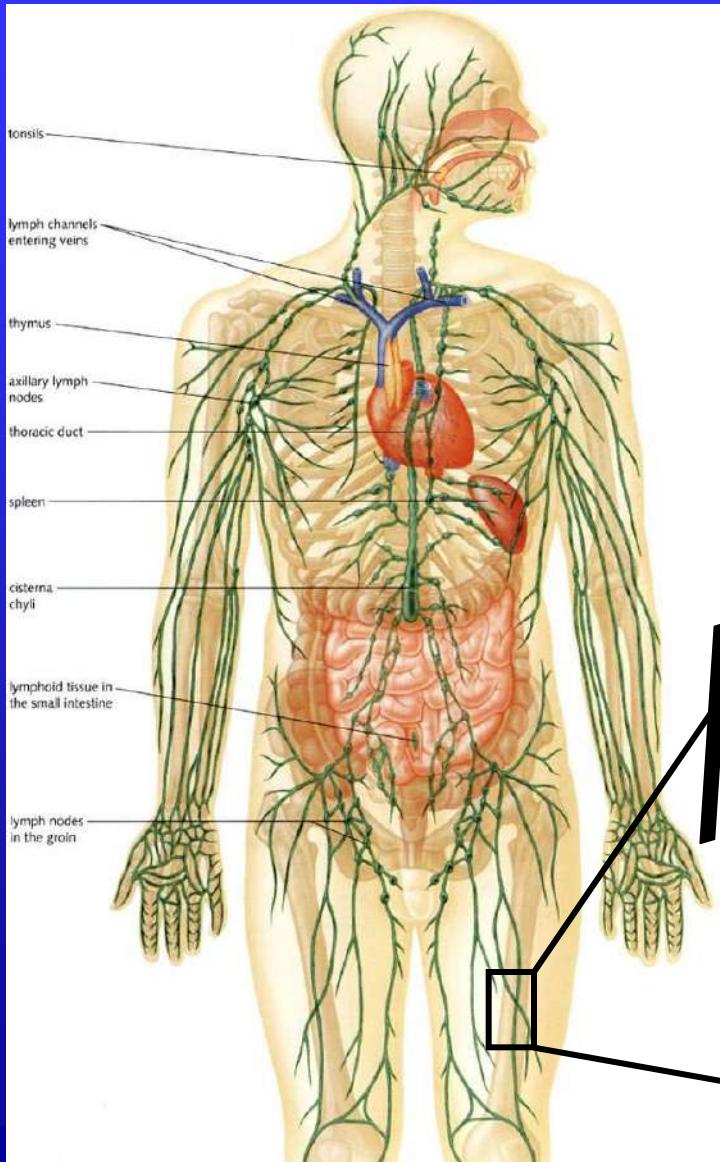
# Лимфатион – структурно-функциональных единица лимфатических сосудов



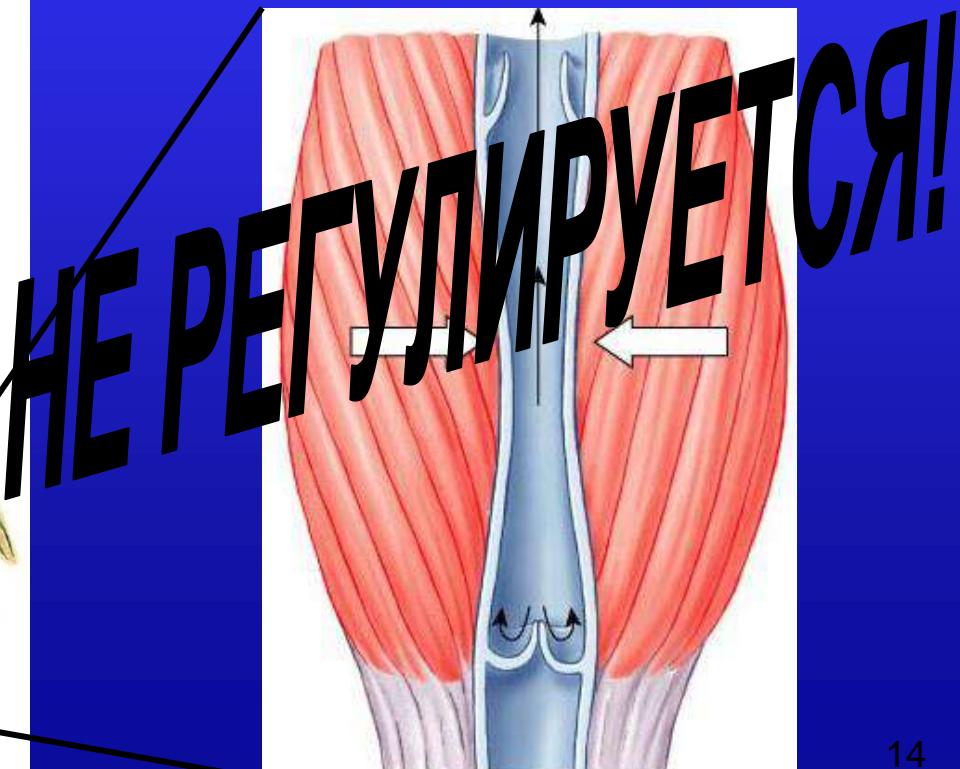
Клапан

Лимфенная  
манжетка

# Механизм пассивного транспорта лимфы



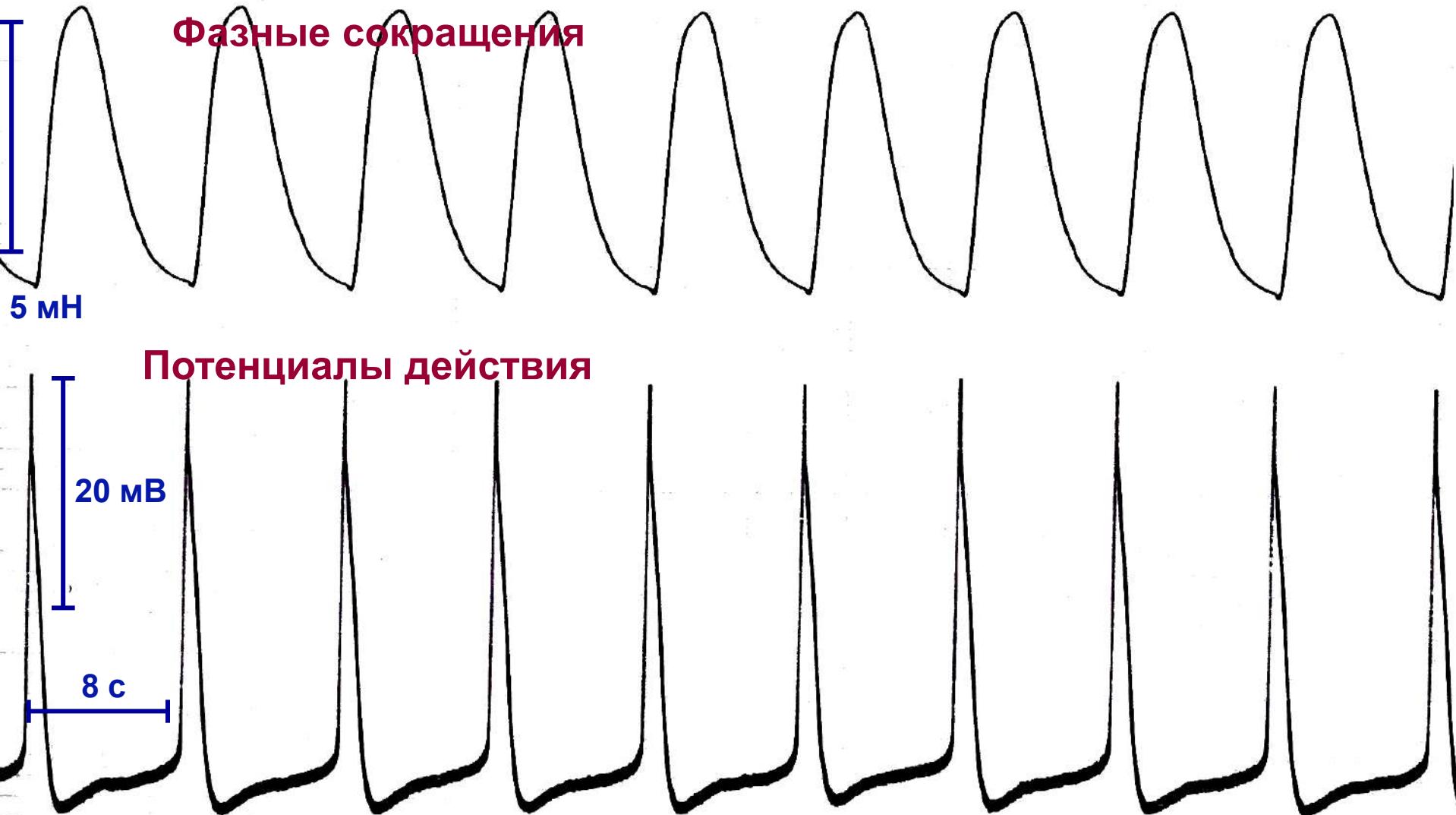
Выполняет основную функцию в процессе транспорта лимфы в органах, подвергающихся периодической компрессии



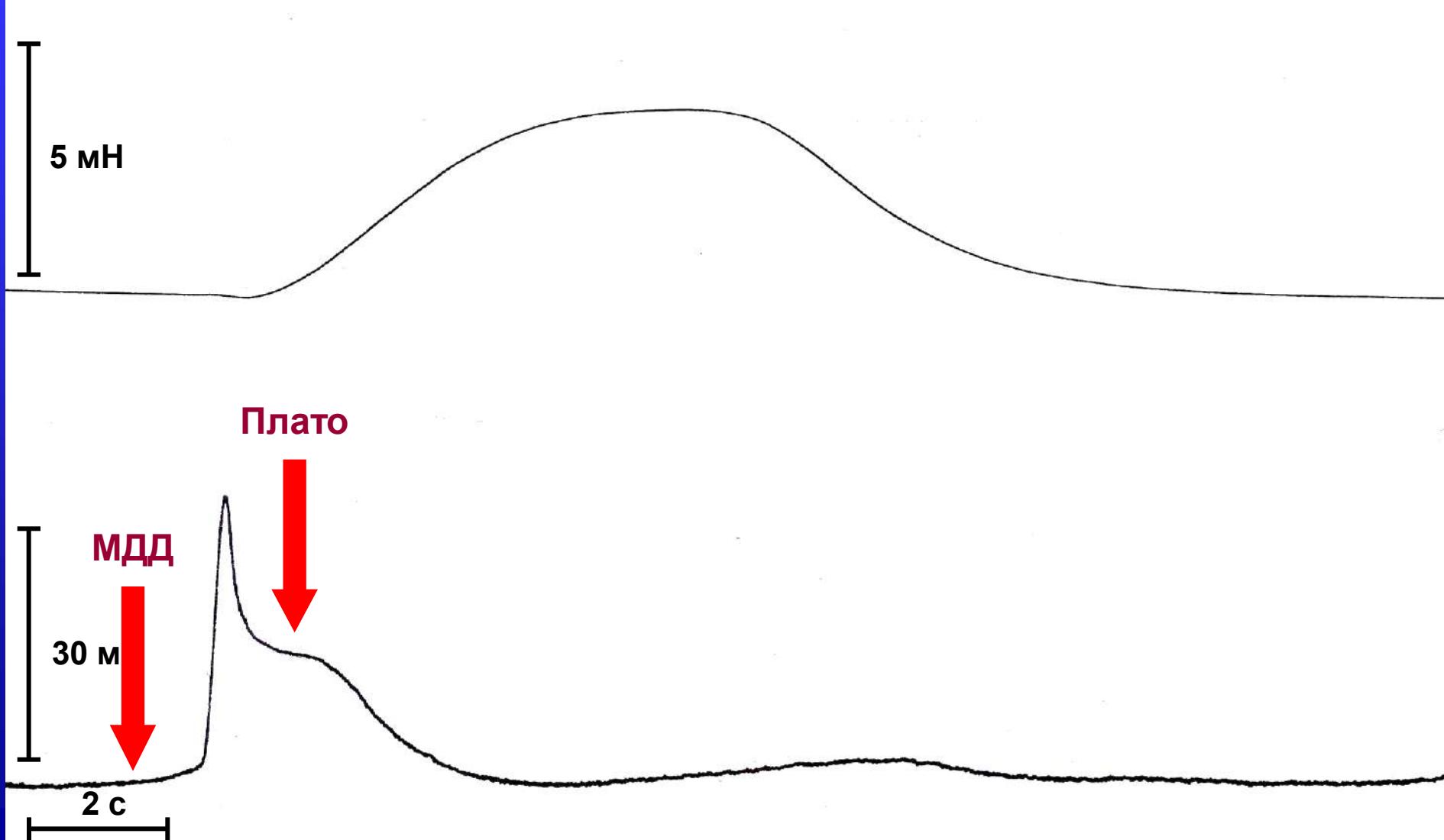
# **Активный транспорт лимфы**

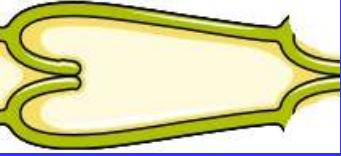
# Потенциалы действия и сокращения ГМК лимфангиона

