Экспериментальное исследование механики тканей артерий с патологиями

Липовка А.И.
Паршин Д.В.

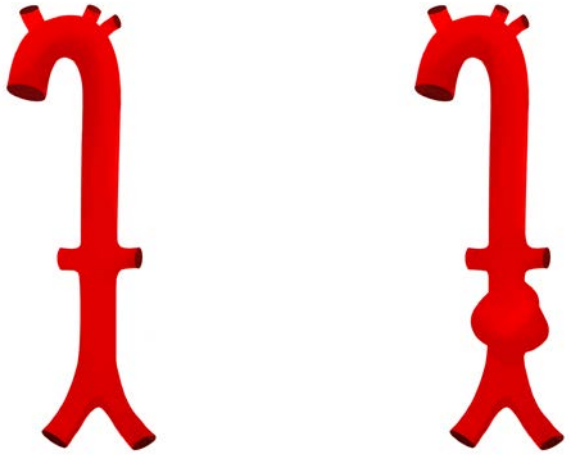
ИГиЛ СО РАН

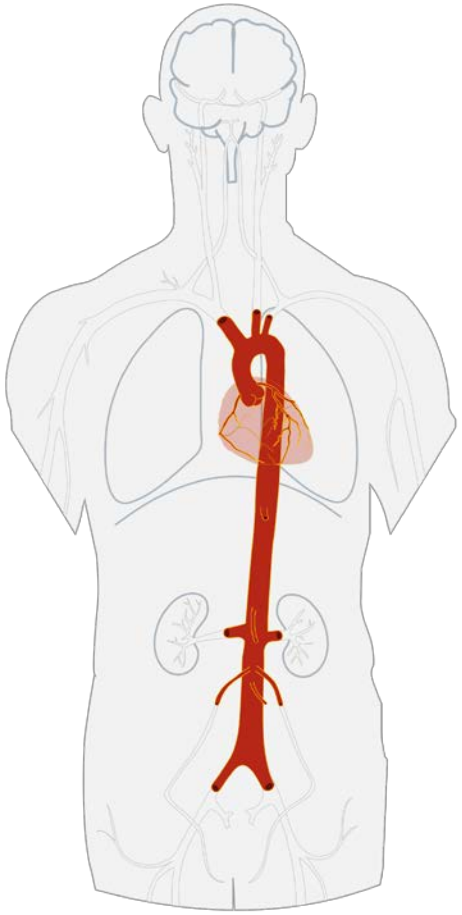
При поддержке РНФ: 20710034

Введение. Аневризма

Расположение

- **Аорта**
- Церебральные сосуды
- Другие крупные сосуды

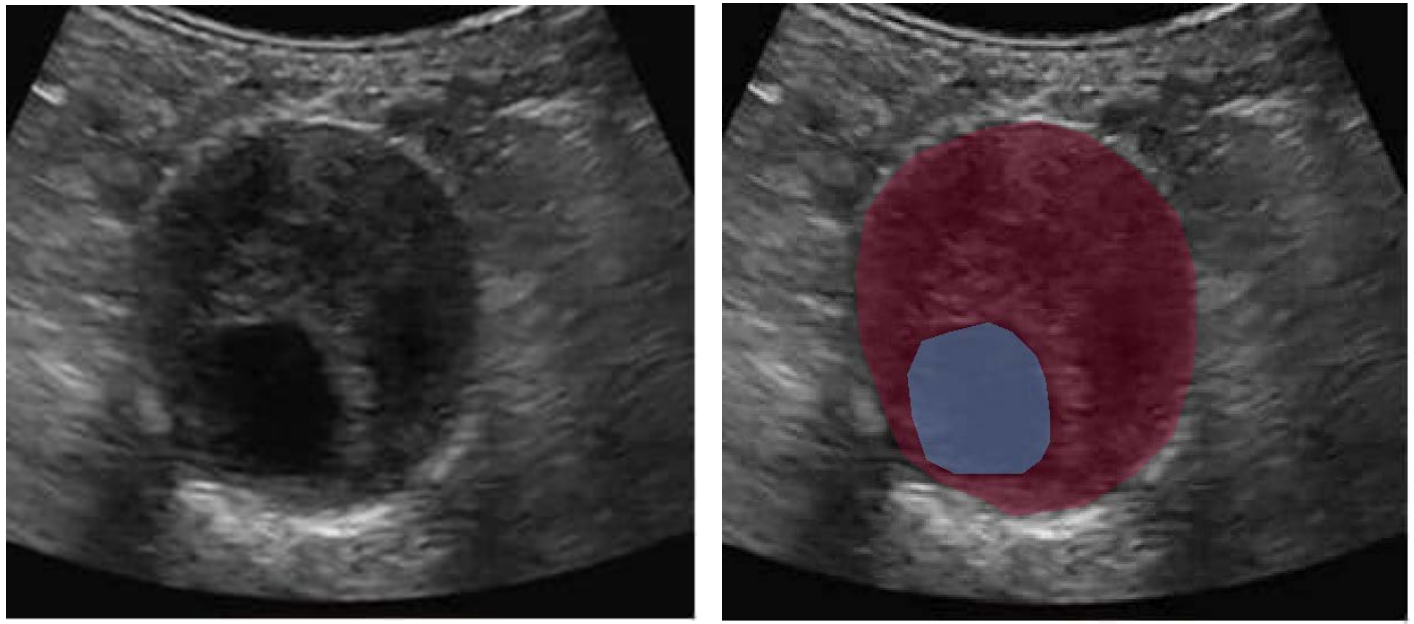




- Частота возникновения: до 5 %
- Разрыв: 20-60%
- Смертность: до 100%

Задача. Некоторые сведения из медицины

Разработка персонализированного прогноза риска разрыва и тромбоэмболических осложнений



Просвет аорты на УЗИ

Методы исследования

Экспериментальные:

