

Разработка стенда  
для двухосного  
испытания мягких  
тканей и  
биоматериалов

**В.Ю.Саламатова**

А.Л.Овсепьян,  
А.Н.Рамазанов,

А.А.Легкий,  
Ю.В.Василевский

Сеченовский университет,  
НТУ Сириус, ИВМ РАН.

# Для чего это нужно?

- A. Разработка биомиметических полимеров / тканеинженерных конструктов
- B. Разработка различных имплантатов
- C. Предсказательное моделирование хирургических вмешательств
- D. Везде, где необходимо учитывать упругое поведение биоматериалов

## **Проект:**

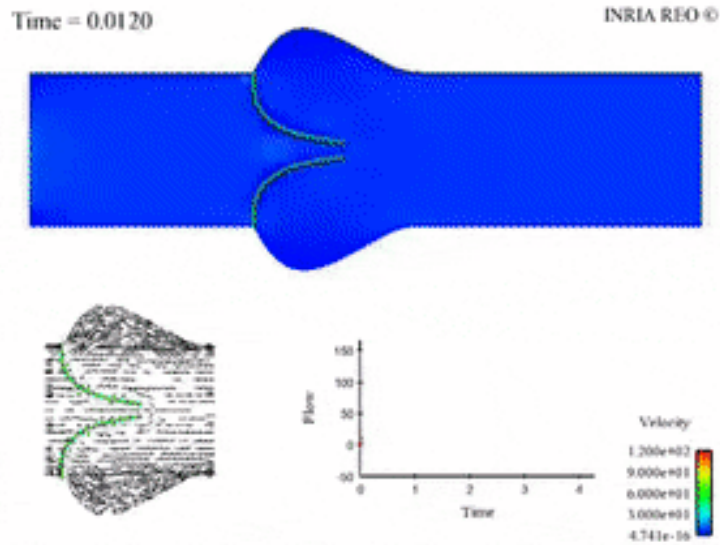
«Экспериментальное исследование и математическое моделирование механического поведения биоматериалов»

## **Цель:**

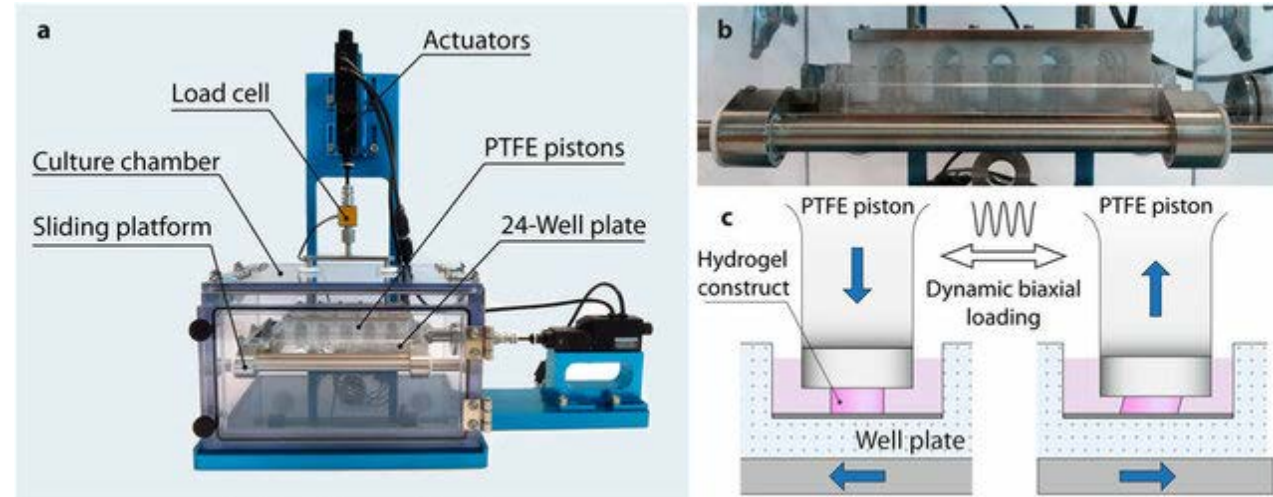
создание экспериментальной инфраструктуры для исследования мягких тканей / биоматериалов

# Подходы биомеханических исследований

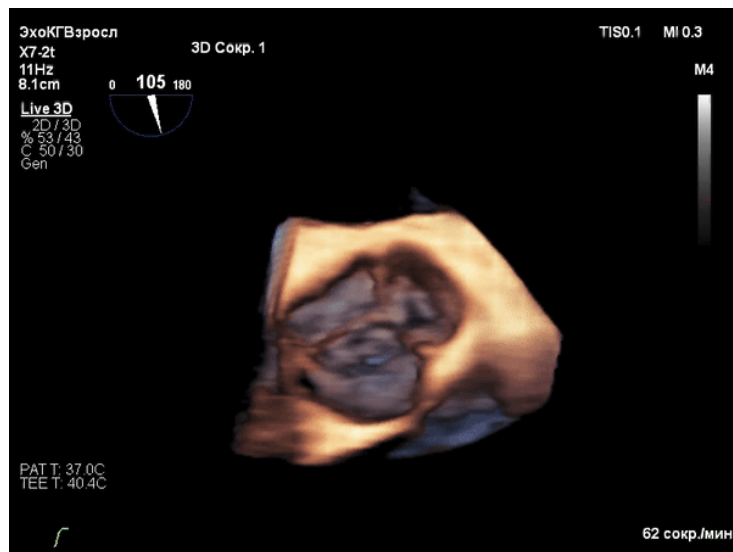
In silico



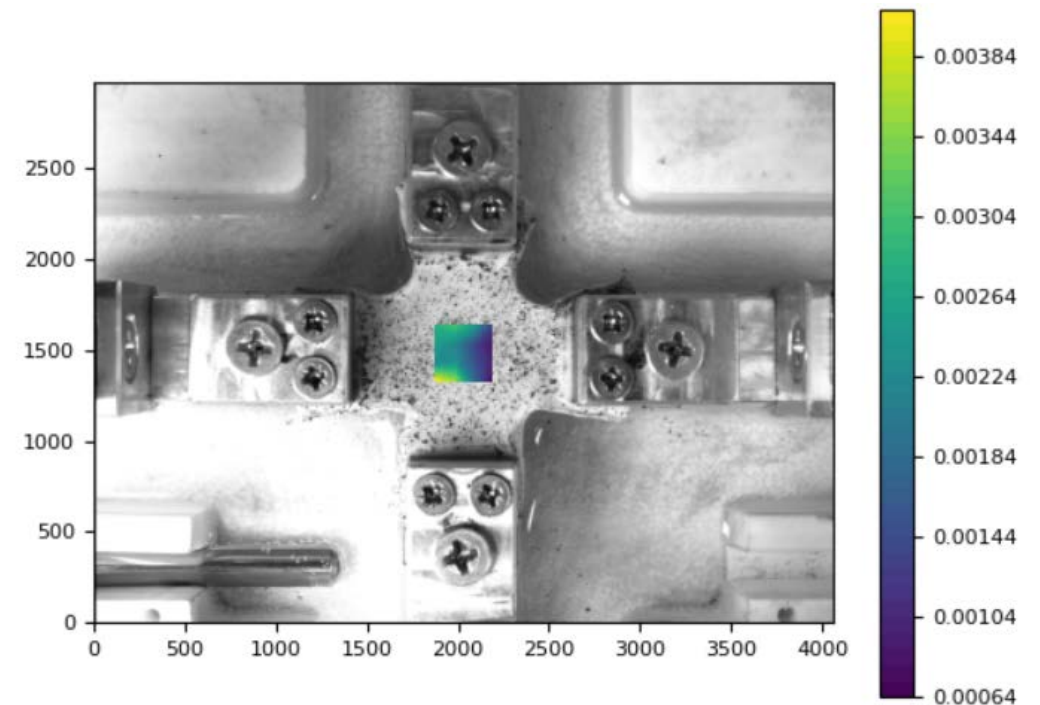
In vitro



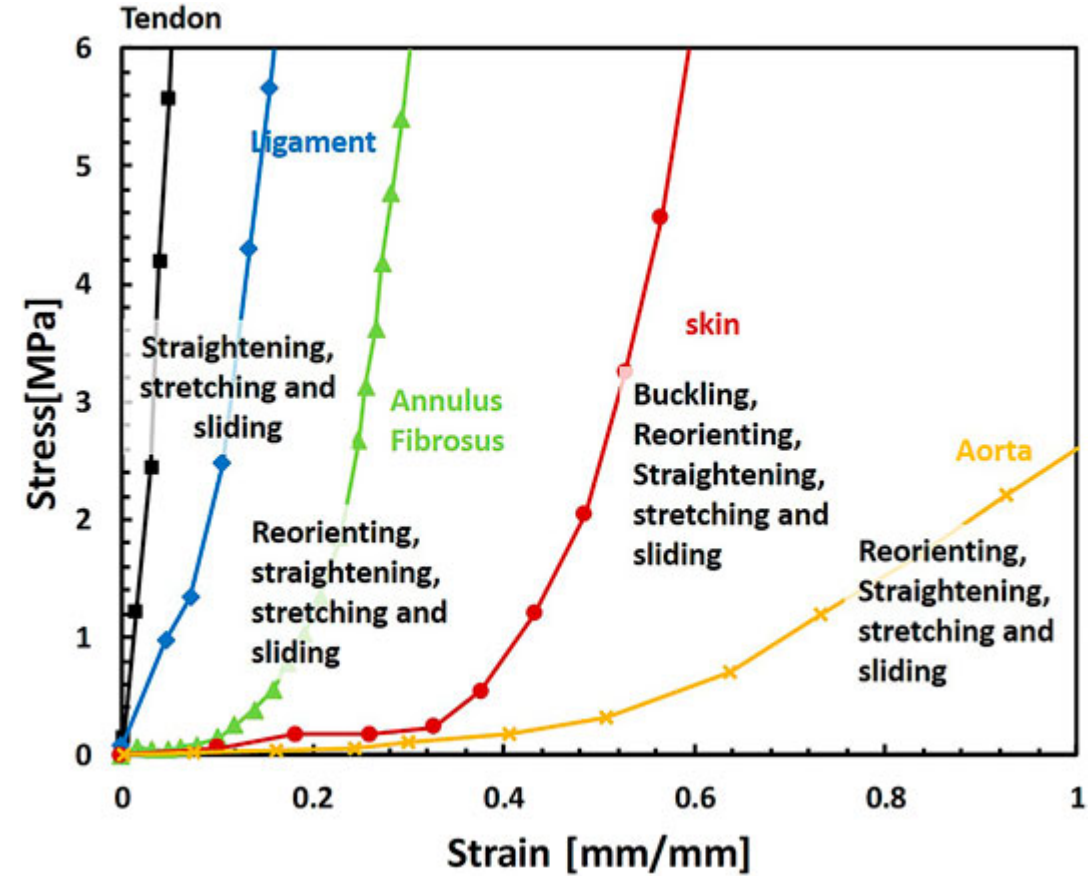
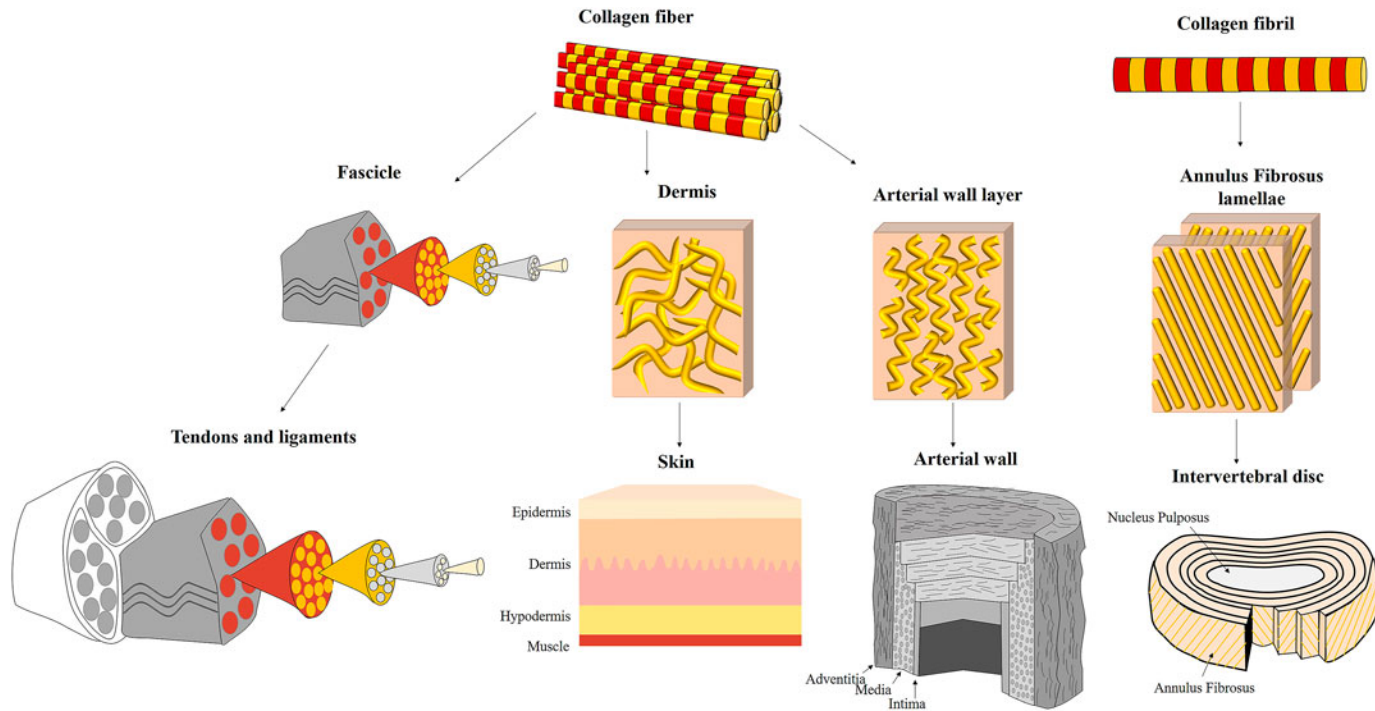
In vivo