Метод сахарозного мостика



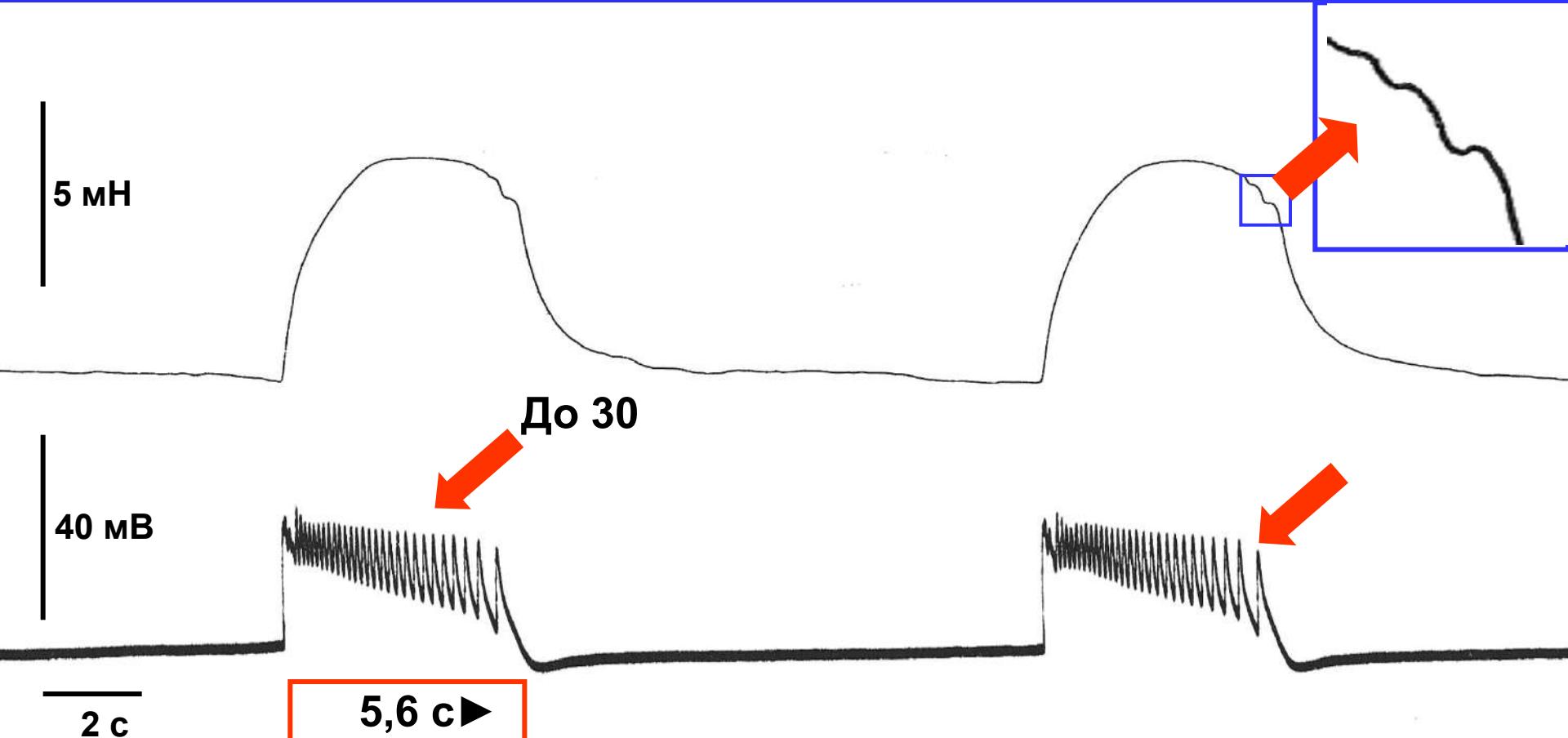
# ПД и сокращение ГМК лимфангиона

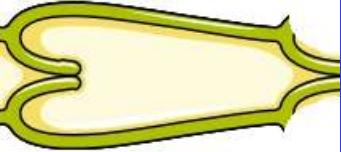




# ПД и фазные сокращения ГМК лимфангиона

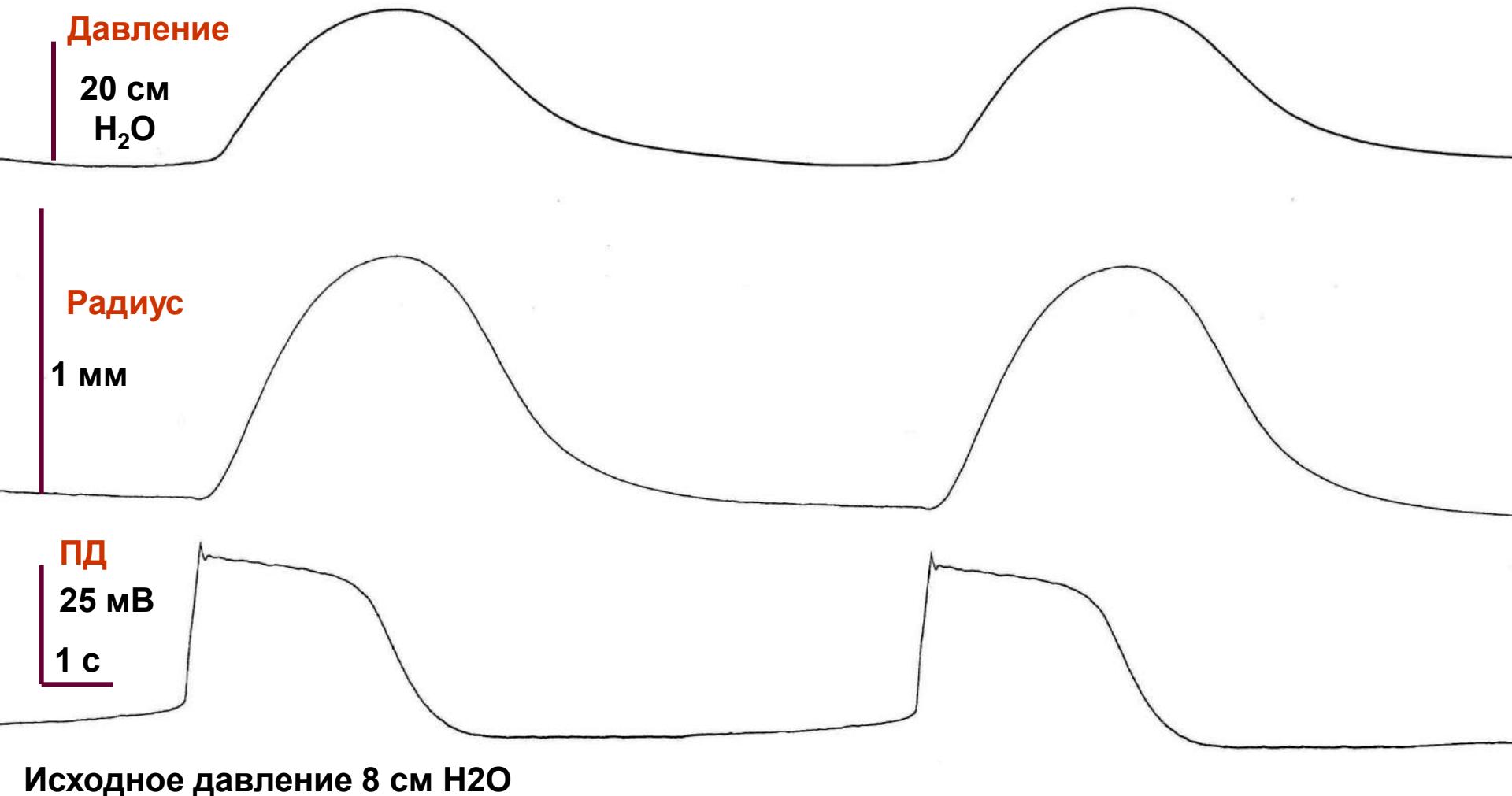
при растяжении, эквивалентном трансмуральному давлению 25 см Н<sub>2</sub>O





# Фазные сокращения и изменения давления в лимфангиионе

(в изоволюмических условиях)





# ПД и фазные сокращения ГМК лимфангиона

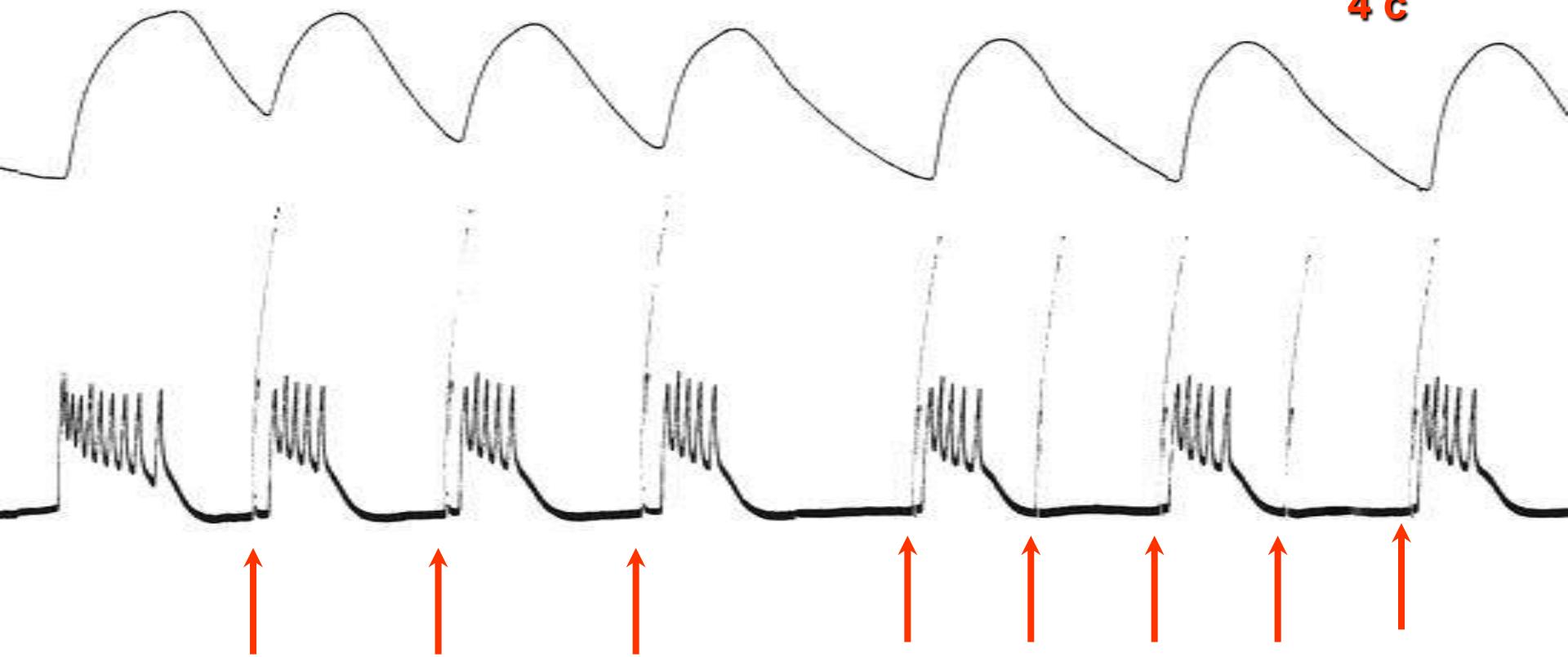
при стимуляции одиночными надпороговыми стимулами (5В, 20 мс)