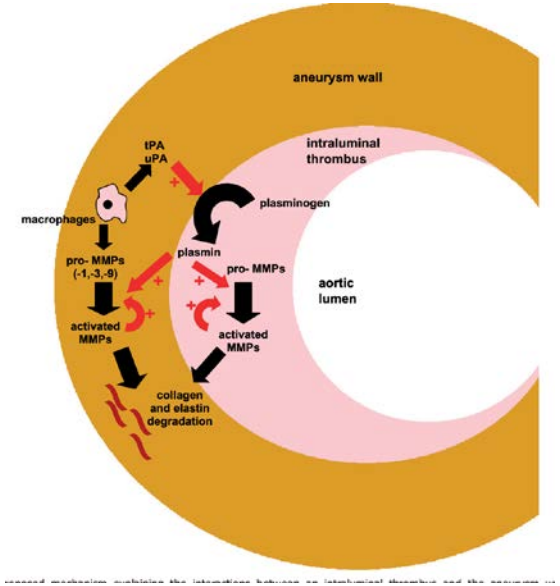
- Механический тест
- Реометрия (DMA)
- ЛИФ
- Гистология
- Синхротронное излучение

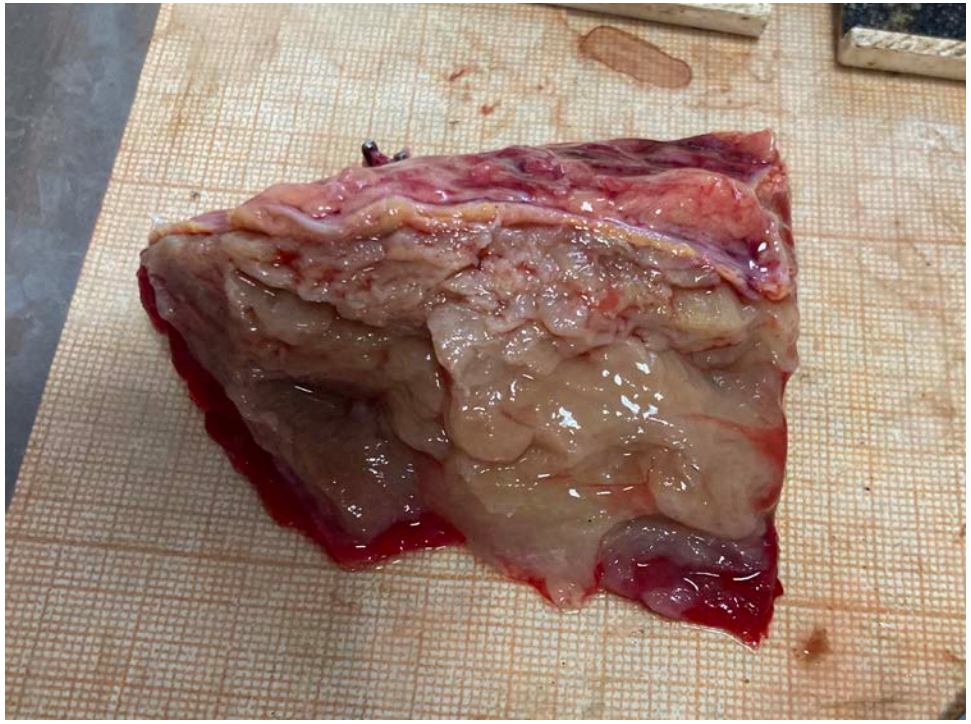
Математические:

- Моделирование эксперимента в Ansys

Роль тромбоза в образовании аневризмы

- Тромб может значительно снизить напряжение стенки аневризмы но его увеличение толщины приводит к локальной гипоксии во внутреннем слое медии; это может вызвать усиление медиальной неоваскуляризации и воспаления.
- Недавние результаты показывают, что активация тромбоцитов и образование фибрина играют критическую роль в развитии и разрыве ААА.
- Активность внутрипросветного тромба (ILT) начинается на границе просвета с циркулирующей кровью и постепенно распространяется на стенку аневризмы. Люминальная активация тромбоцитов и образование фибрина переносят зимогены из крови к стенке аневризмы, таким образом участвуя в деградации внеклеточного матрикса.