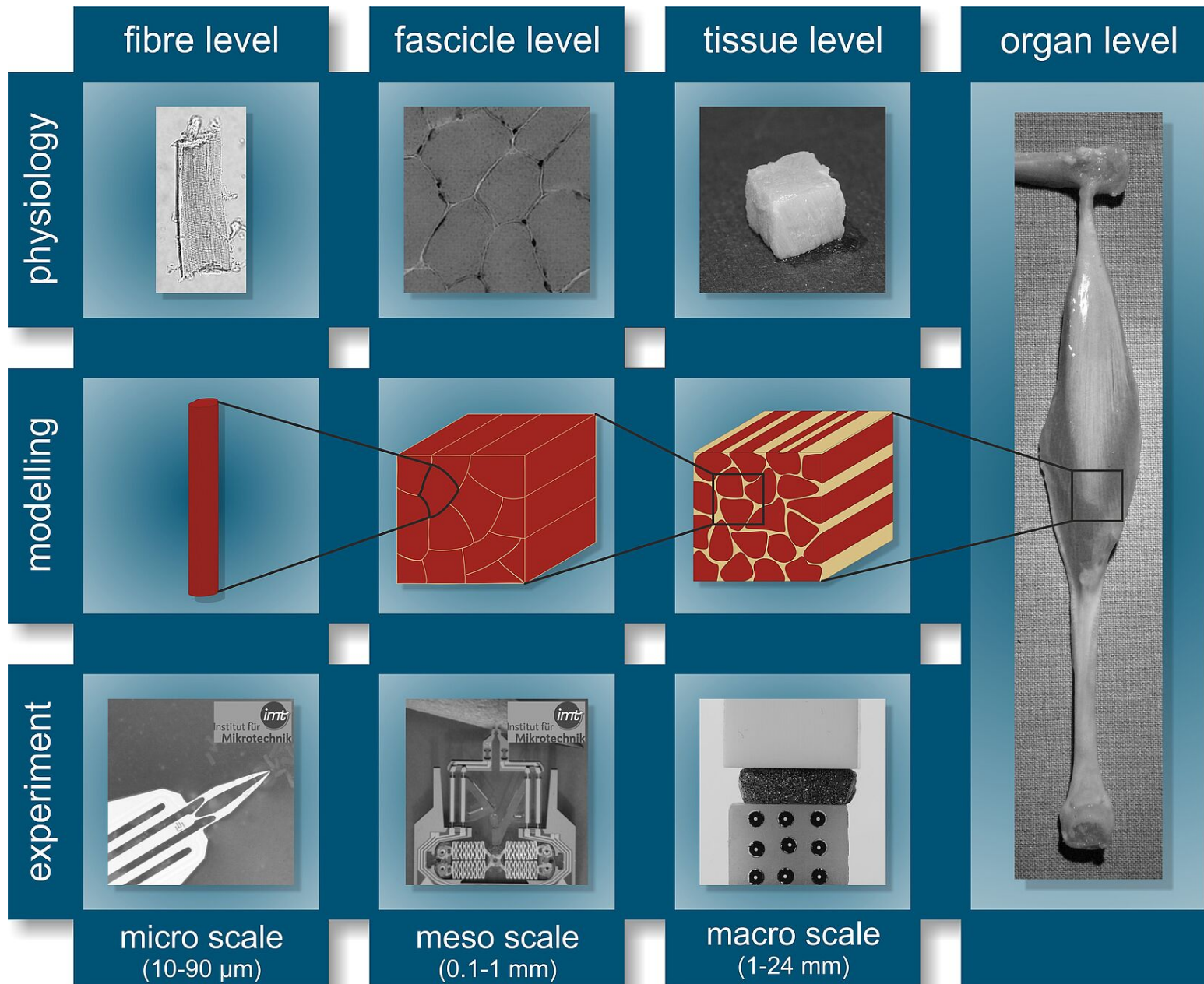
Ex vivo



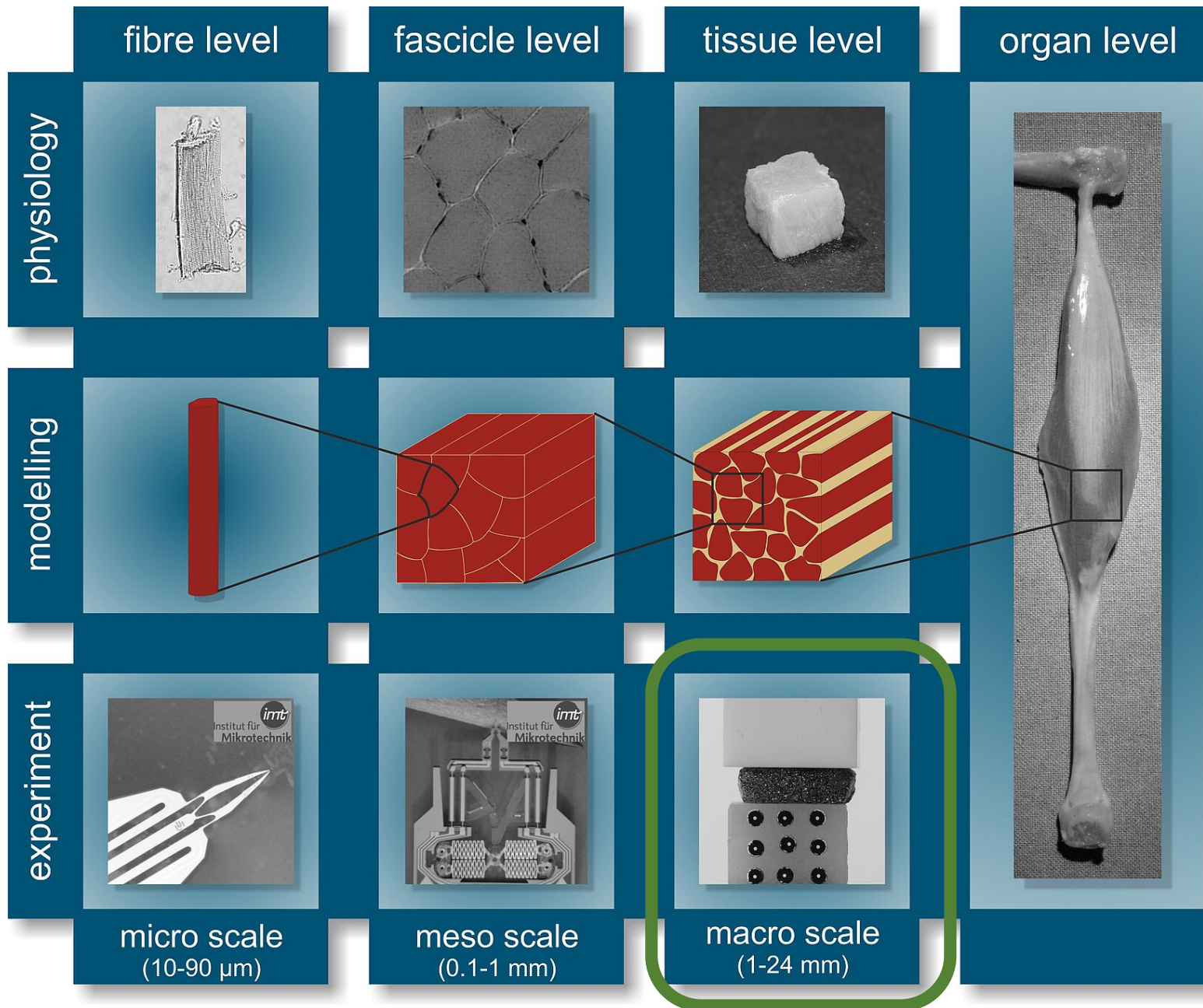
# Строение мягких тканей (фибробная соединительная ткань)