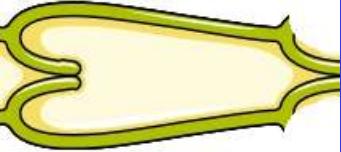
**Навязанный ритм**

интервал между стимулами

**6 с**

**4 с**

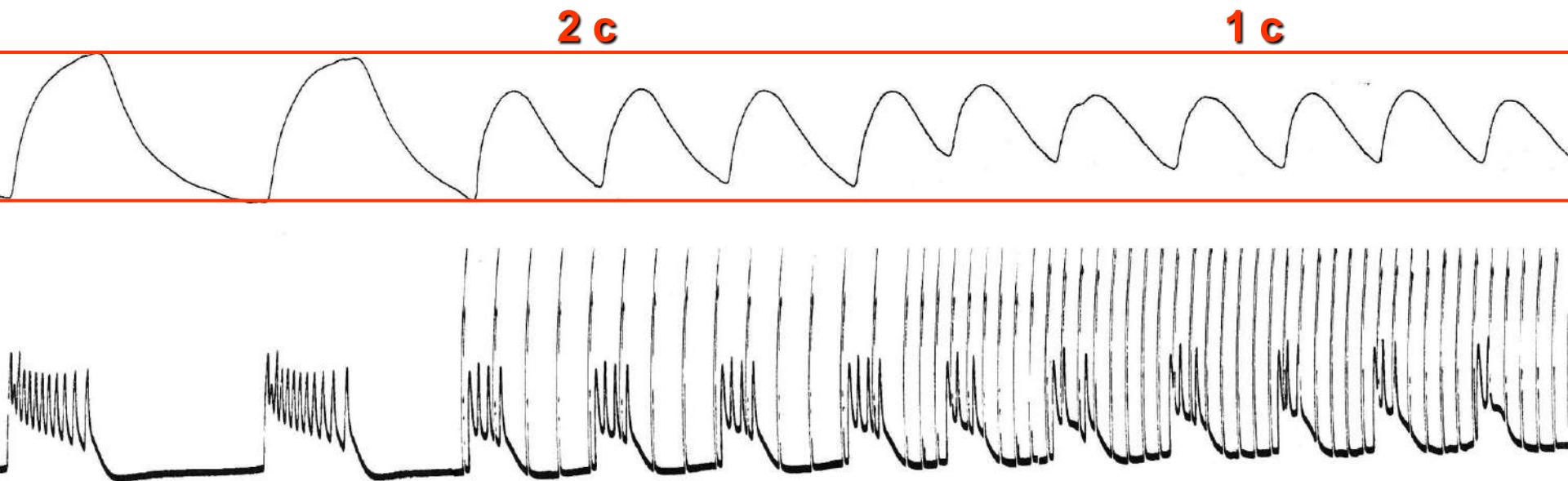


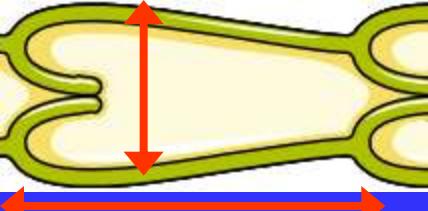


# ПД и фазные сокращения ГМК лимфангиона

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

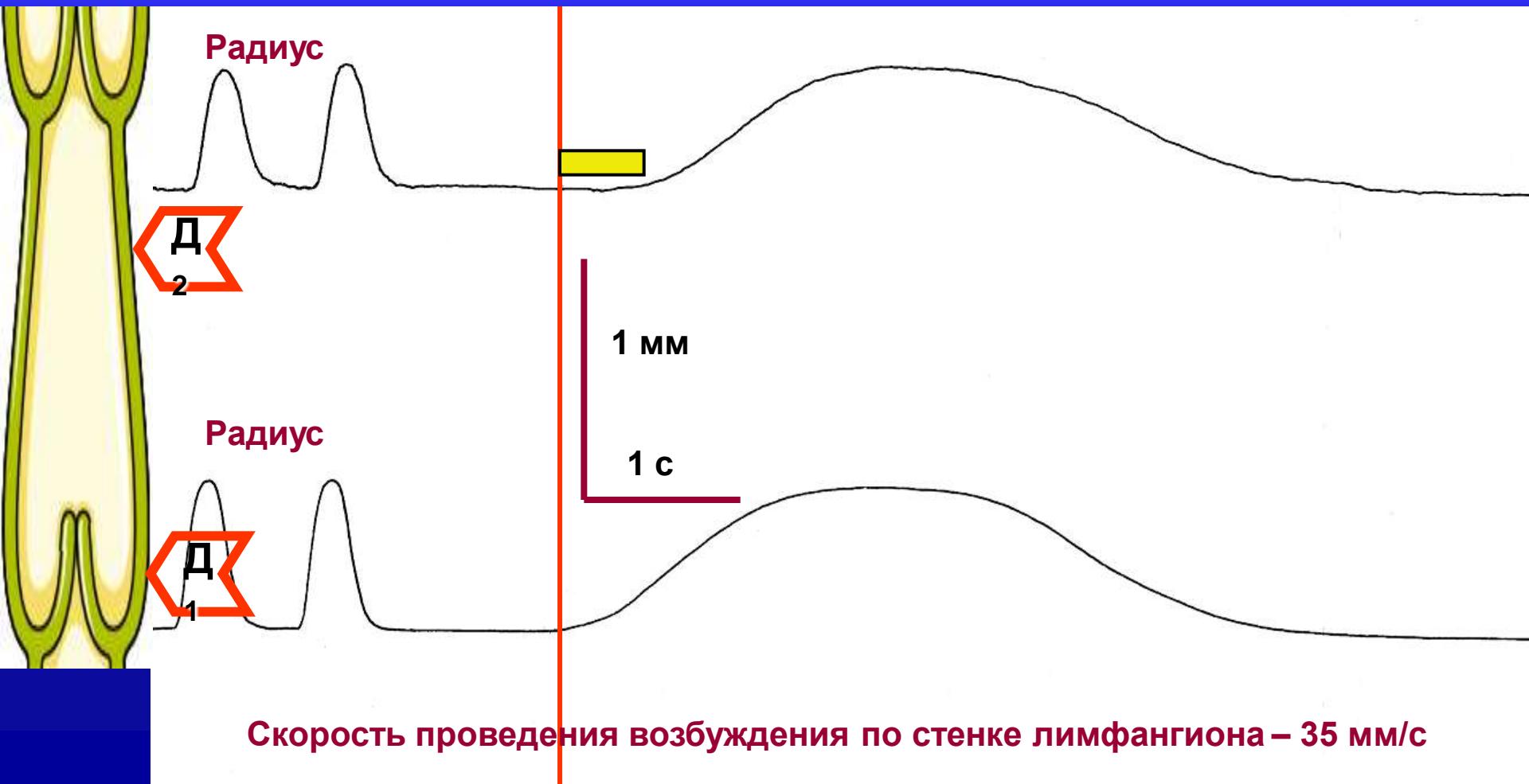


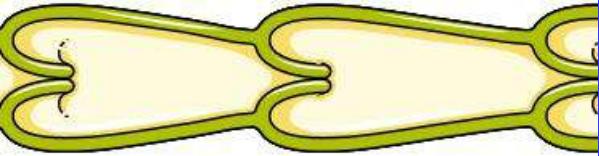


# ПД и изменения радиуса и длины лимфангиона

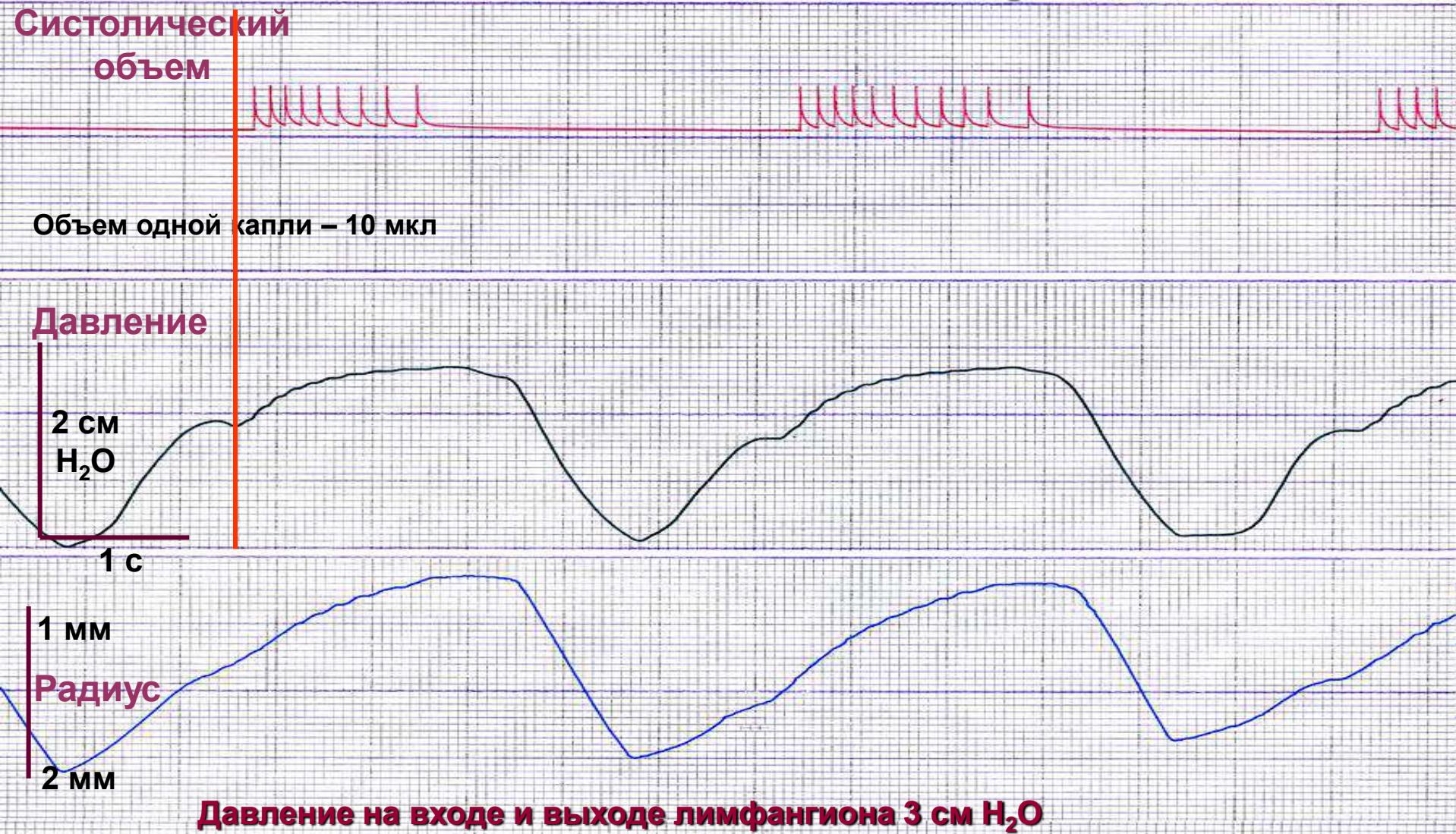


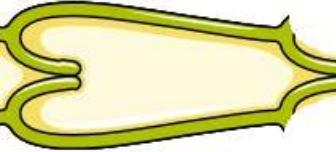
# Где в лимфангионе расположены ГМК, выполняющие функцию водителяя ритма?