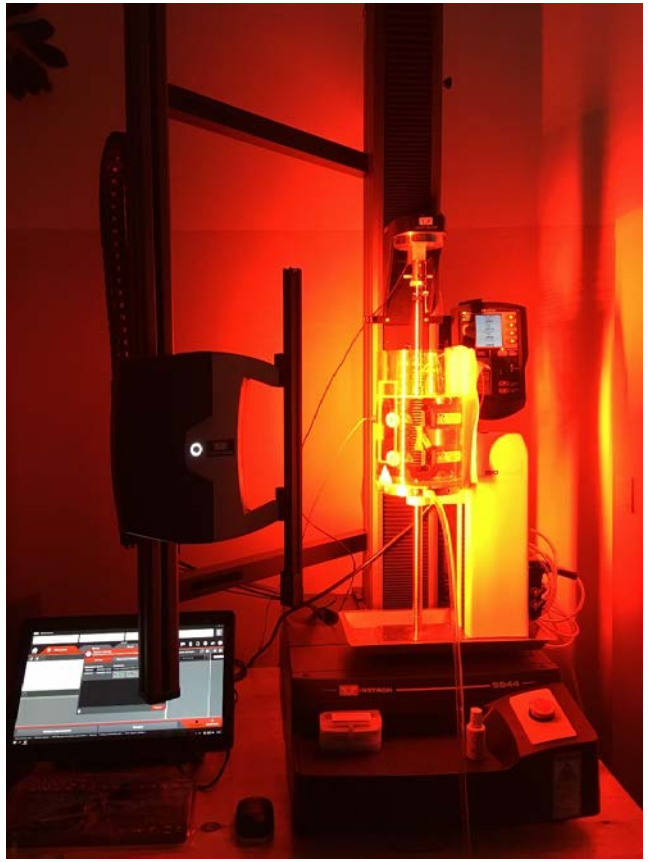




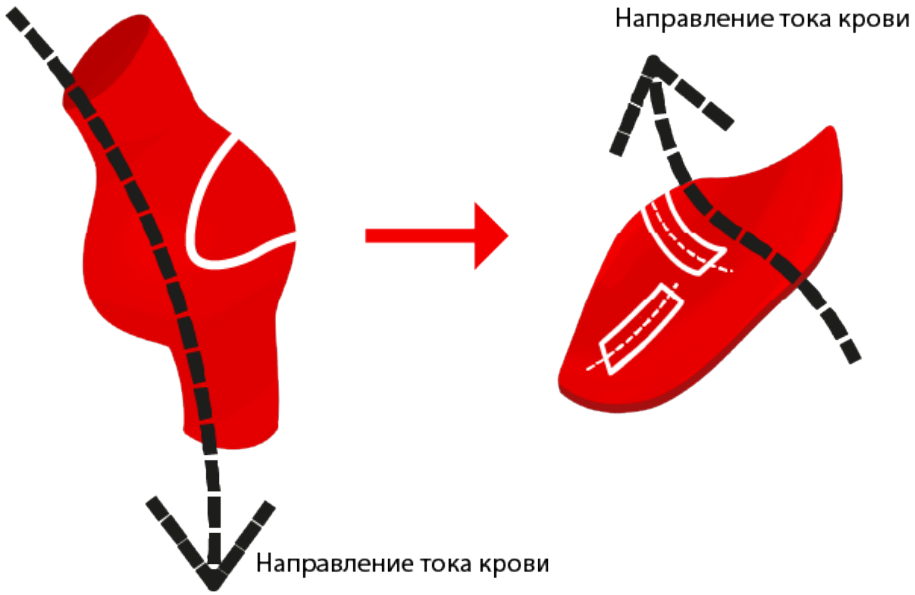
Механическое одноосное испытание

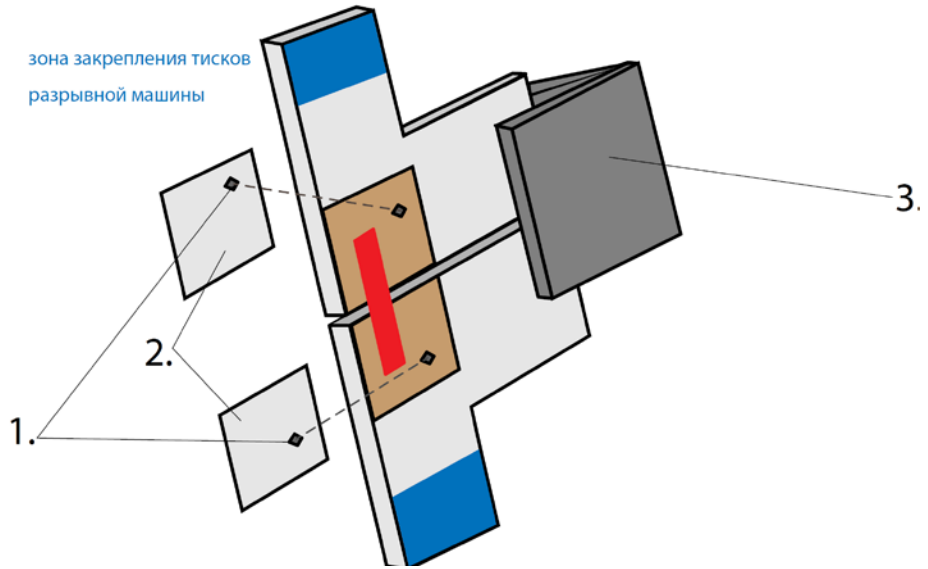
Instron 5944

- Биованна