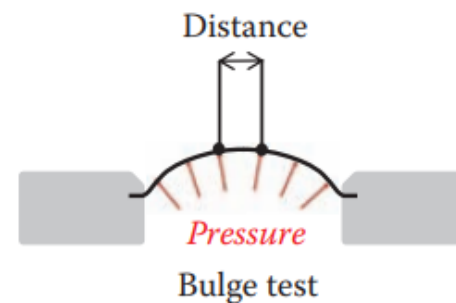
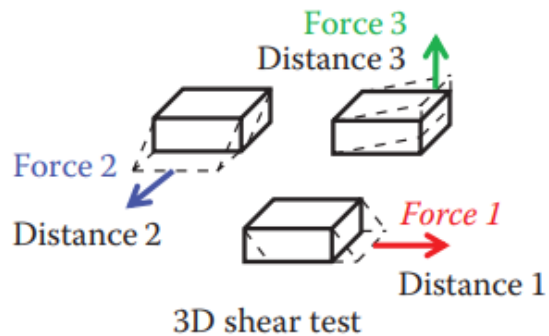
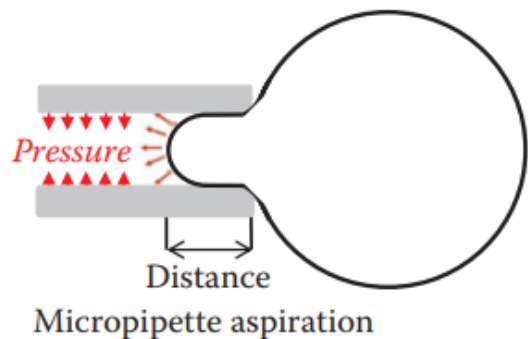
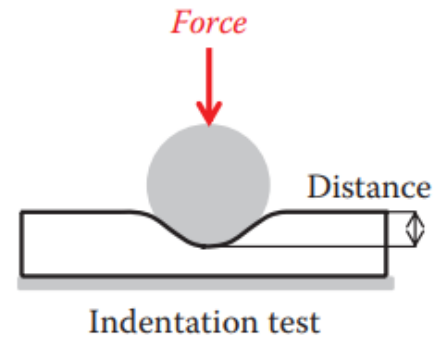
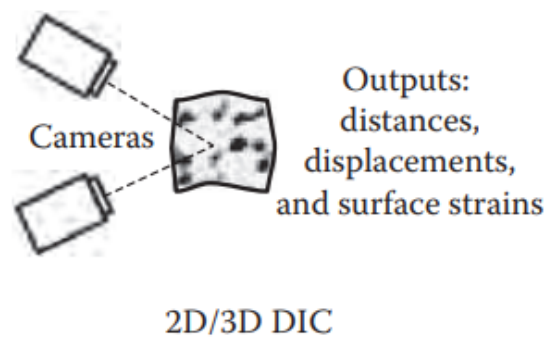
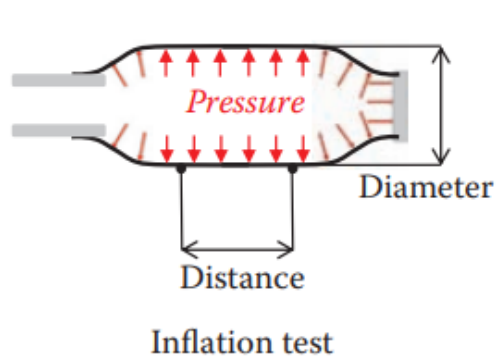
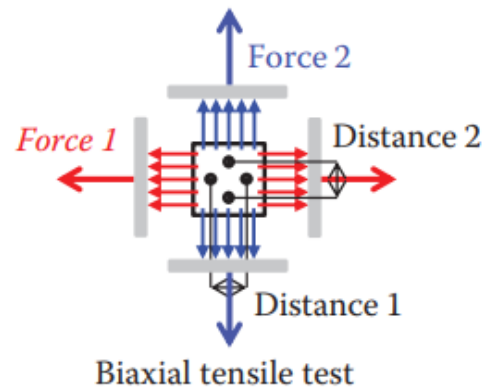
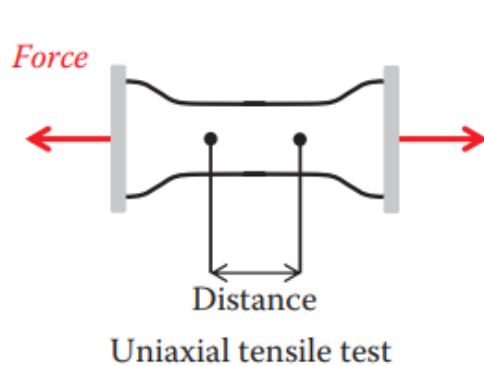
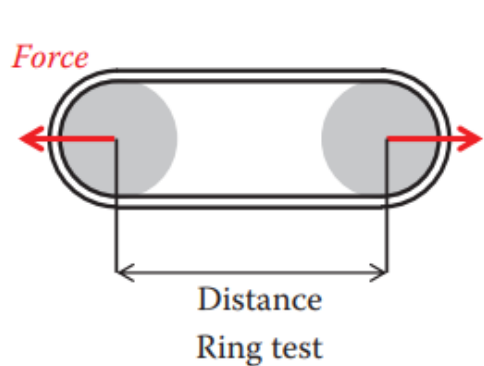
# Эксперименты – разные масштабы



# Эксперименты – разные масштабы



# Типы экспериментов

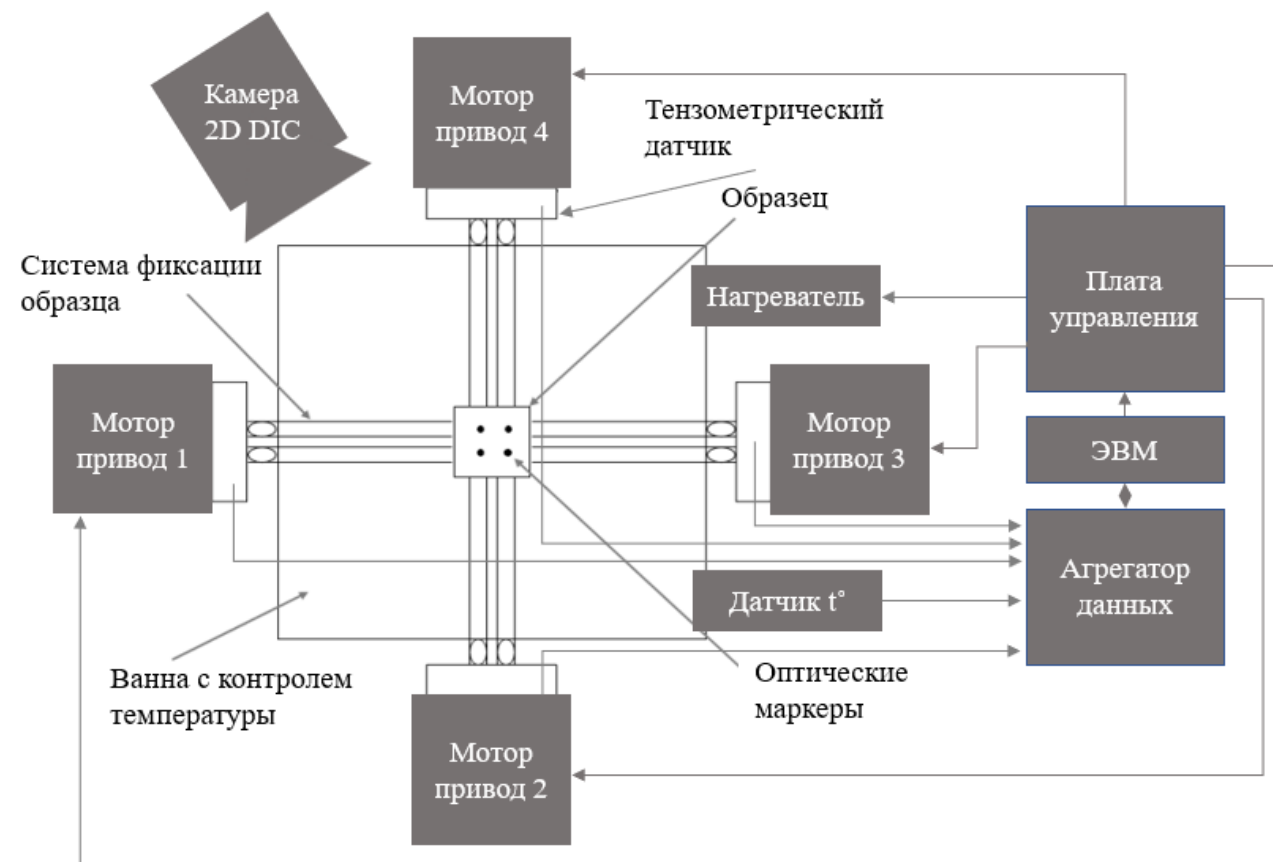
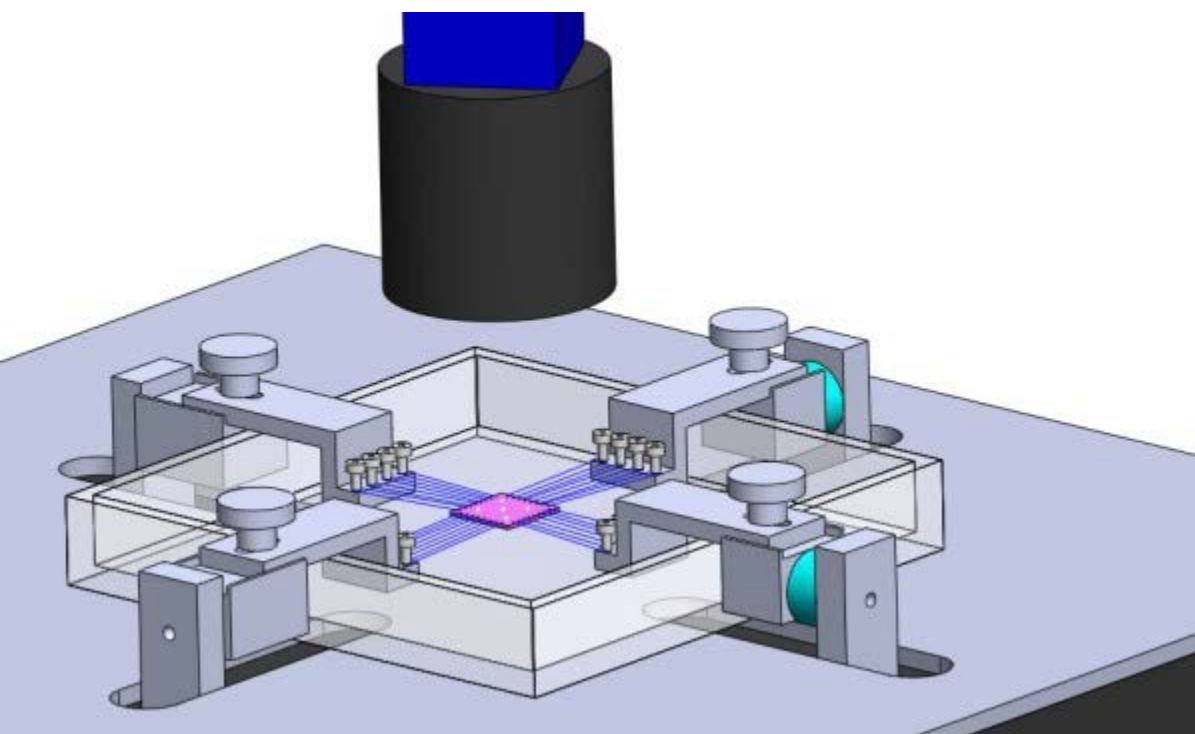


## Что требуется от машины для МТ?

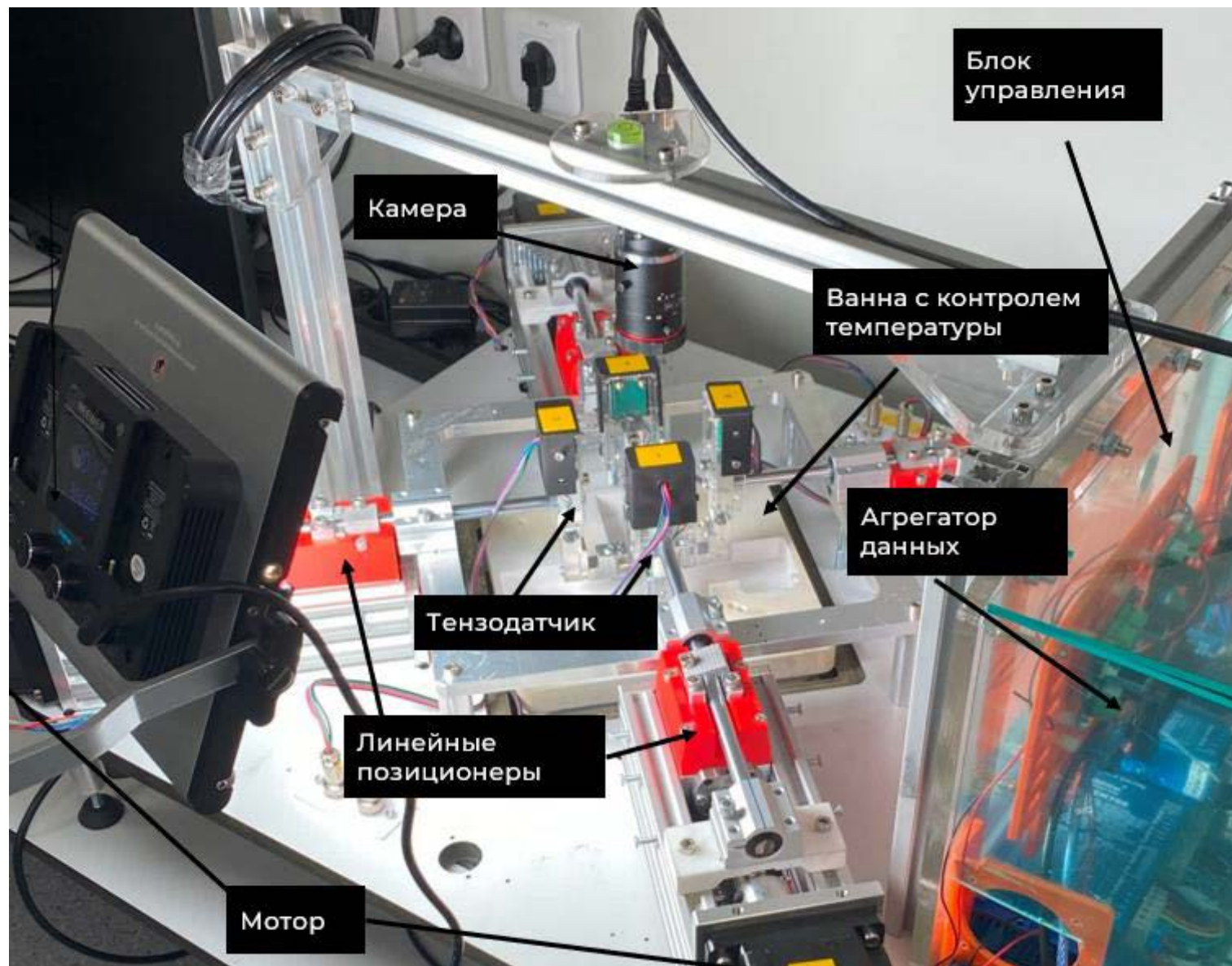
- малый размер образцов;
- поддержание определенных условий окружающей среды для сохранения образца;
- различные виды закрепления образца для минимизации краевых эффектов и отсутствия проскальзывания;
- бесконтактные методы оценки полей перемещений и деформаций;
- вариативность в протоколах нагружения образца.