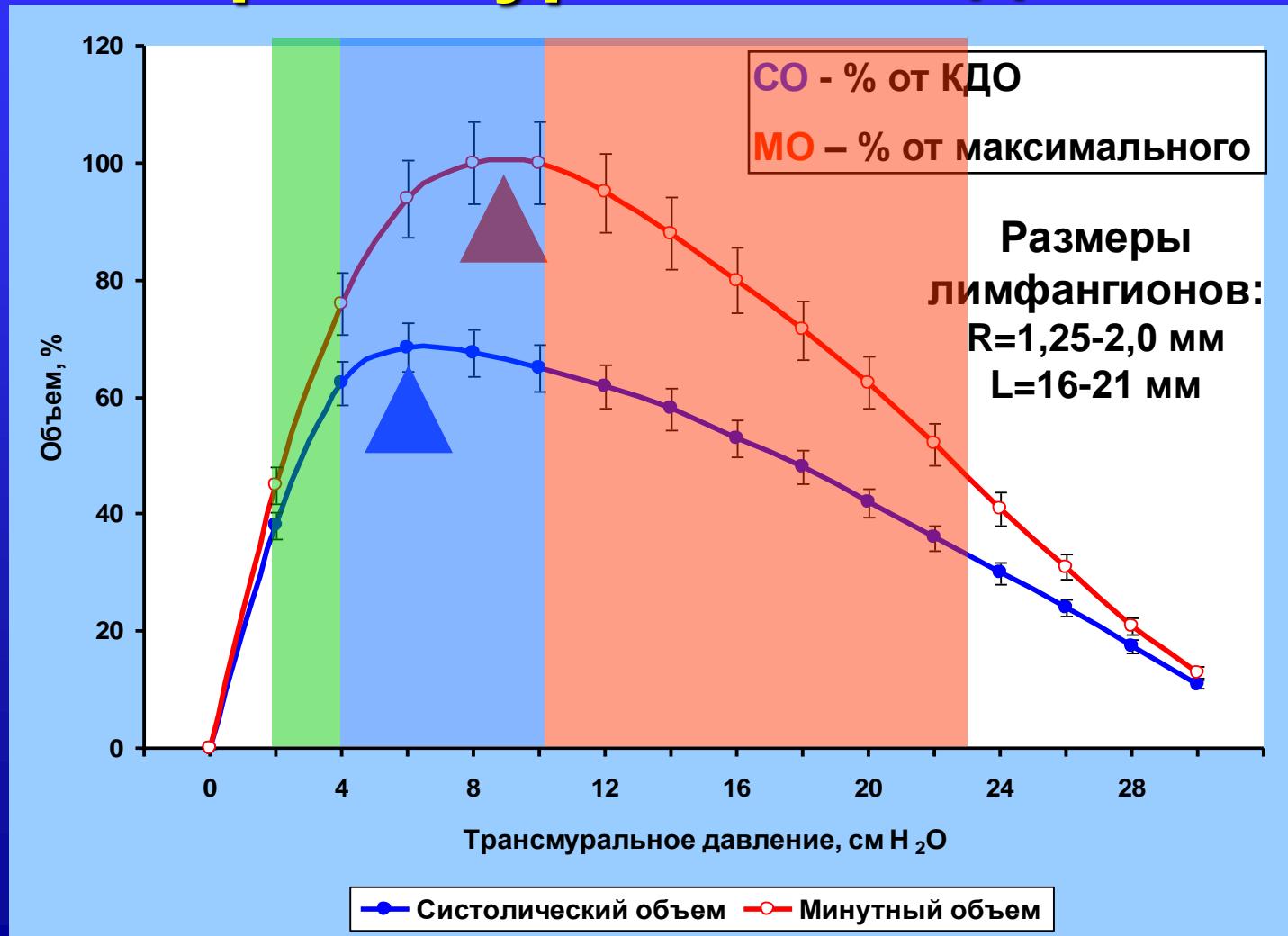


# Фазные сокращения, давление и sistолический объем лимфангиона

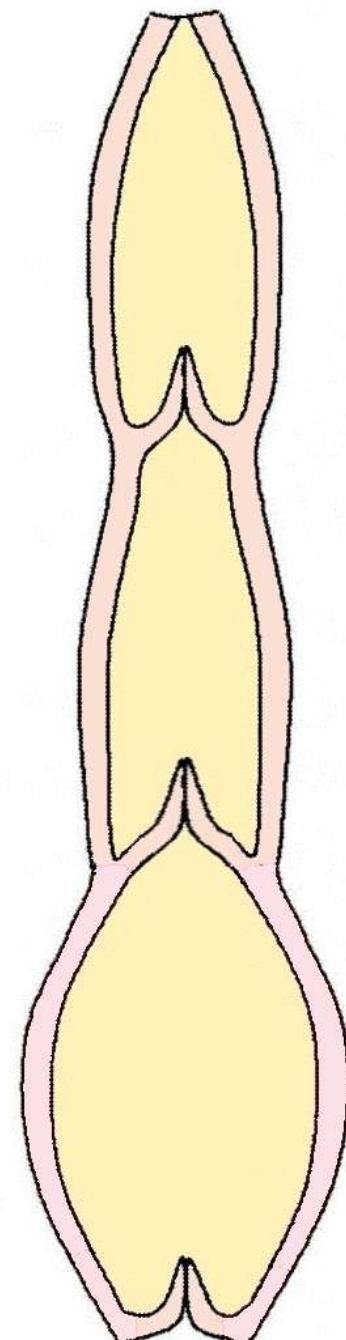


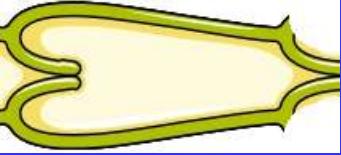


# Зависимость систолического и минутного объемов лимфангиона от трансмурального давления



# **Координированная деятельность лимфангидонов в лимфатическом сосуде**



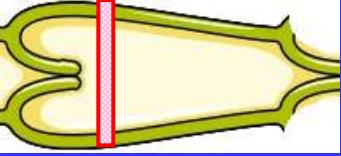


# Регуляция сократительной функции ГМК (насосной функции) лимфангиона

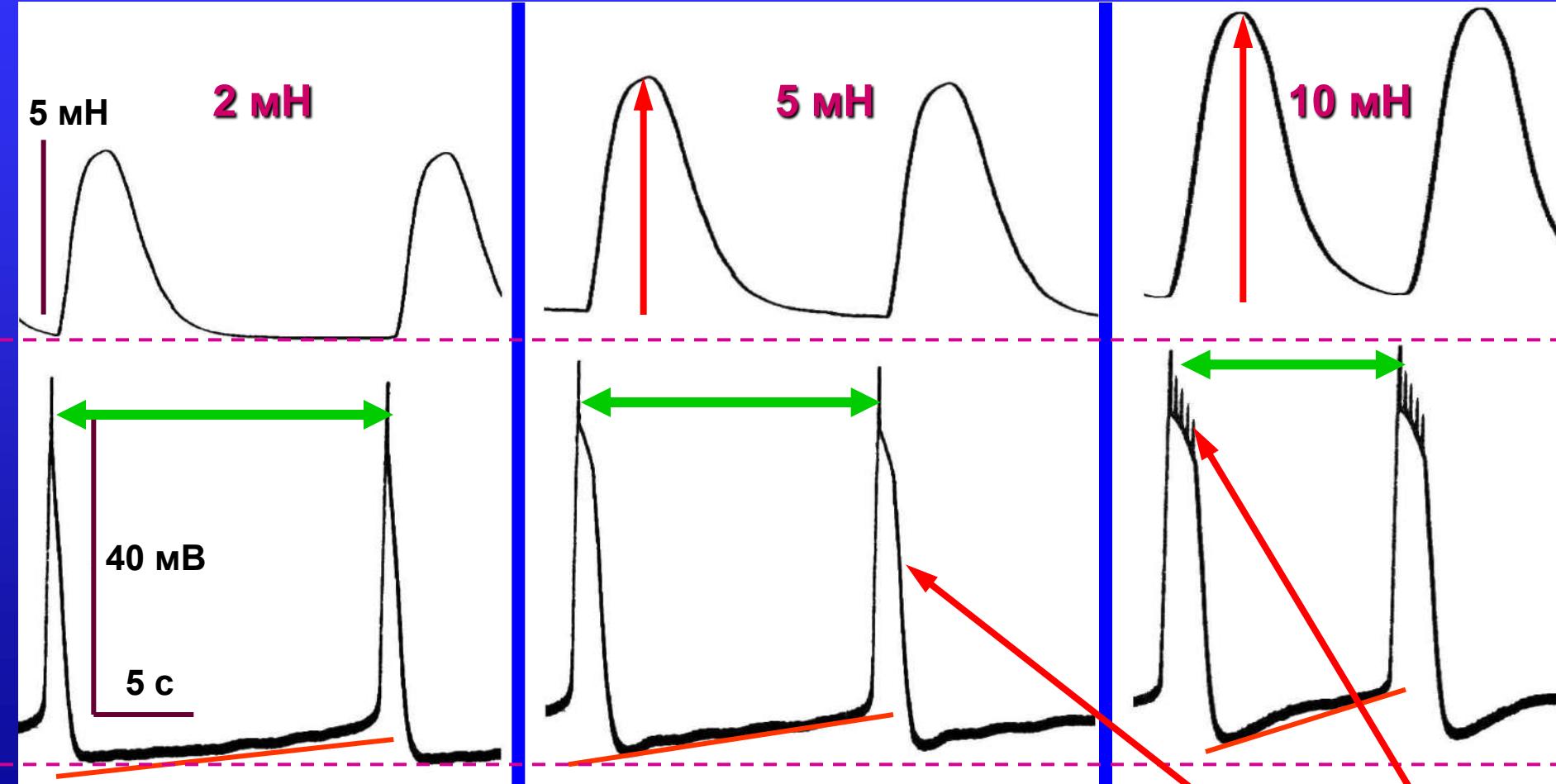
## Миогенная ауторегуляция

Выявляется:

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

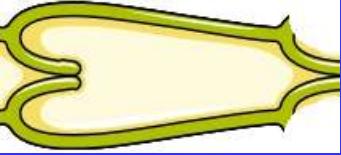


# Миогенная ауторегуляция сократительной функции ГМК лимфангиона



Растяжение  
сопровождается:

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



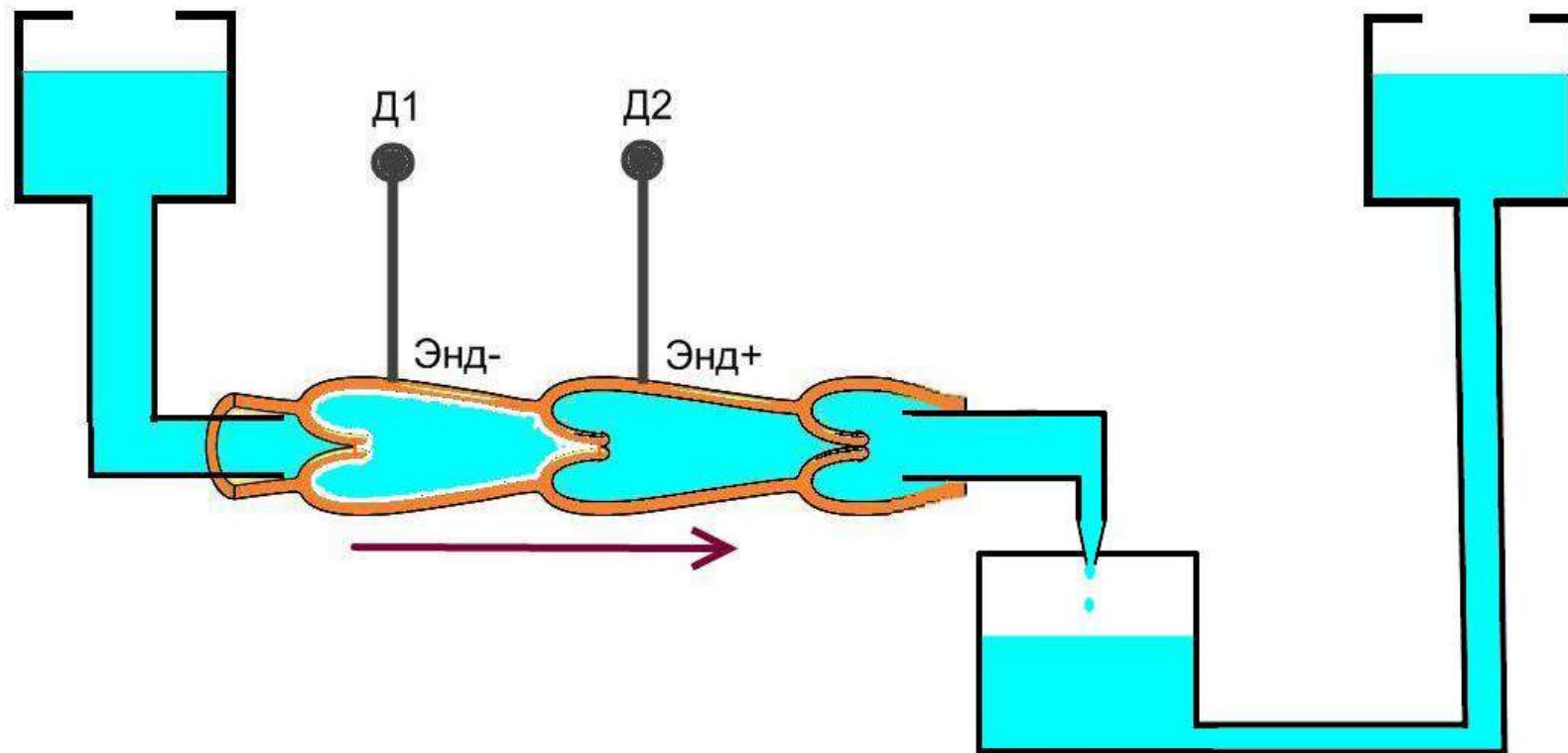
# Регуляция сократительной функции ГМК (насосной функции) лимфангиона