- Видеоэкстензометр



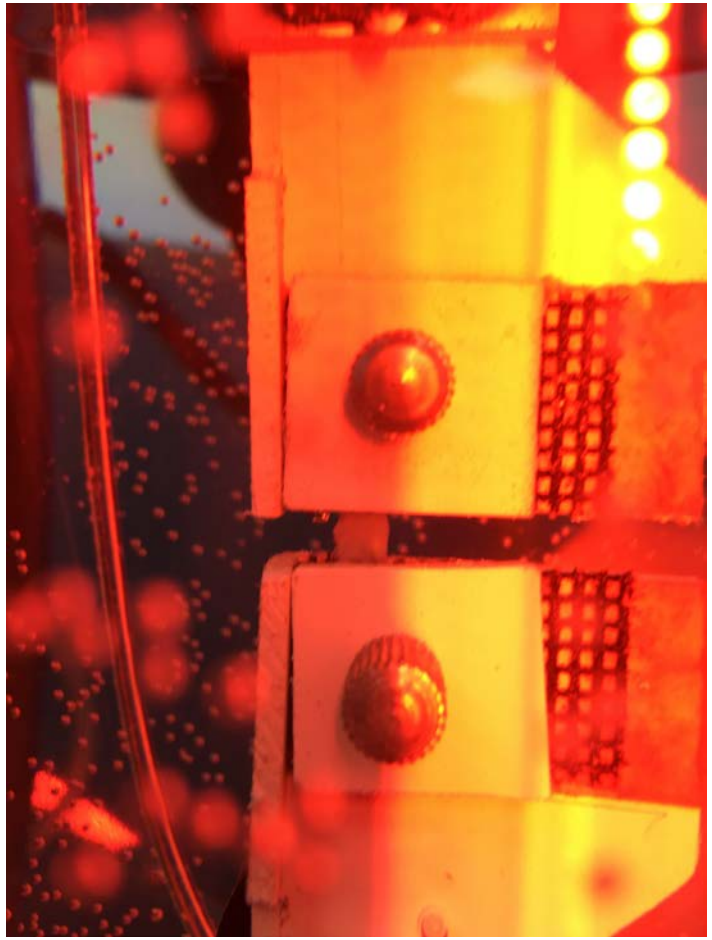
Методика испытания



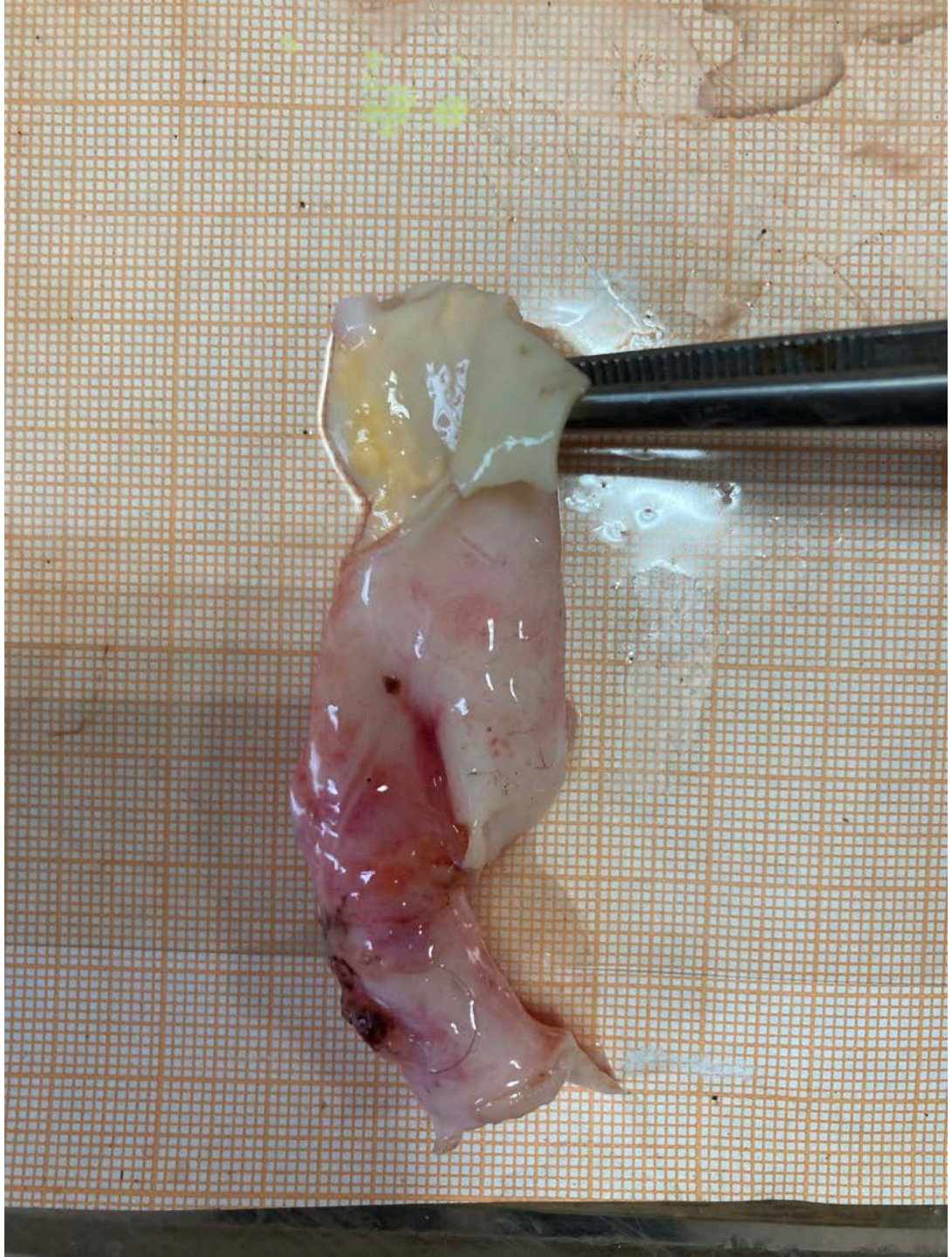


1. Винты
2. Съемная часть
3. Фиксатор

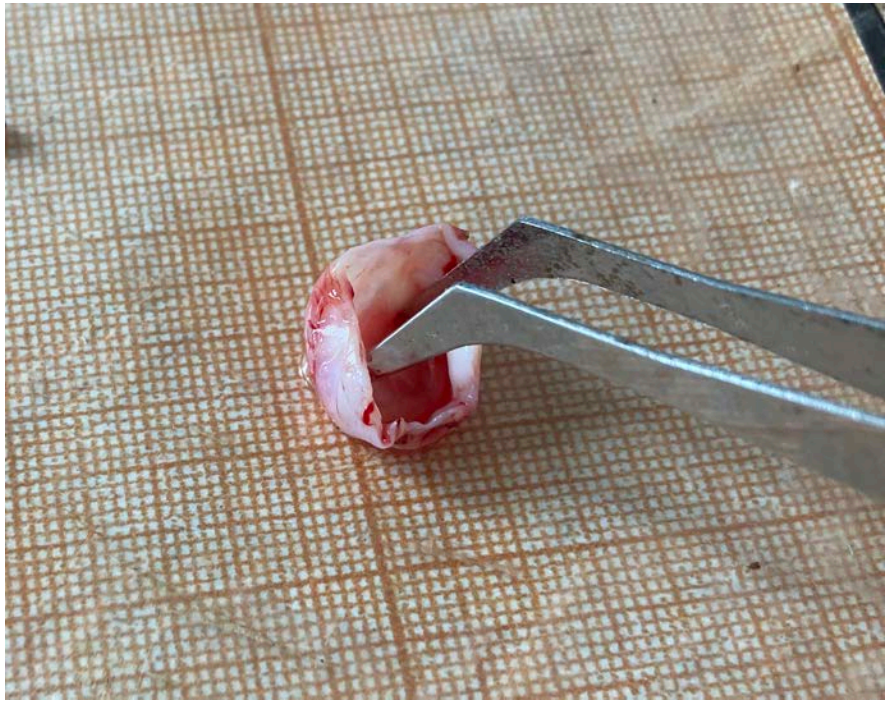