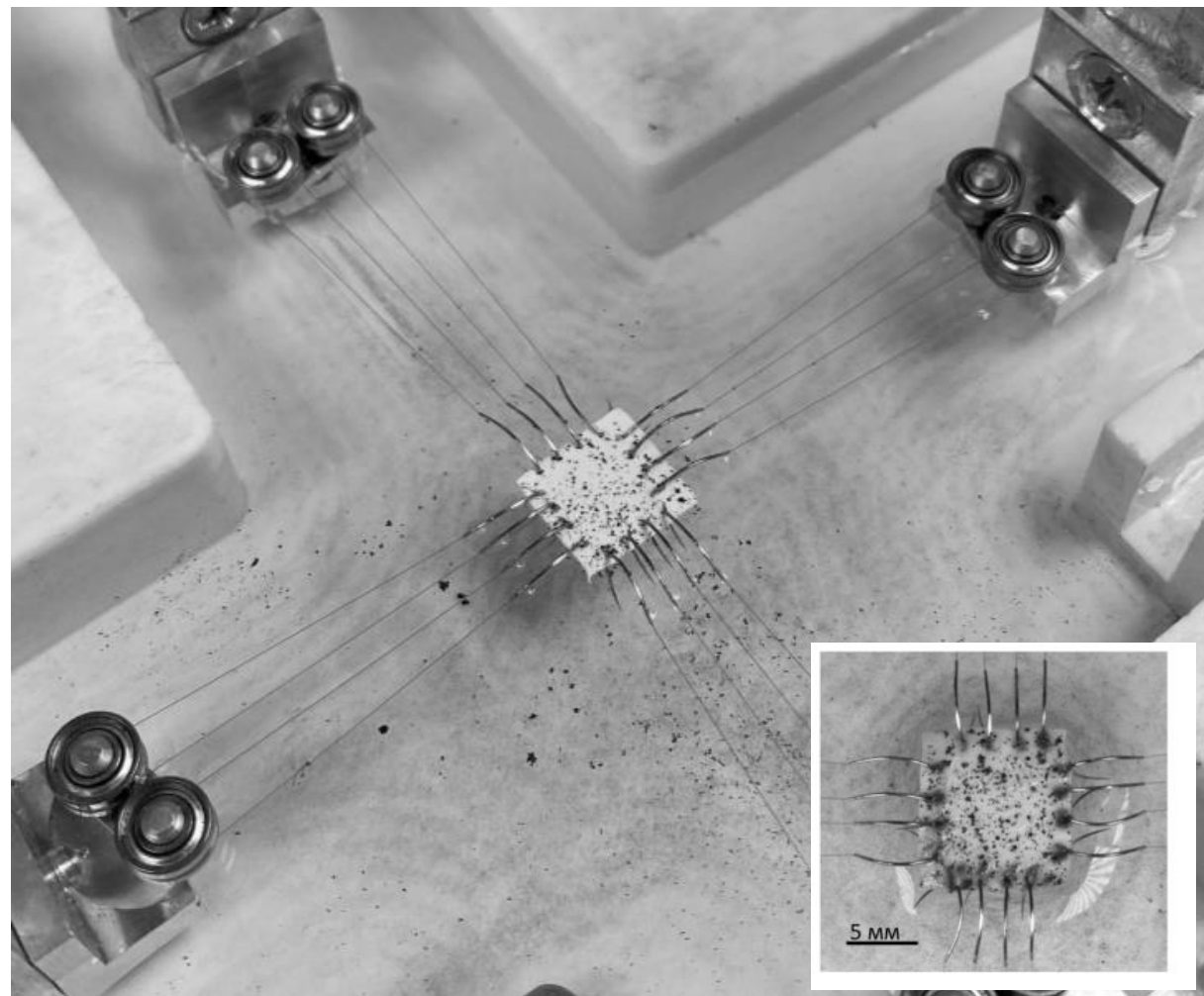
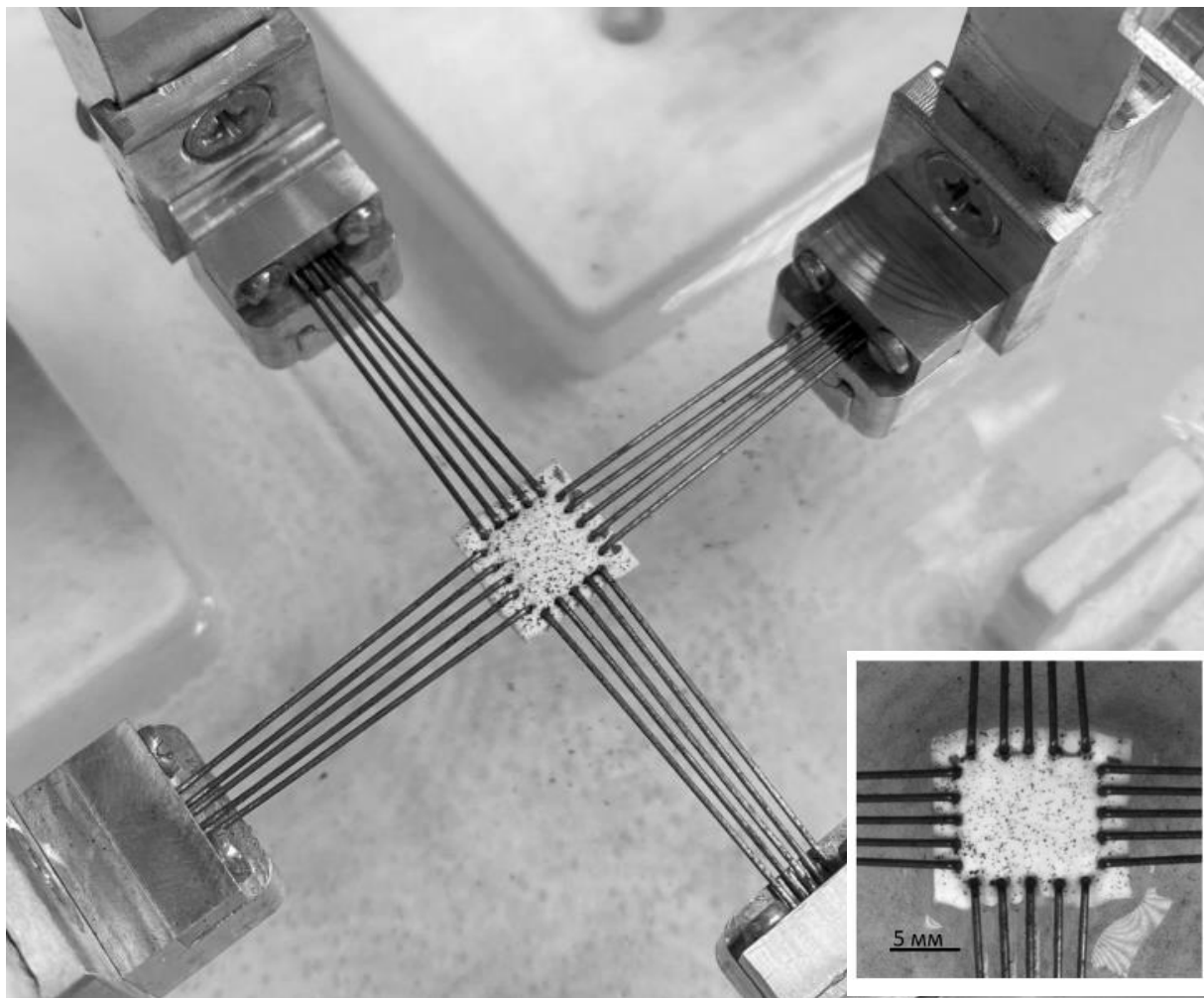
# Схема двухосной испытательной машины



# Прототип испытательной машины

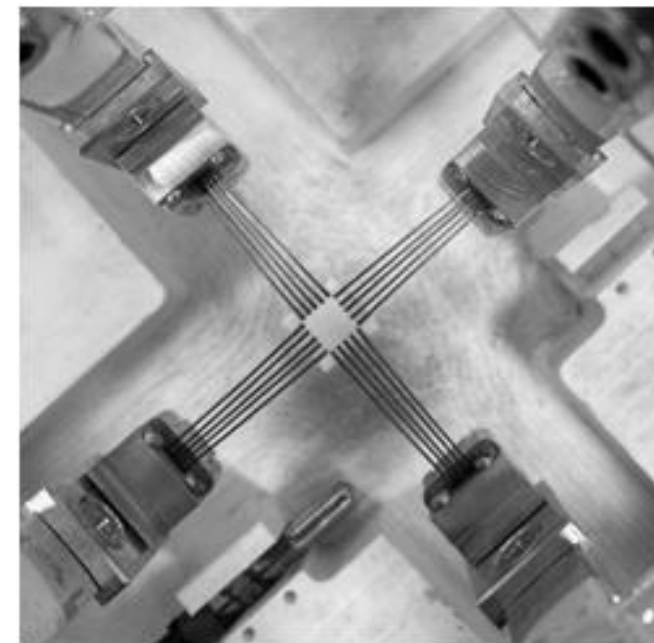
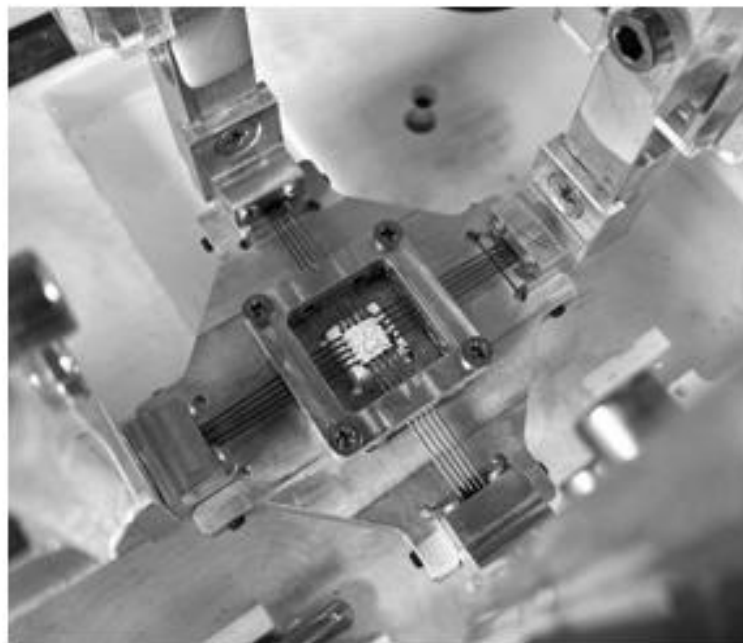
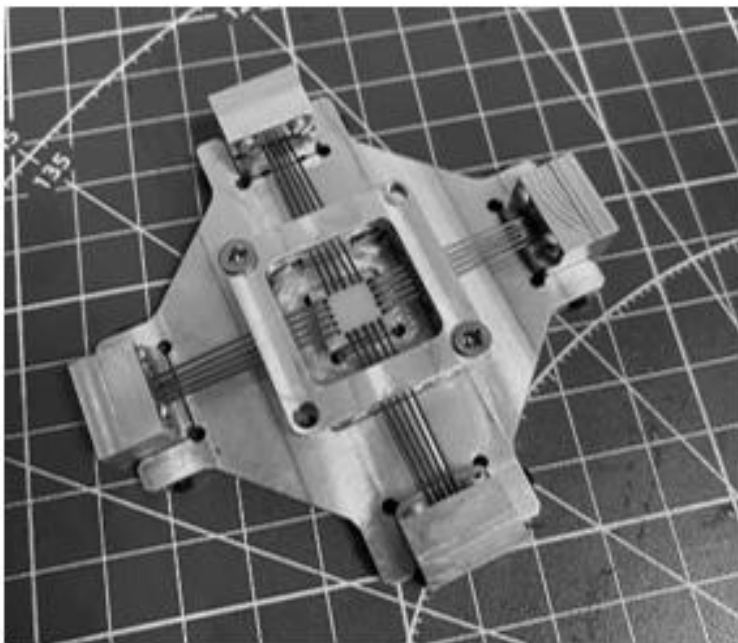