## Эндотелий-зависимая регуляция

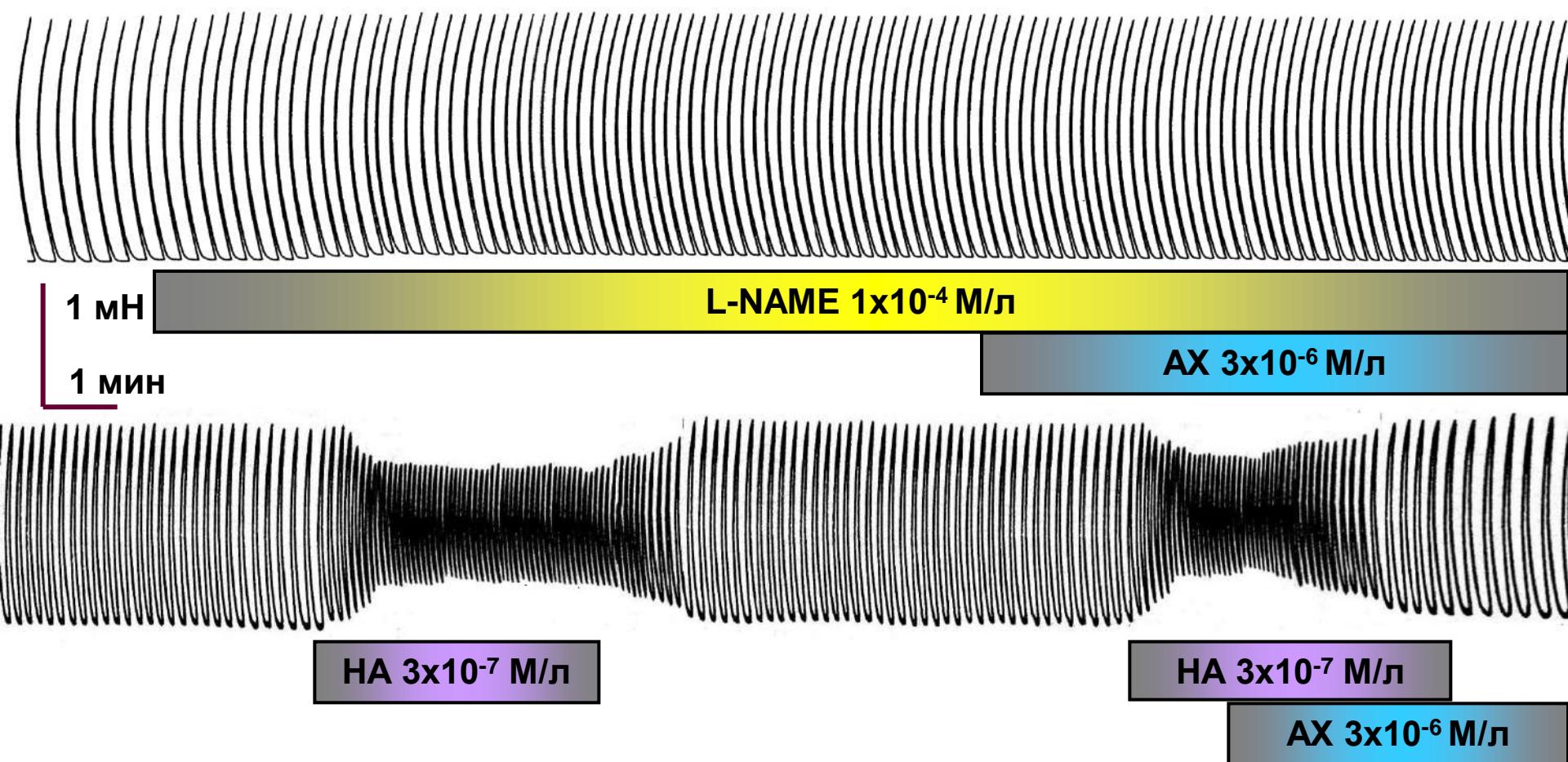
Реализуется за счет продукции  
эндотелием NO, EDHF и в меньшей  
степени - простациклина:

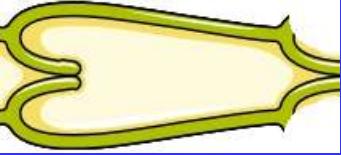
- при возрастании напряжения сдвига
- при стимуляции эндотелия ацетилхолином,  
брadiкинином, цитокинами и др.

# Эндотелий-зависимая регуляция насосной функции лимфатического



# Сократительная активность ГМК лимфангиона при действии ацетилхолина



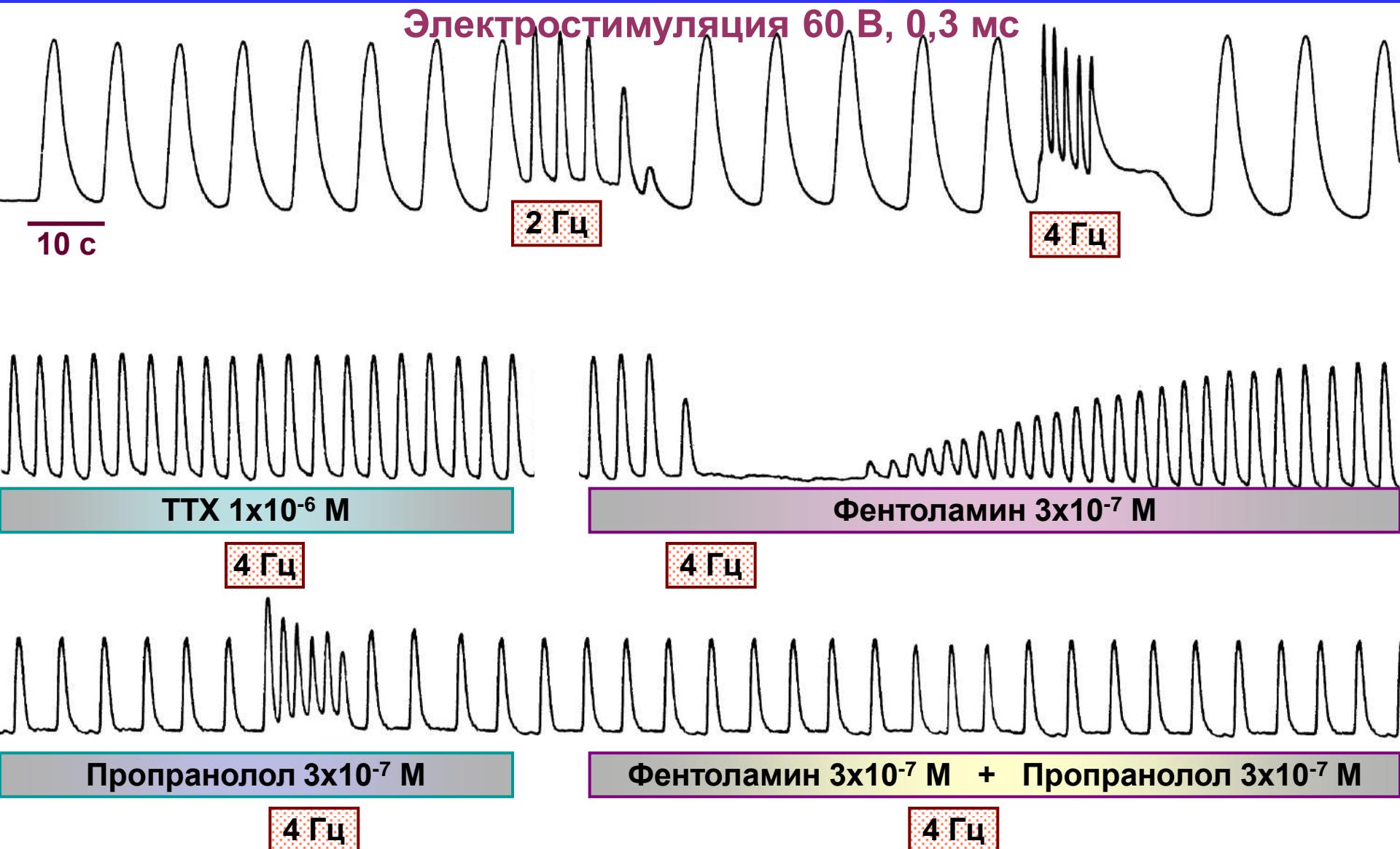


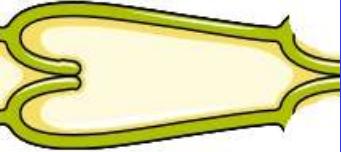
# **Регуляция сократительной функции ГМК (насосной функции) лимфангиона**