Методика испытания

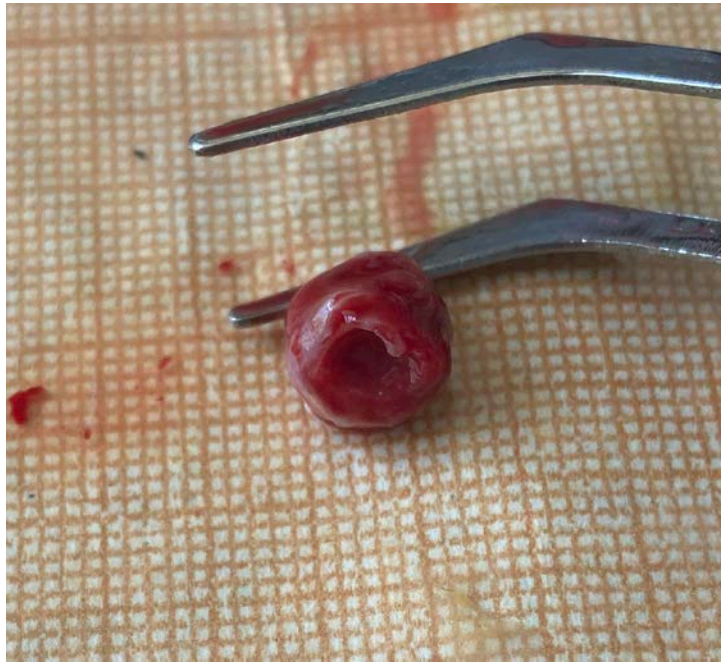


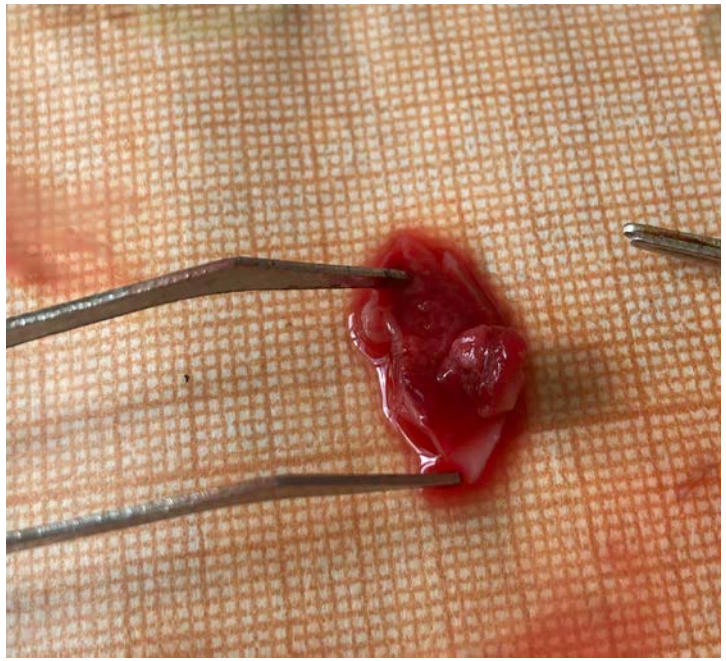
Здоровая аорта



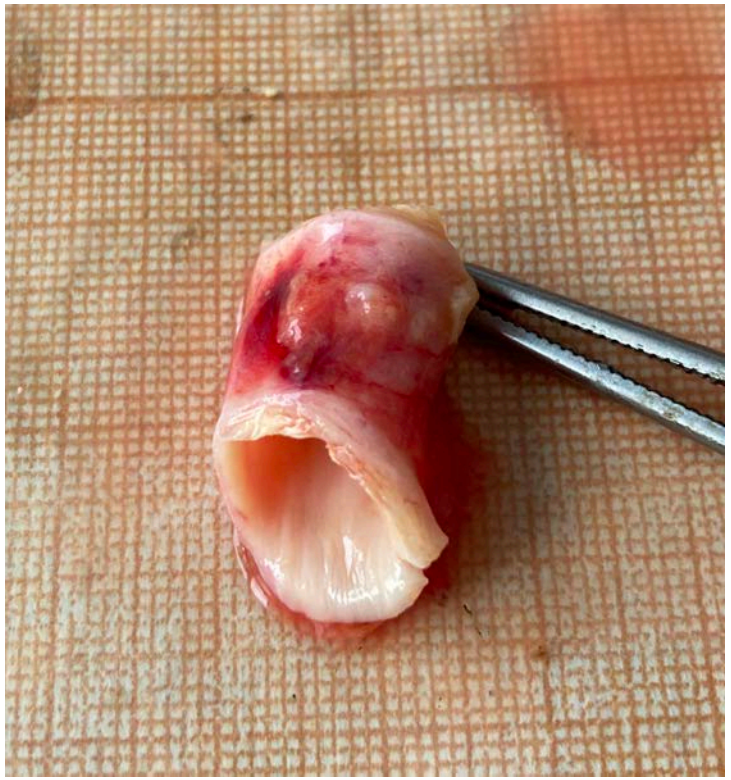
Церебральные аневризмы