# Варианты фиксации образца



# Монтаж образца

Разработаны шаблоны для систематического и быстрого монтажа образцов



Опытный прототип платформы для установки образца в фиксатор грабельного типа.  
Слева – система в сборе, по центру – монтаж системы в испытательную машину, справа – установленный образец

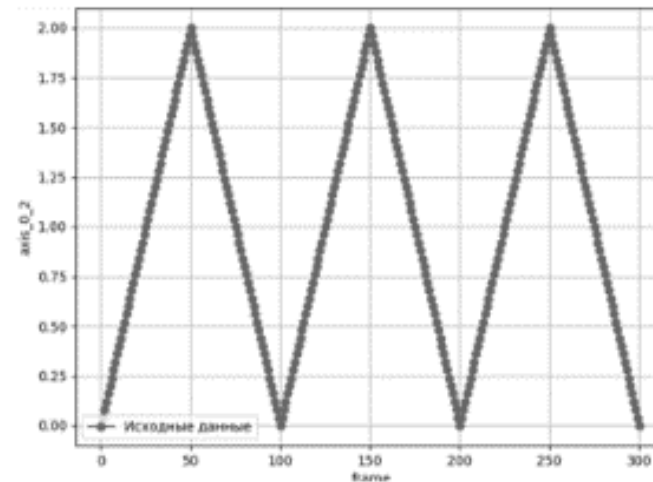
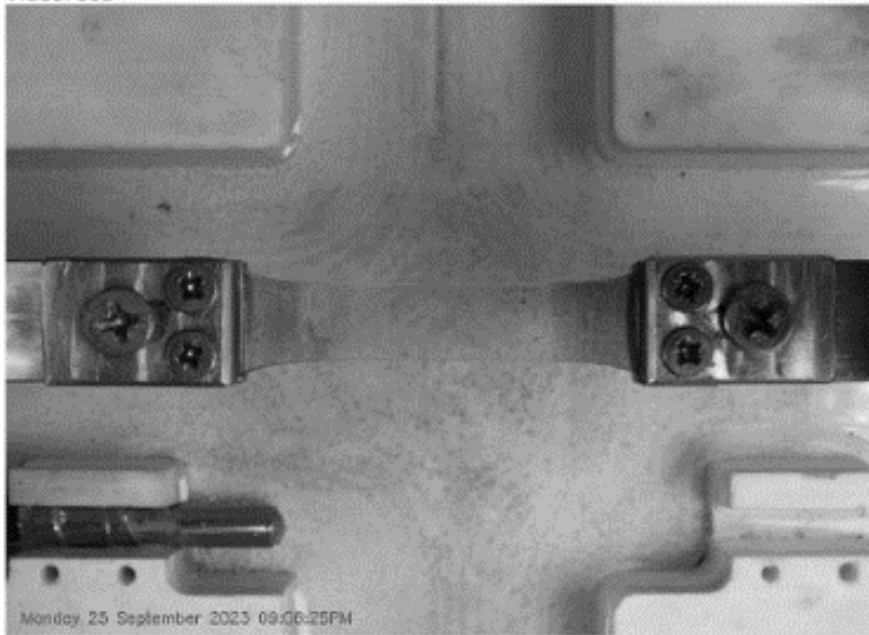
# Web-интерфейс для генерации протокола

<b>Name</b>	<input type="text" value="VHBCali10mm1mm"/>	<b>Magnitude</b>	<input type="text" value="25"/>
<b>Stretch Magnitude X</b>	<input type="text" value="100"/>	<b>Stretch Magnitude Y</b>	<input type="text" value="100"/>
<b>Stretch Duration</b>	<input type="text" value="250"/>	<b>Recovery Duration</b>	<input type="text" value="40"/>
		<b>Repetitions</b>	<input type="text" value="1"/>

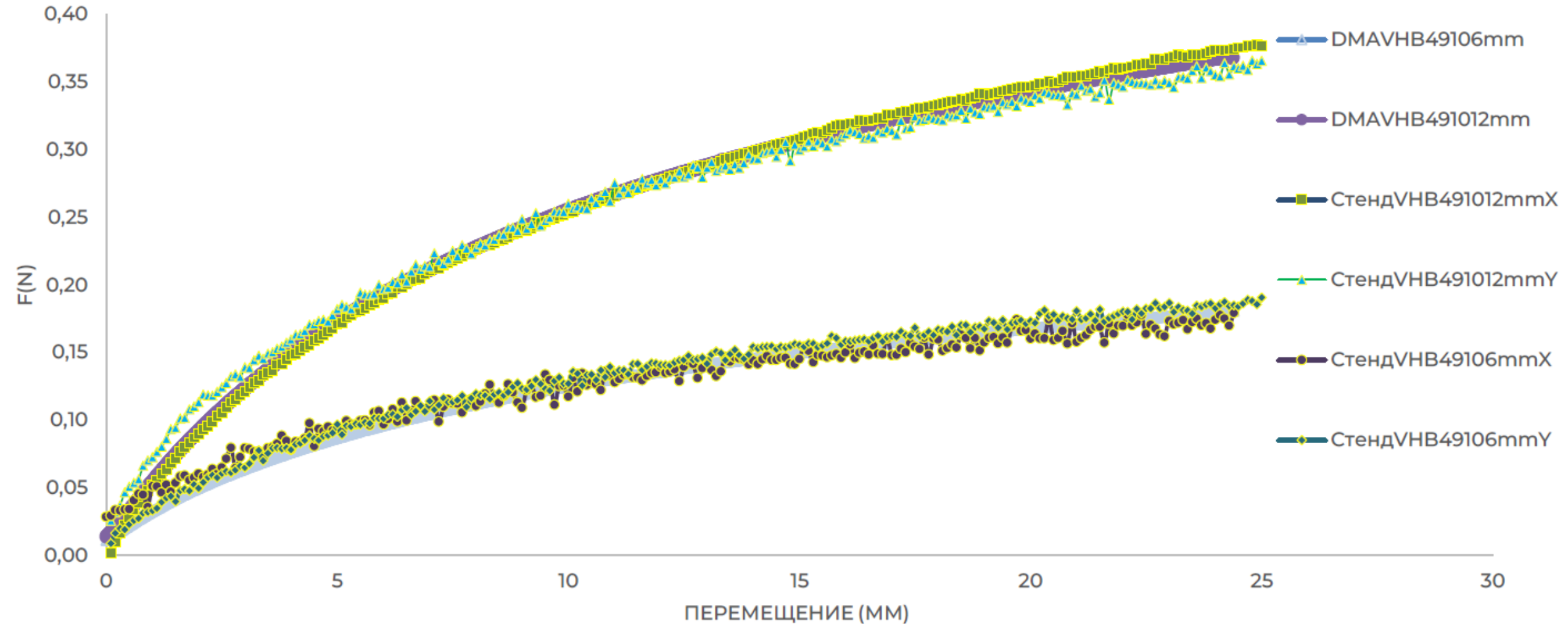
#	Name	Magnitude	Stretch Magnitude X	Stretch Magnitude Y	Stretch Duration	Recovery Duration	Repetitions
1	VHBCali10mm1mm	25	100	100	250	40	1

Заполните все поля, затем нажмите записать.

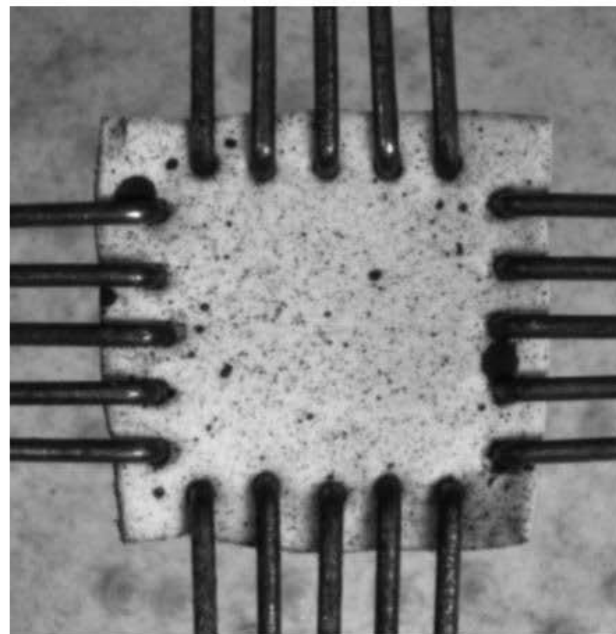
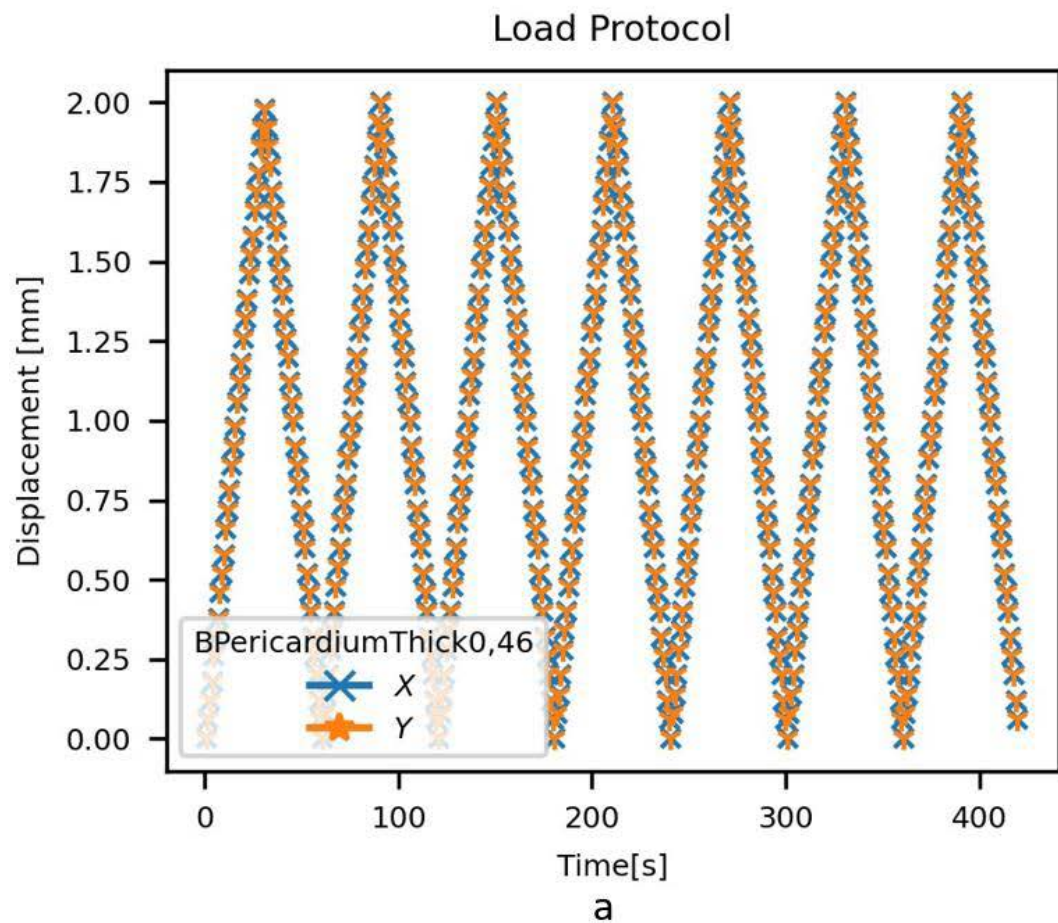
VideoFeed