## **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

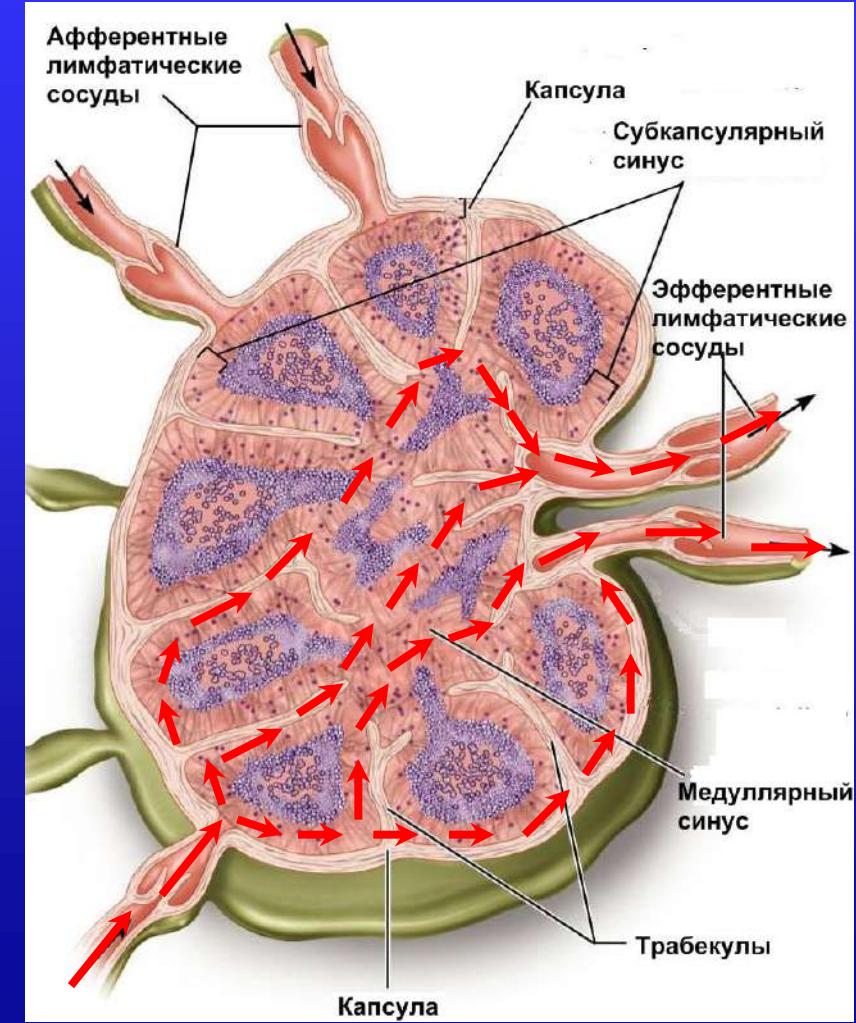
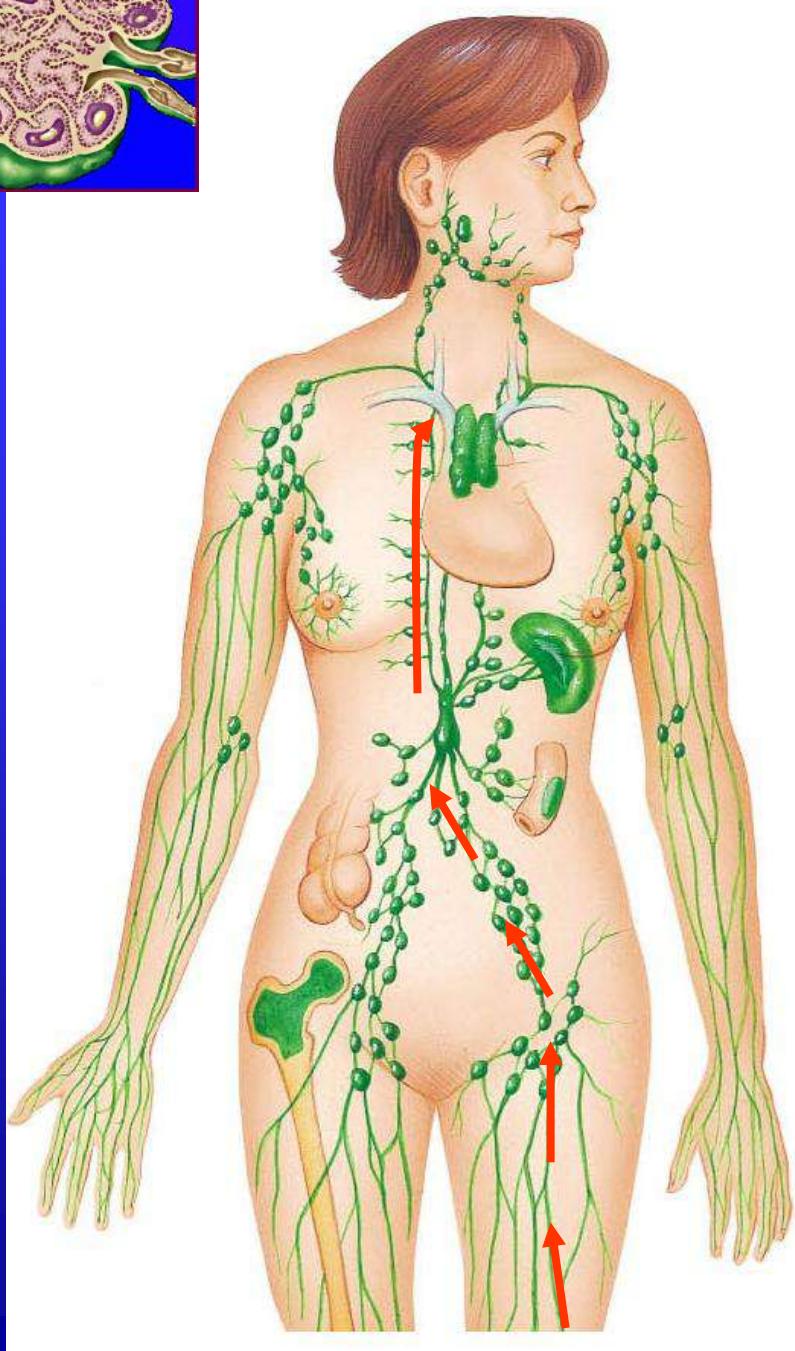


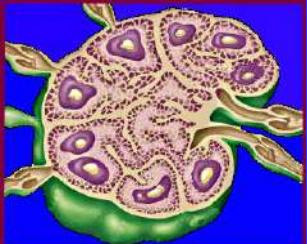


# Регуляция сократительной функции ГМК (насосной функции) лимфангиона

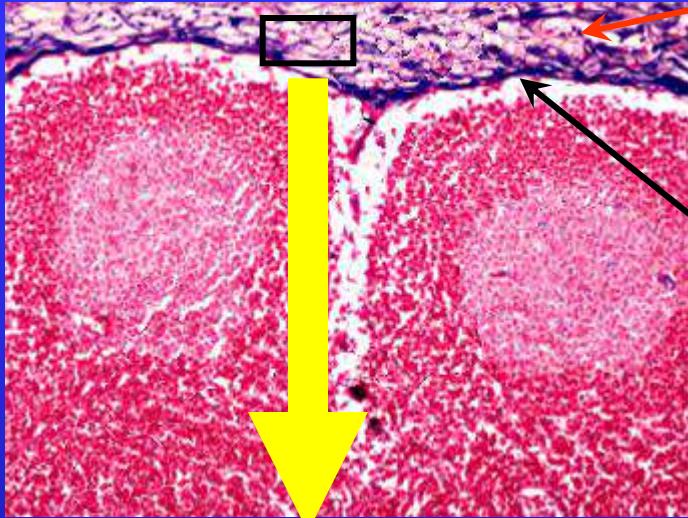


# Лимфатические узлы





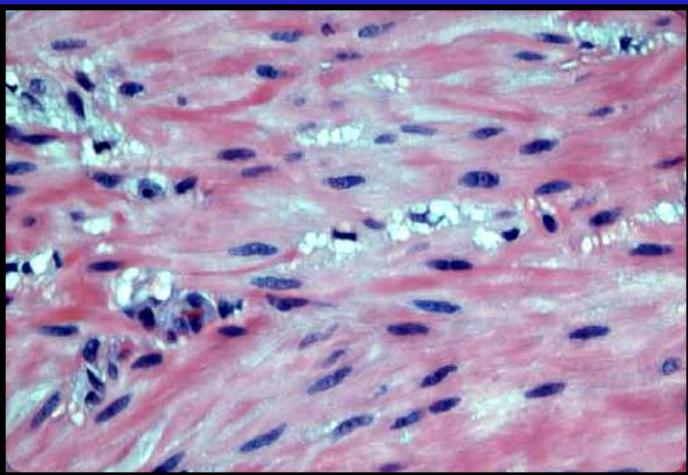
# Строение лимфатического узла



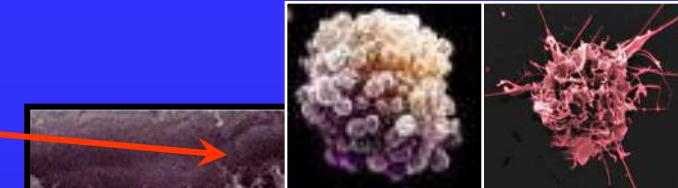
Капсула

20-30 мкм

Суб capsулярный  
синус

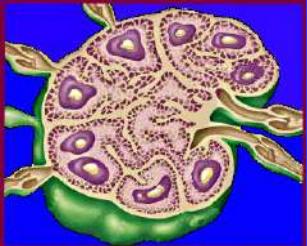


Гладкомышечные  
клетки

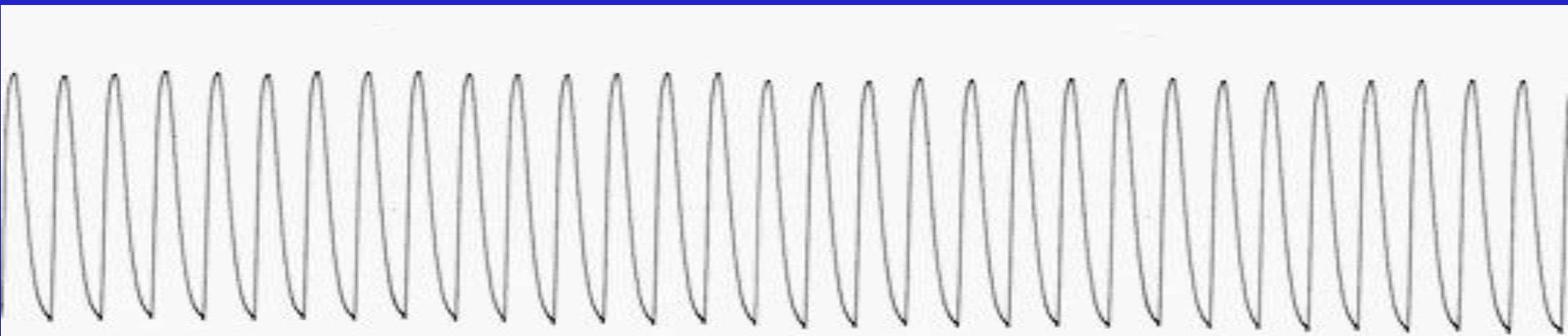
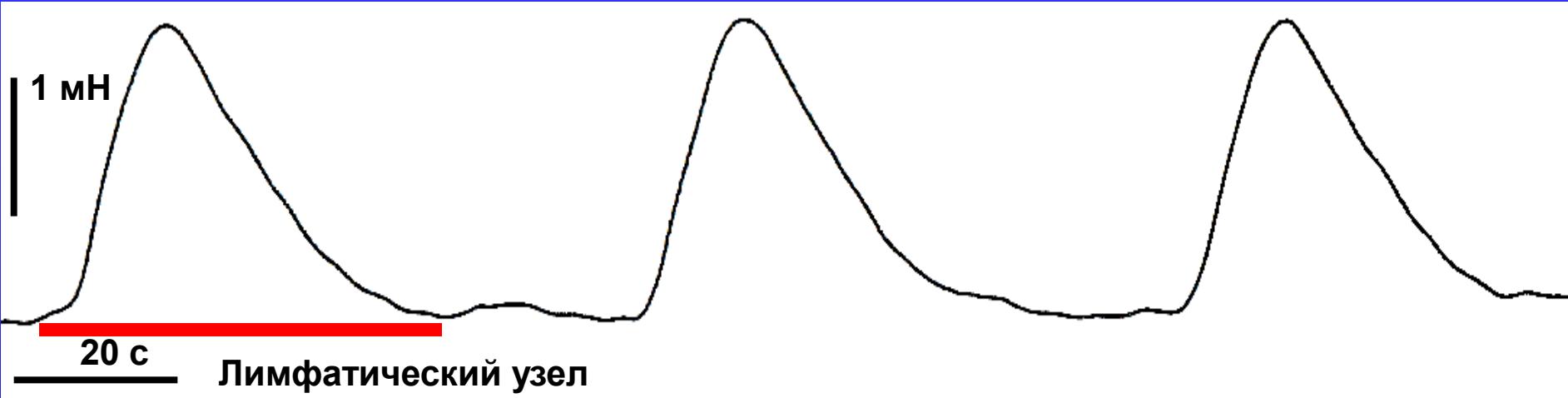