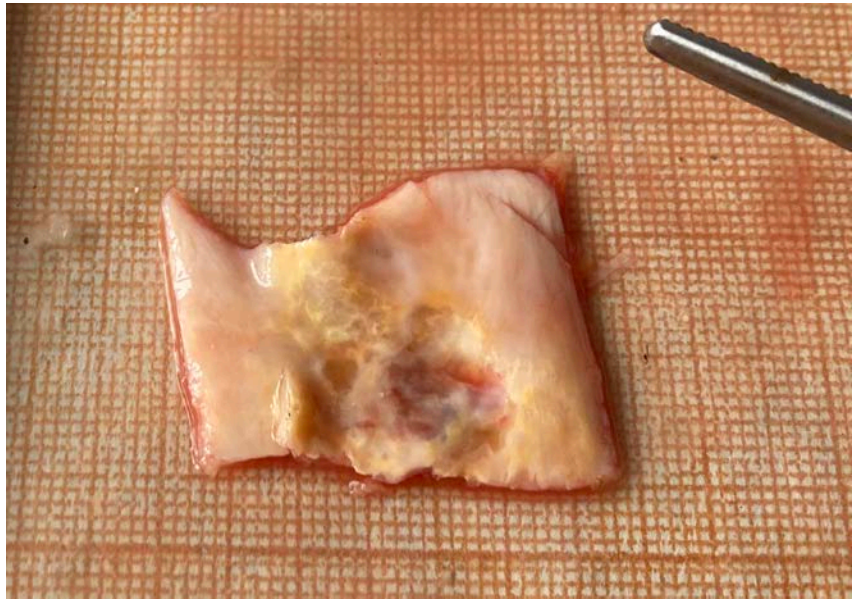


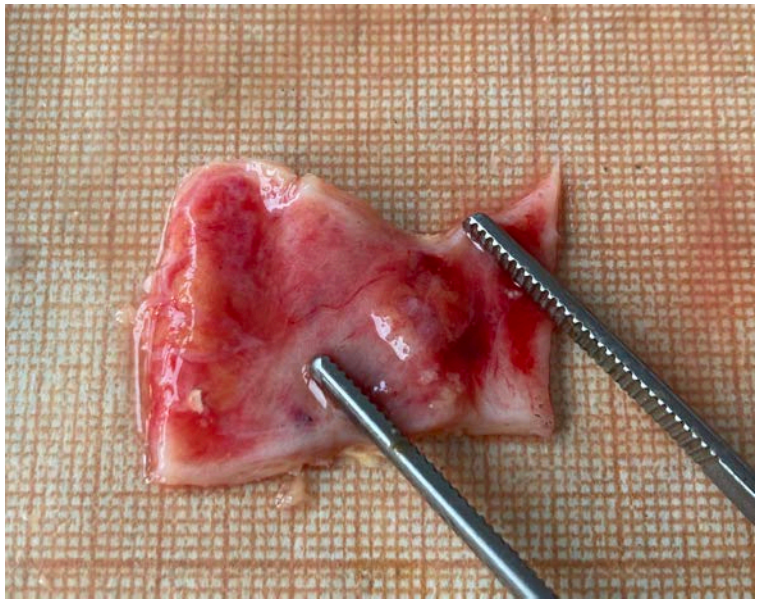




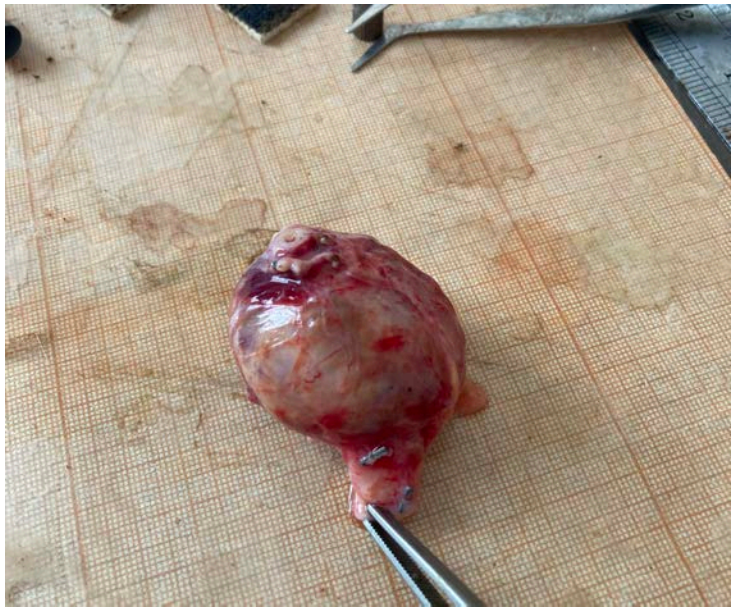
Подвздошная артерия

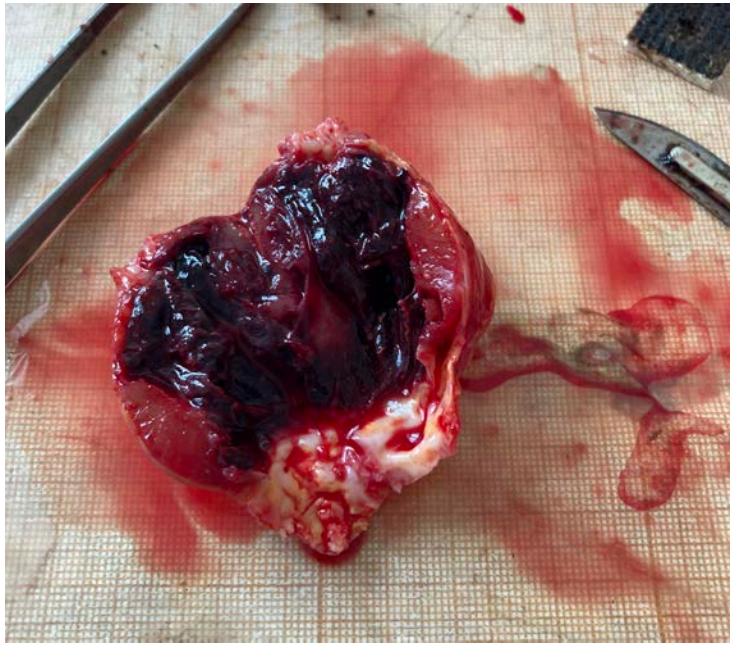