# Испытания VHB4910 DMA RSA G2 vs.Стенд



# Верификационные испытания

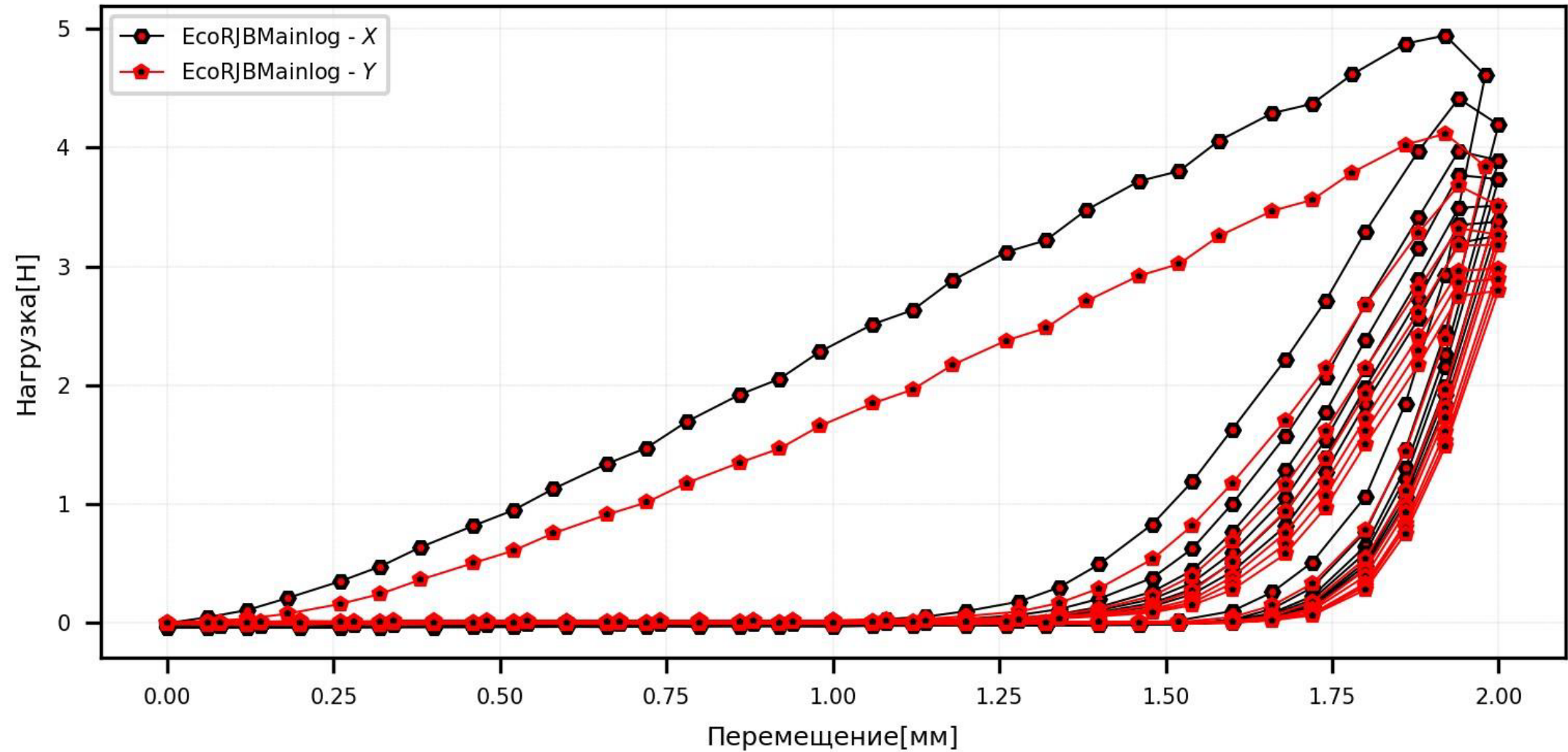


б

Протокол испытаний (а) – образцы нагружаются равнодвухосно, 7 циклов. По достижении 2 мм перемещения по каждой оси (перемещение приводов), образец разгружается. Спекл-узор на образце Экофлон-ПС04 (б).

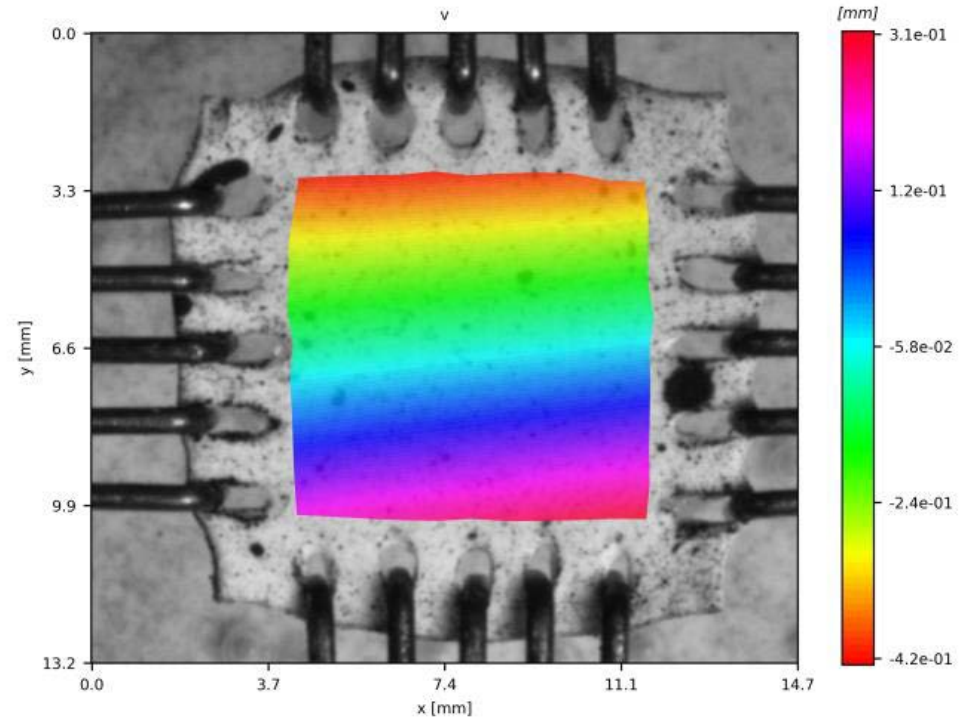
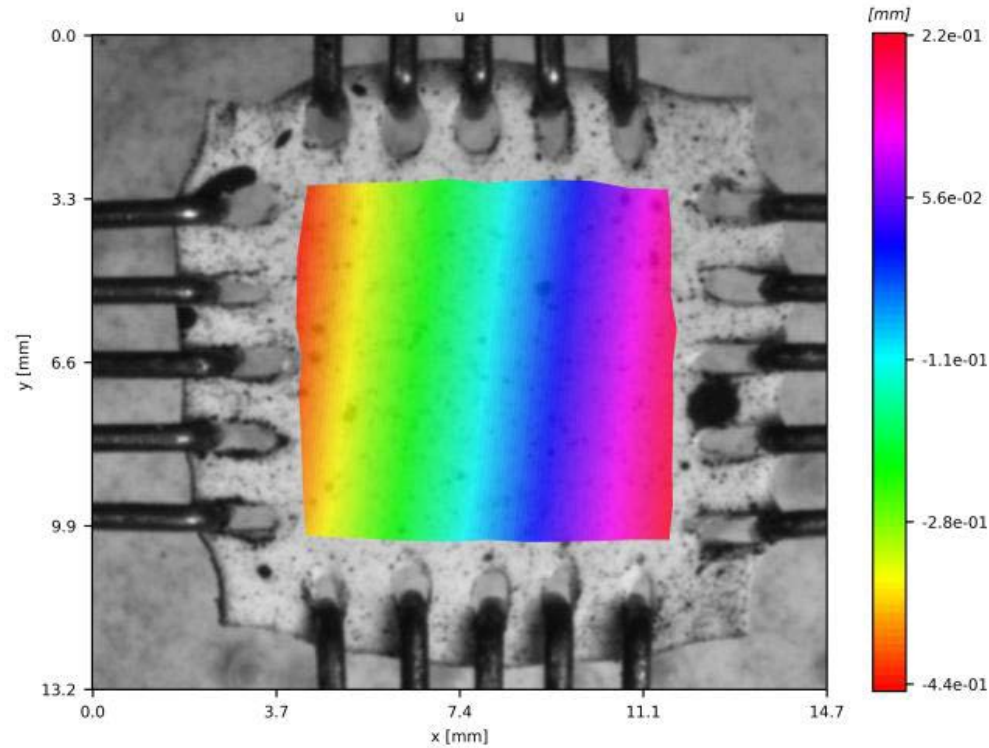
# Двухосное испытание Экофлон-ПС04

Двухосное испытание. Экофлон-ПС04 (0.4мм)

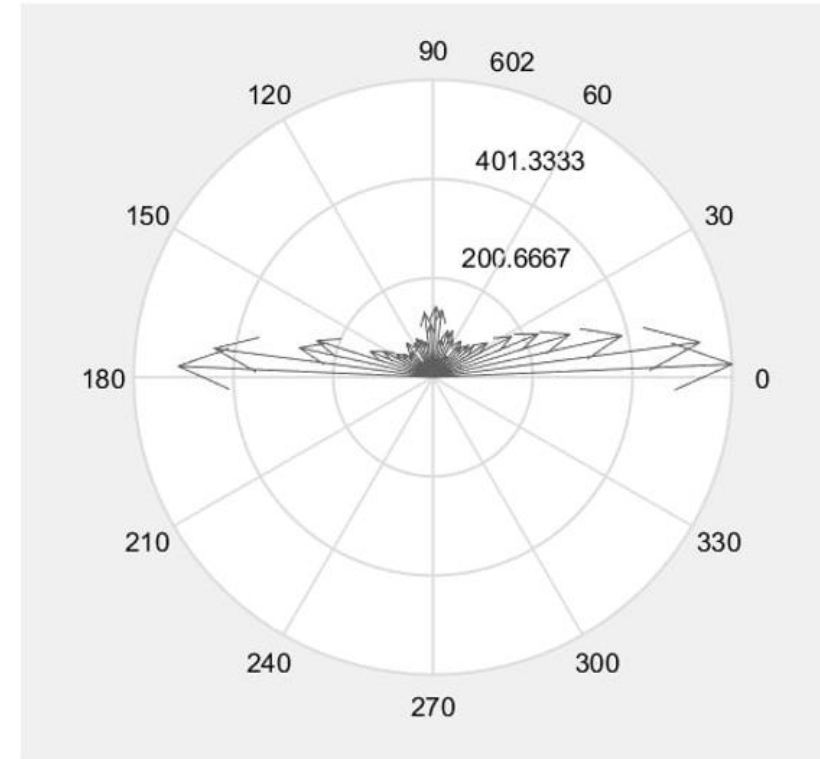
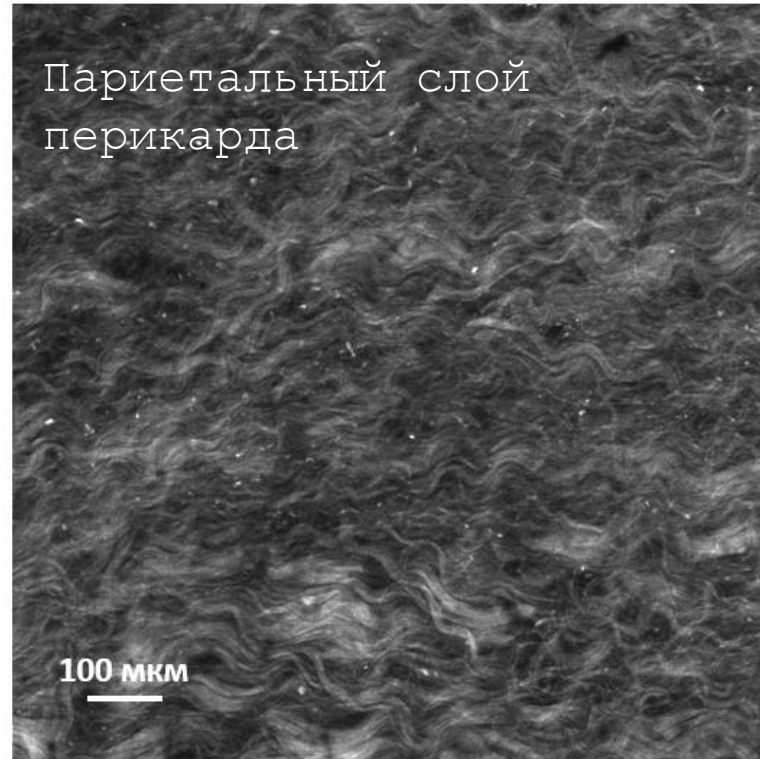