Эндотелиальные  
(литоральные)  
клетки

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

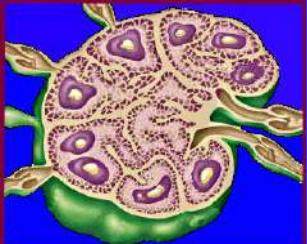


# Фазные сокращения ГМК капсулы Лу

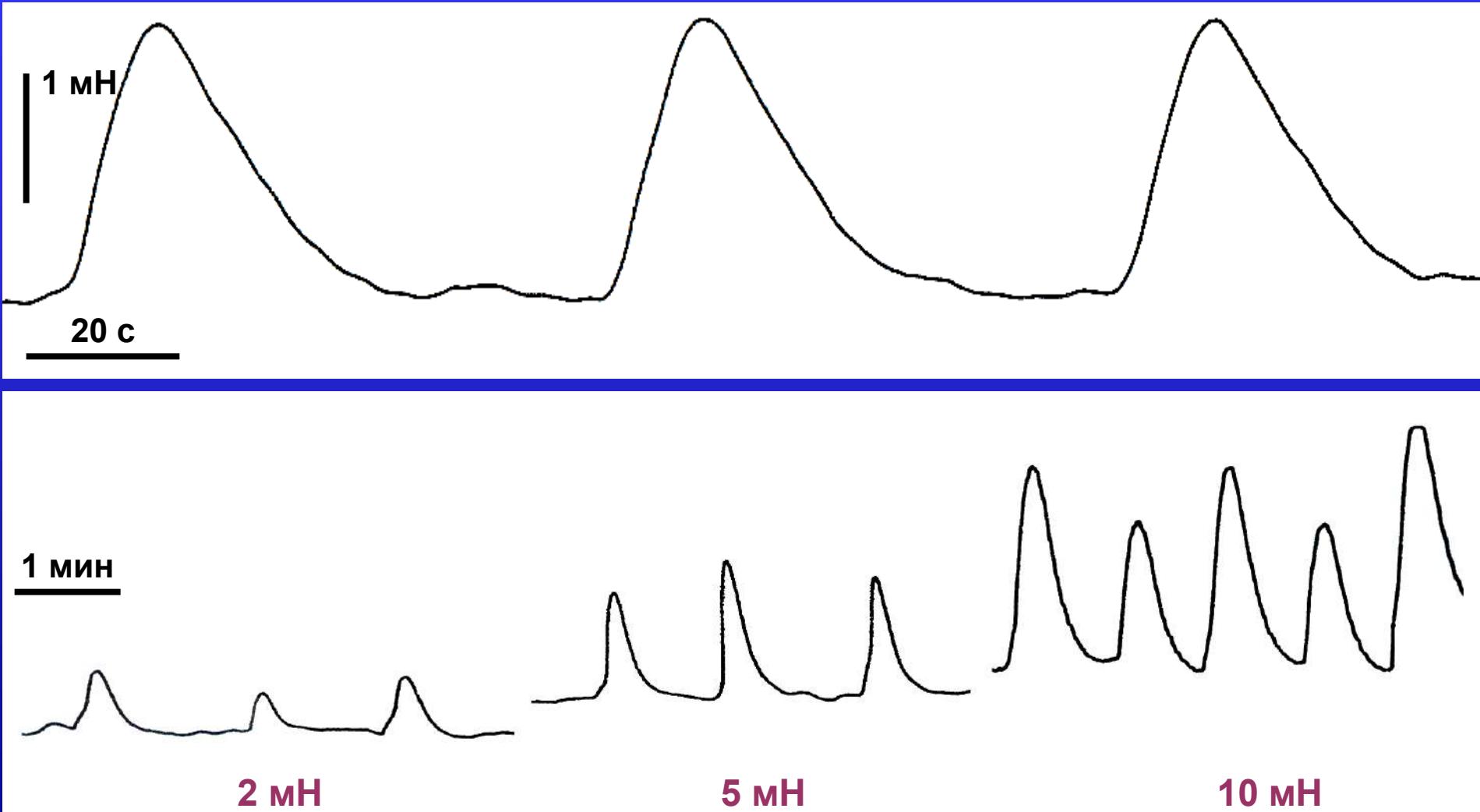


Эфферентный лимфатический сосуд

# **Регуляция сократительной функции ГМК (насосной функции) лимфатических узлов**

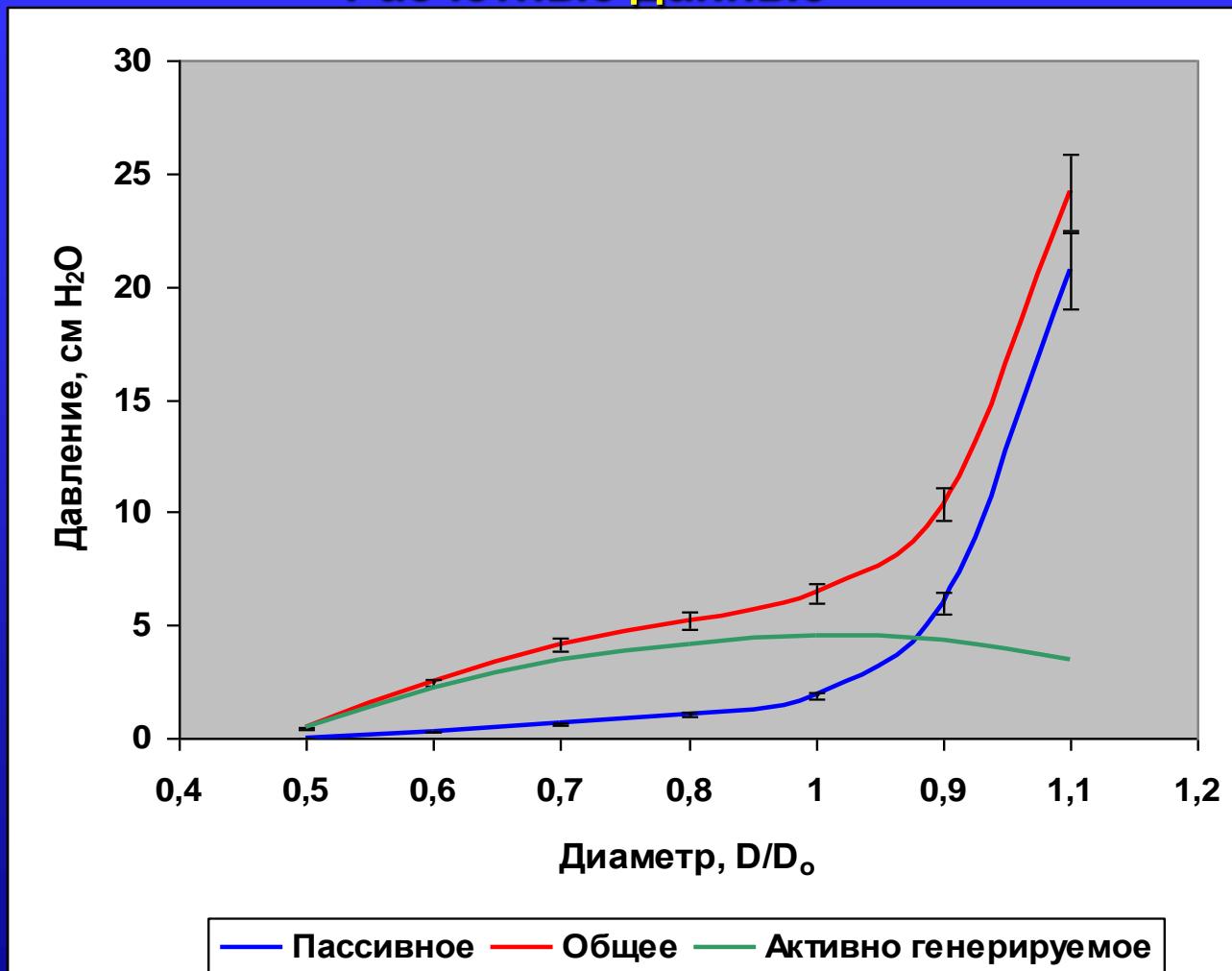


# Миогенная регуляция сокращений ГМК капсулы лимфатических узлов



# 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**

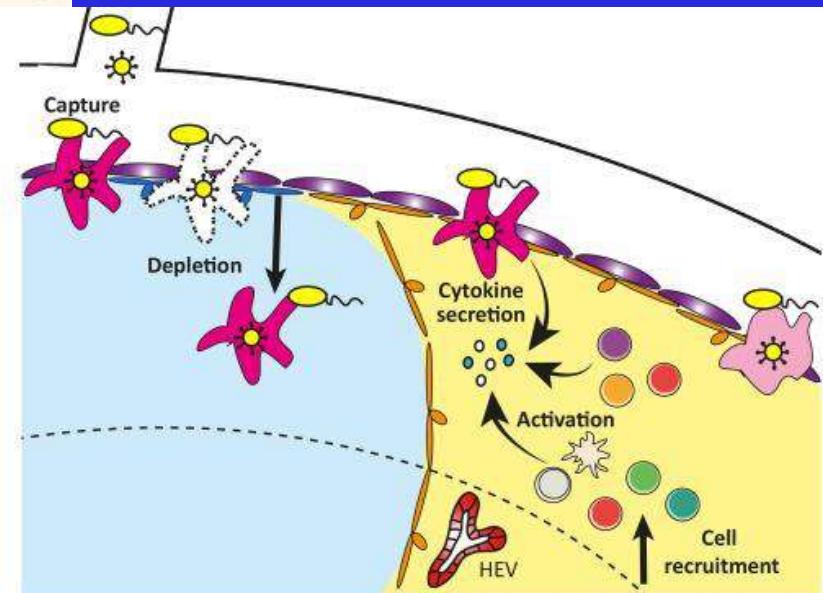
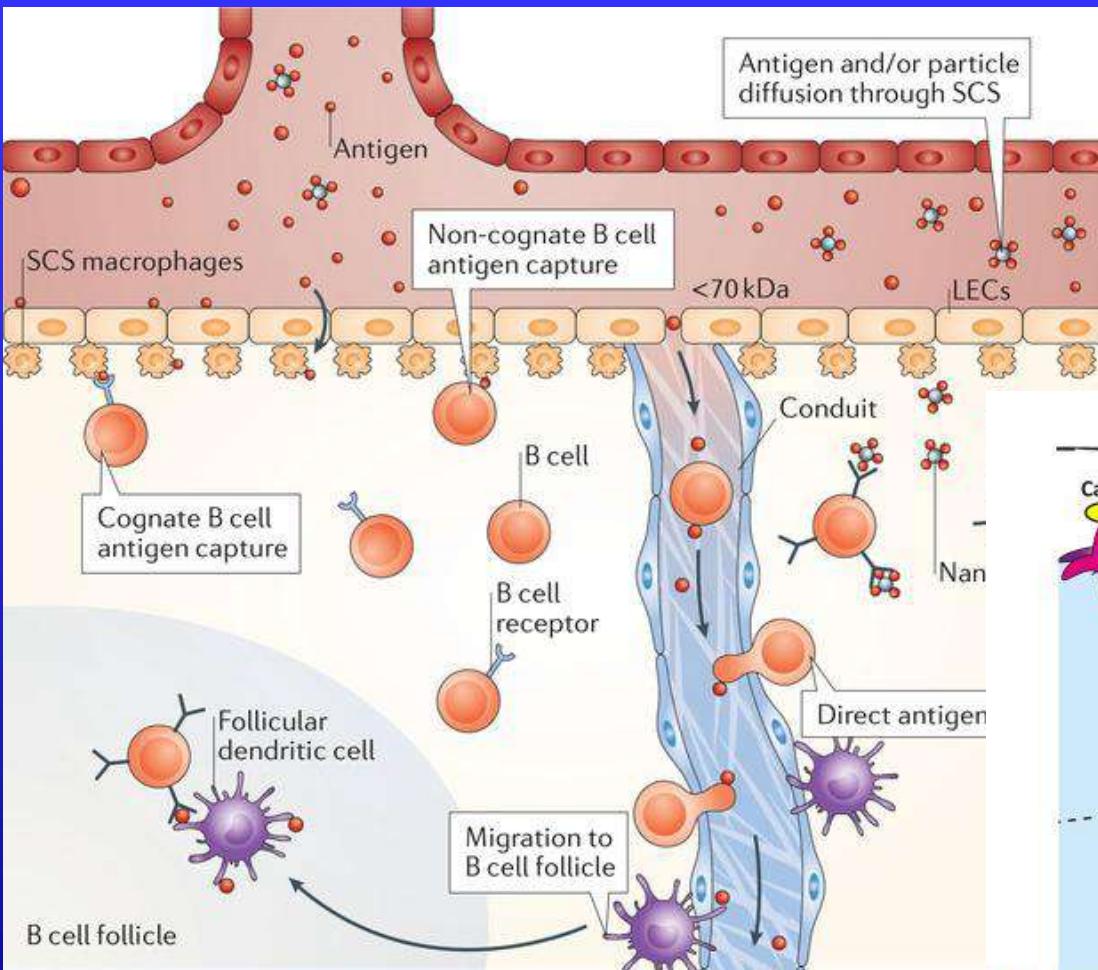
# **Эффекты гистамина на лимфатические сосуды и узлы**