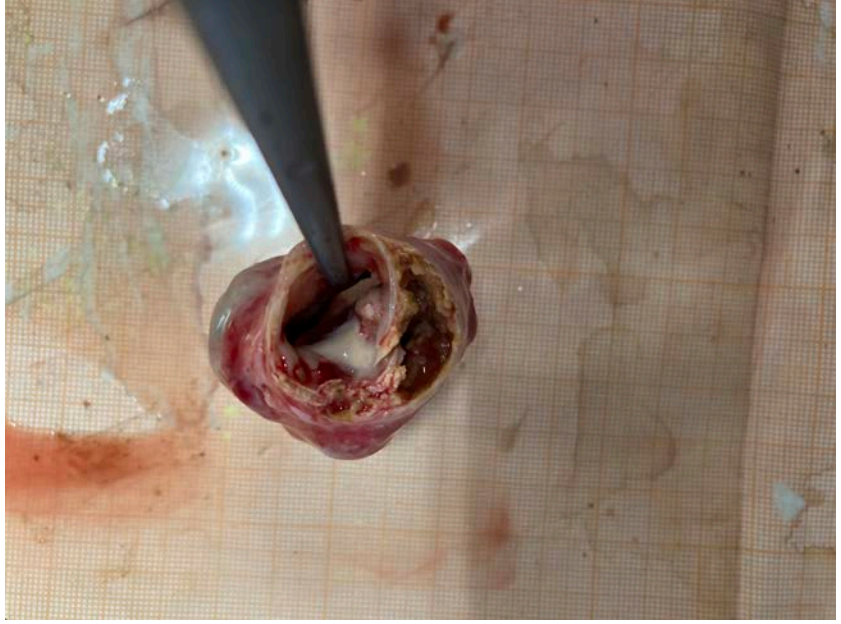


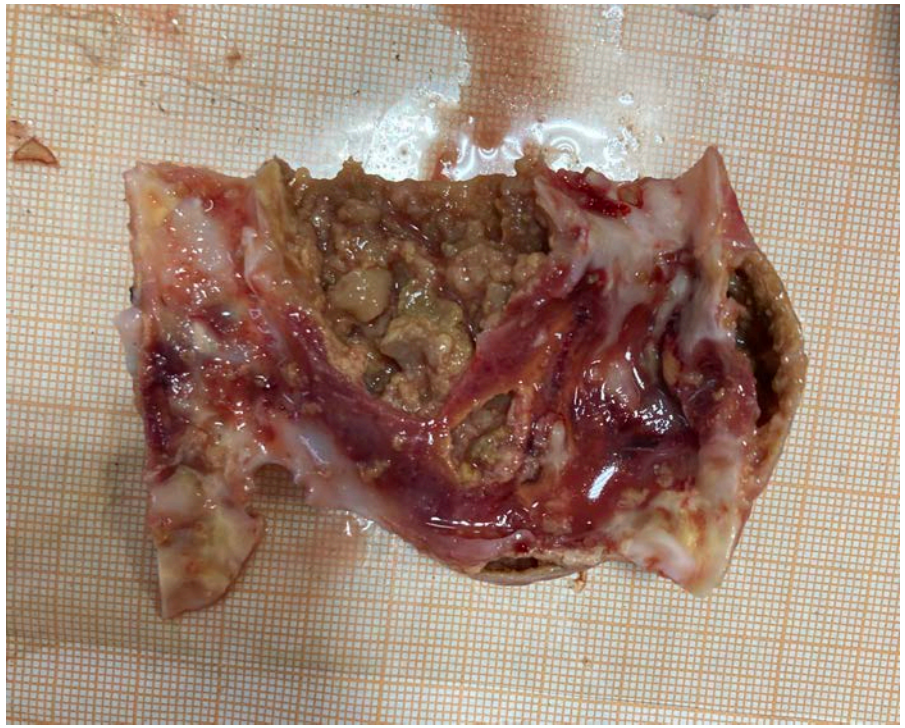
Аневризма подвздошной артерии





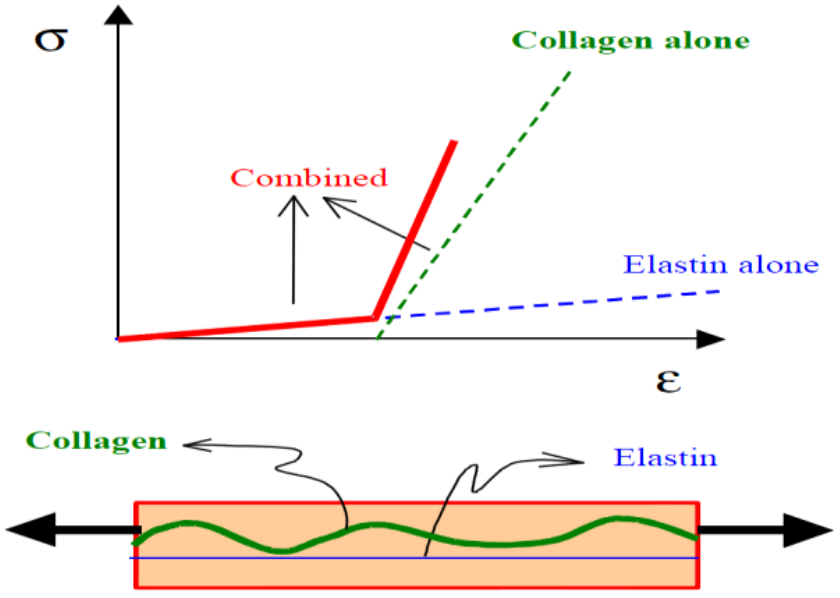
ААА+тромб