# Поля перемещений по $u$ , $v$ : Экофлон-ПС04



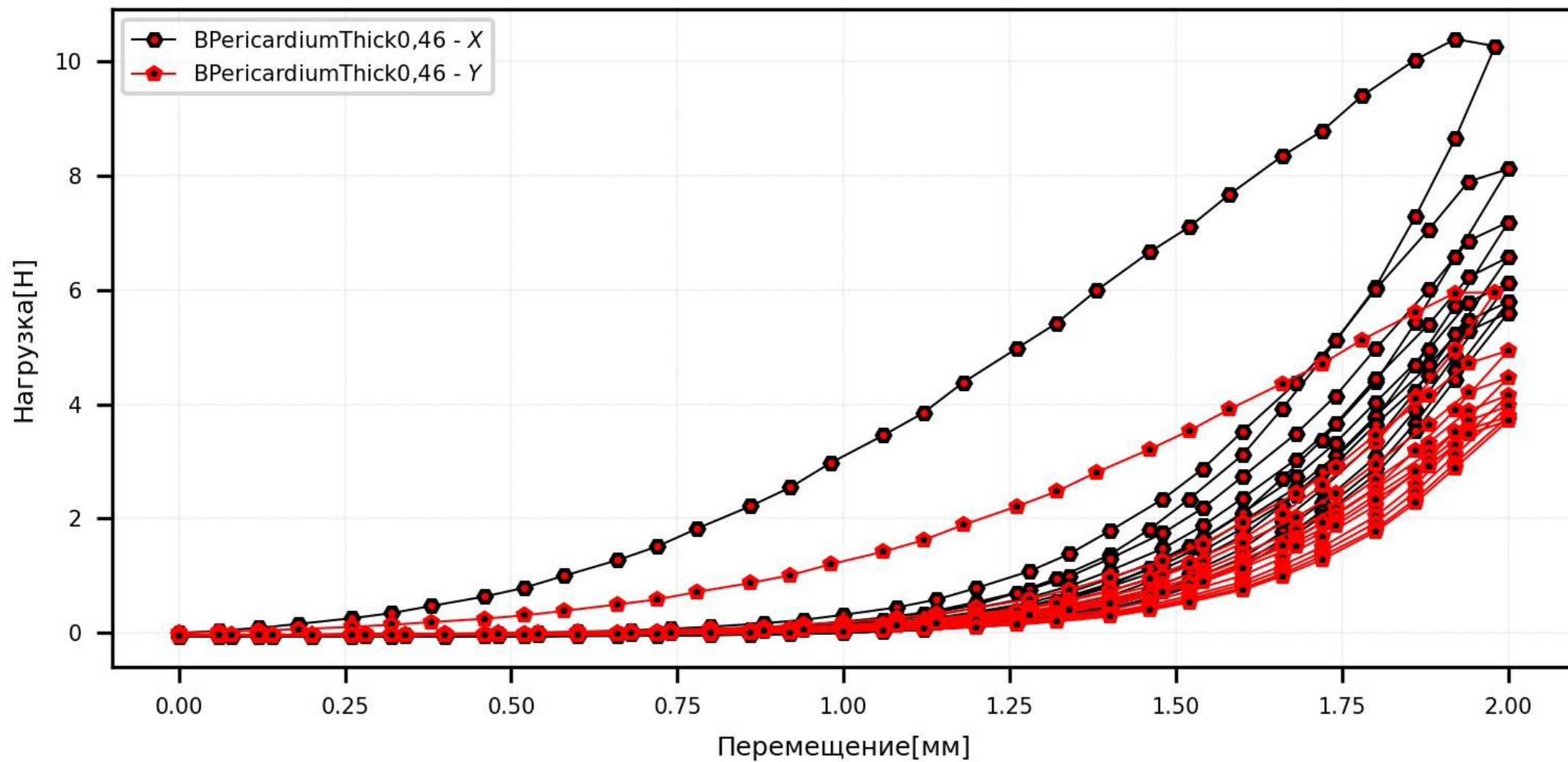
# Бычий перикард: микроструктура



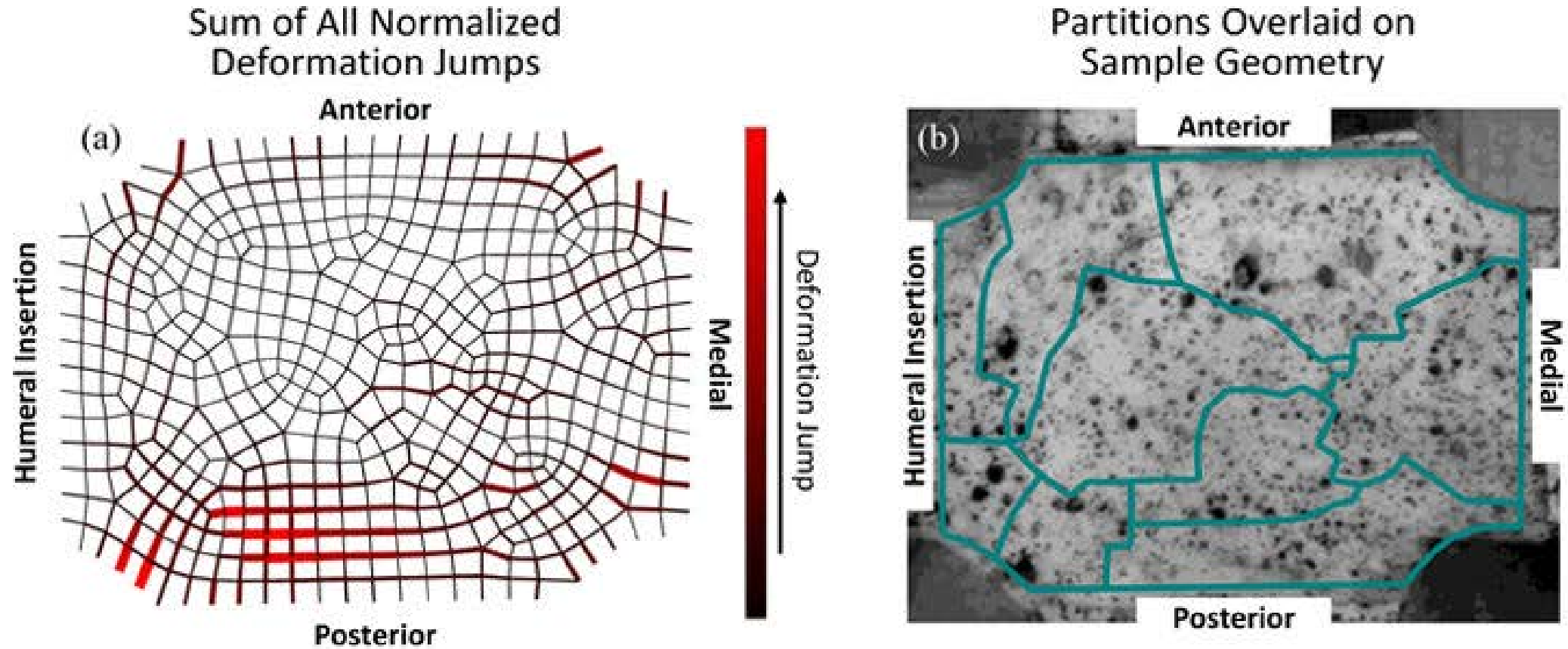
Конфокальная микроскопия. Центр образца, глубина 10 мкм. Слева – фиброзный слой перикарда, по центру – париетальный, справа – полярная диаграмма распределения волокон в париетальном слое перикарда.

# Бычий перикард: двухосный эксперимент

Двухосное испытание. Бычий перикард (0.46мм)

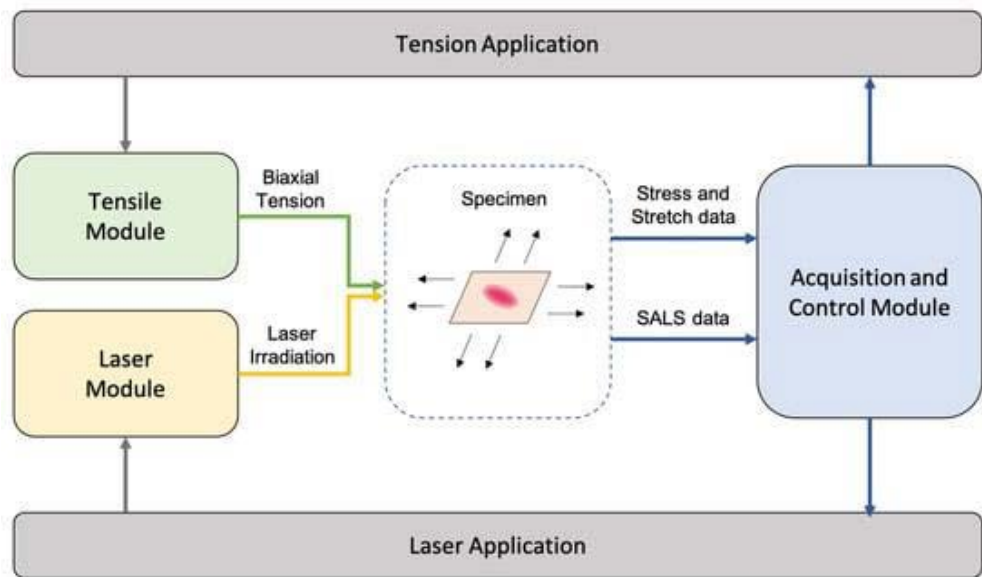
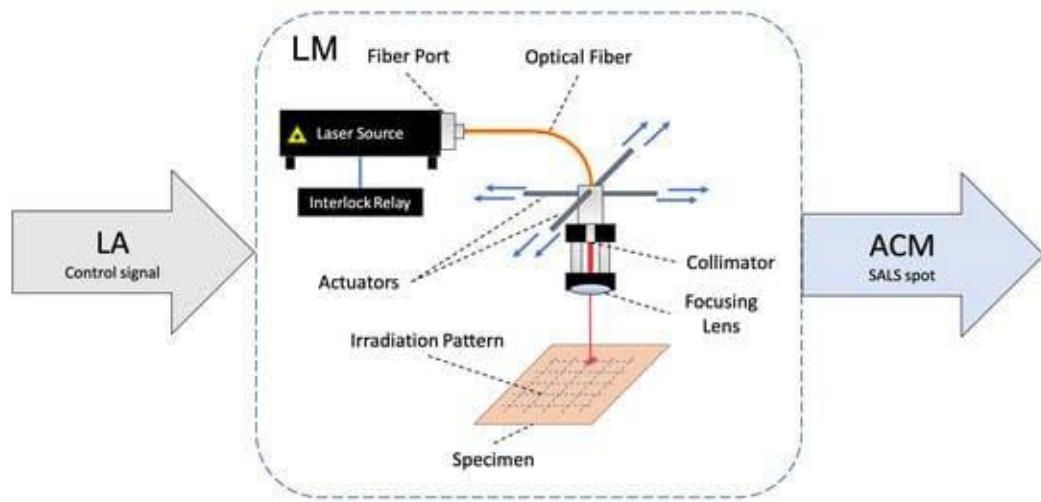