**Лимфатический сосуд**

**Лимфатический узел**

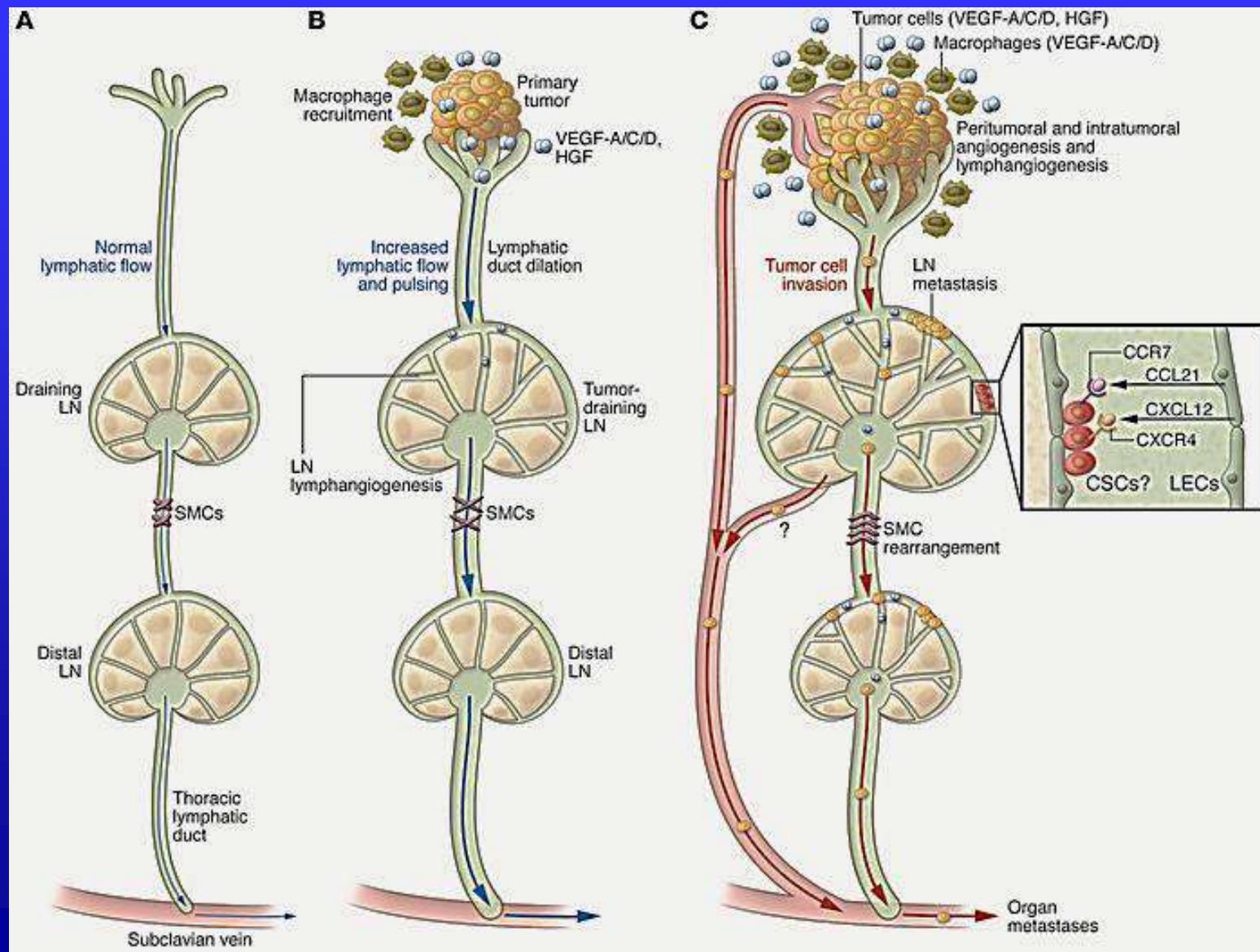
**Лимфатический узел**

# Иммунная функция лимфатических узлов



SCS MΦ	LEC	Pathogen	CD4	NKT	ILC	Inflammatory cytokines
MSM	MRC	pDC	CD8	γδ T	Neutrophil	Chemokines
	CCL19lo	TRC				

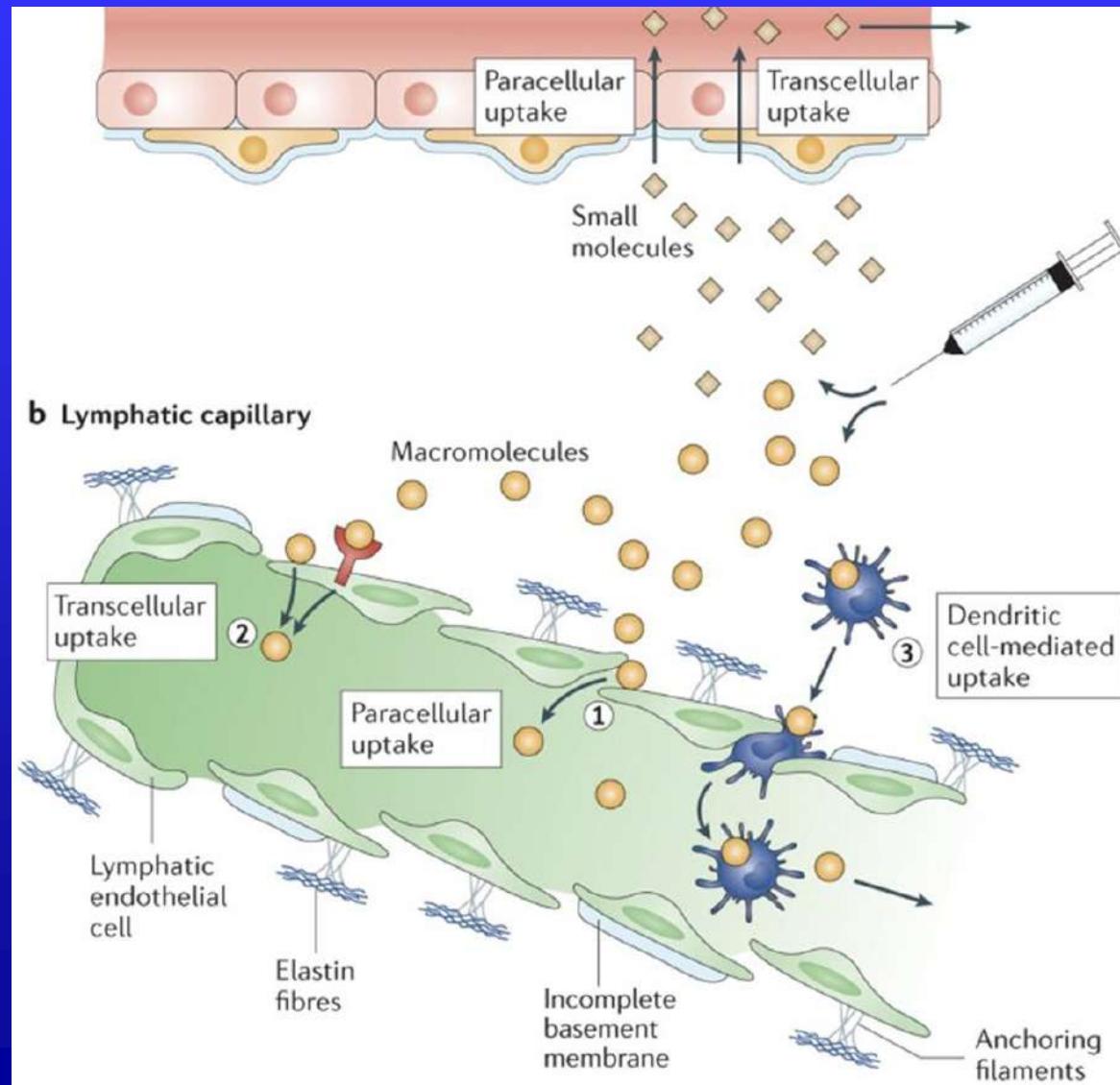
# Механизмы лимфатического метастазирования



# **Методы лечения, направленные на структуры лимфатической системы**

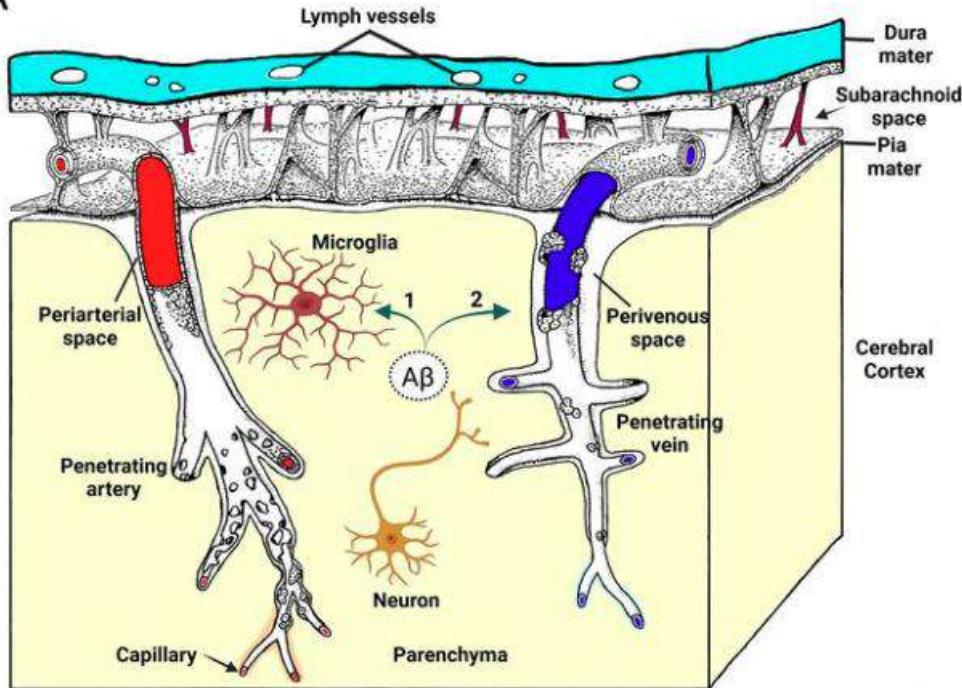
- Эндолимфатическая терапия при воспалительных и онкологических заболеваниях
- Лимфотропная терапия
- Применение липофильных наночастиц размером 10-80 нм, нагруженных лечебными препаратами.

# Методы лечения, направленные на структуры лимфатической системы

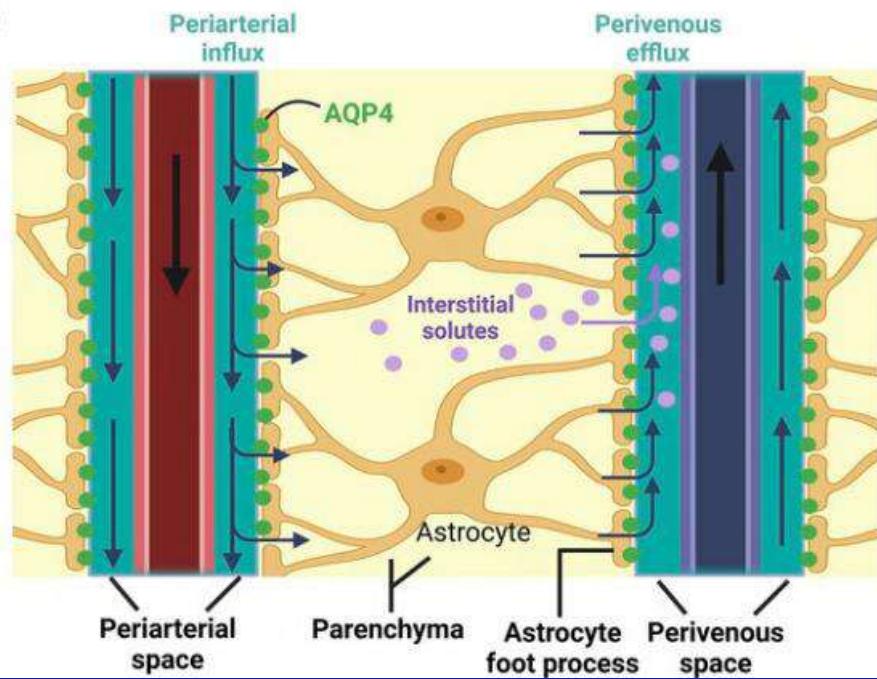


# Глиально-лимфатическая система

A



B



# Глиально-лимфатическая система