Планы: автоматическое определение областей неоднородностей

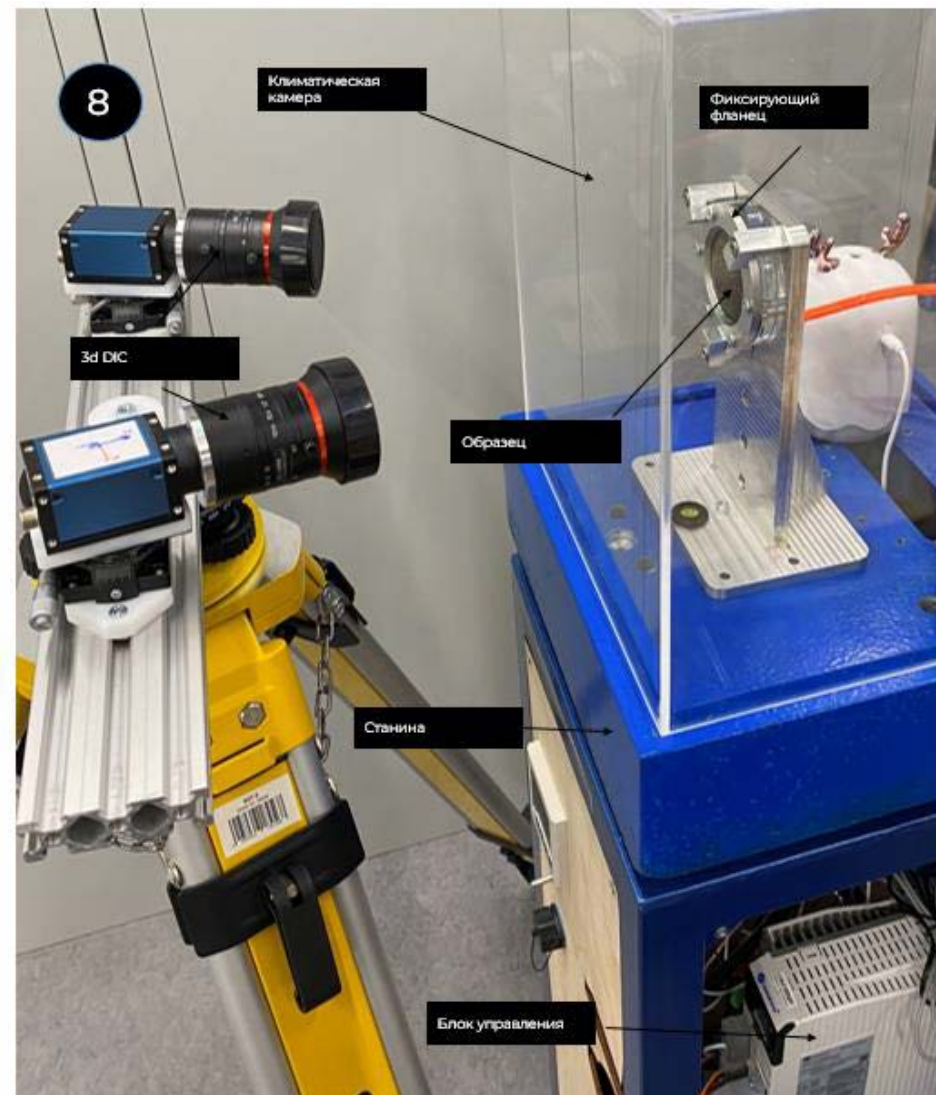


Witzenburg C. M. et al. Automatic segmentation of mechanically inhomogeneous tissues based on deformation gradient jump

# Планы: оценка микроструктуры и раздутие мембраны



Система малоуглового светорассеяния мягких тканей



Машина для раздувания

# Планы: построение мат.моделей и эксп.протоколы

1. построение мат.моделей механического поведения биоматериалов (обработка эксп.данных)

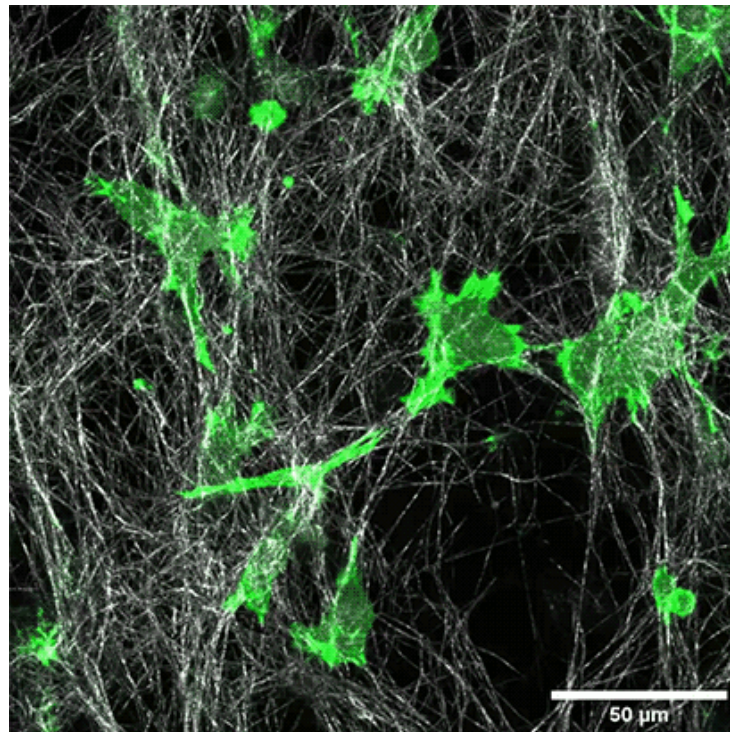
$$\left\{ \begin{array}{l} \operatorname{div} \boldsymbol{\sigma} + \rho \mathbf{b} = \rho \frac{d^2 \mathbf{u}}{dt^2} \\ \frac{d\rho}{dt} = 0 \\ \boldsymbol{\sigma} = f(\mathbf{u}, \dots) \\ \text{Г.У. + Н.У.} \end{array} \right.$$



Определяющие соотношения

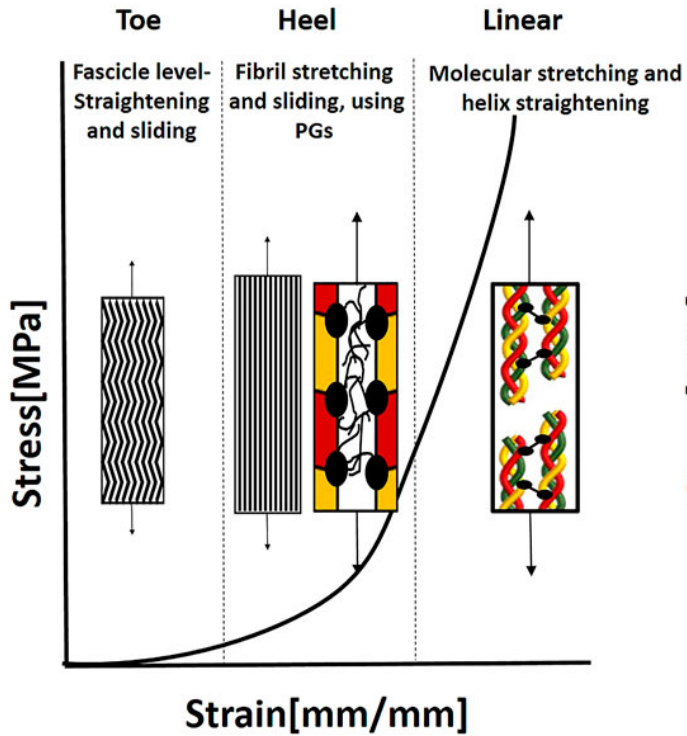
2. Разработка новых протоколов исследований: разные моды деформаций, прекондиционирование, стандартизация протоколов исследований

**Спасибо за внимание!**

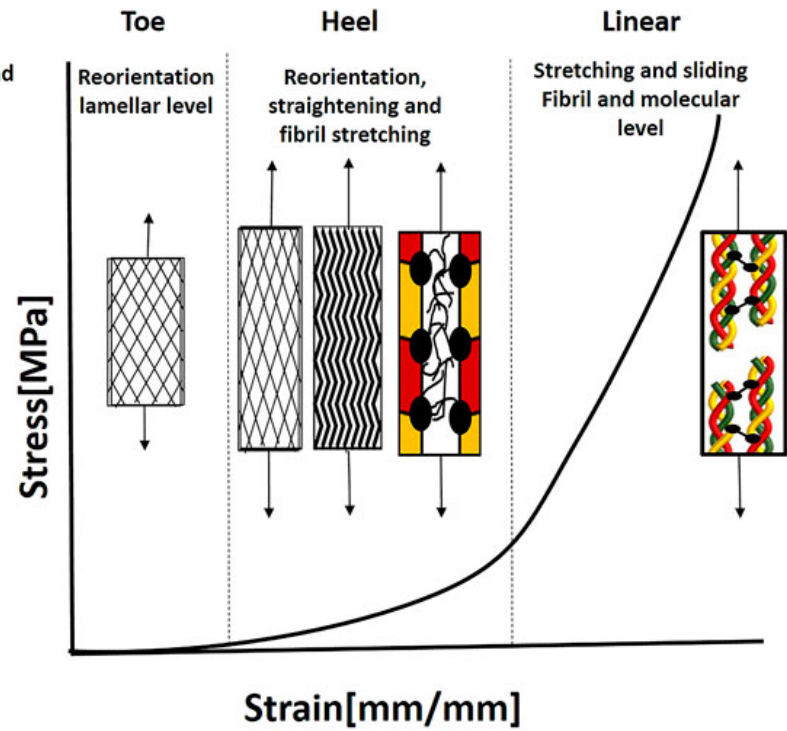


# Кривая деформирования

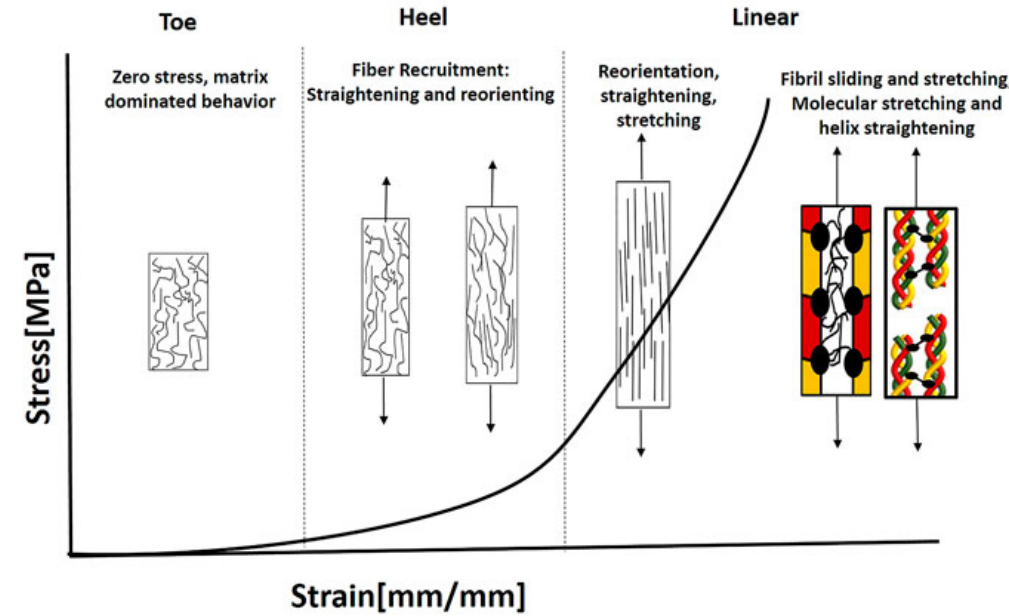
## Tendons and ligaments



## Annulus Fibrosus



## Arterial wall





# Укладка волокон