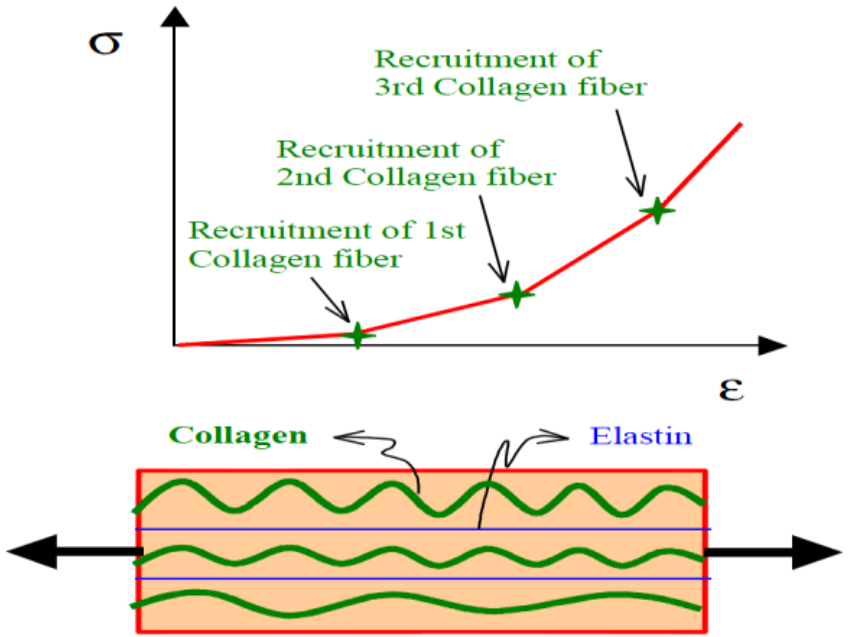


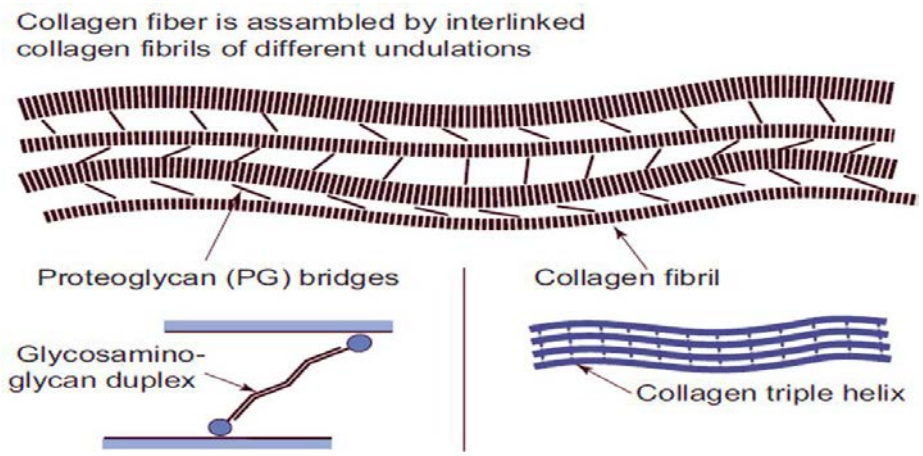


Патологически изменённая стенка аорты

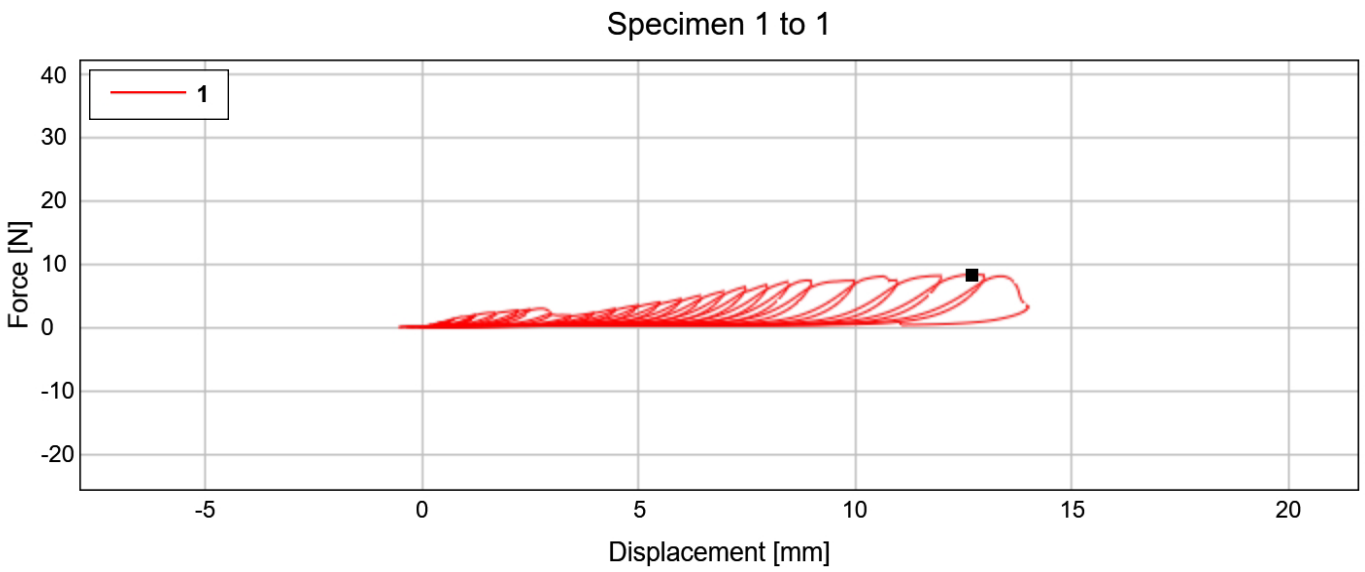
Структура стенки и механика

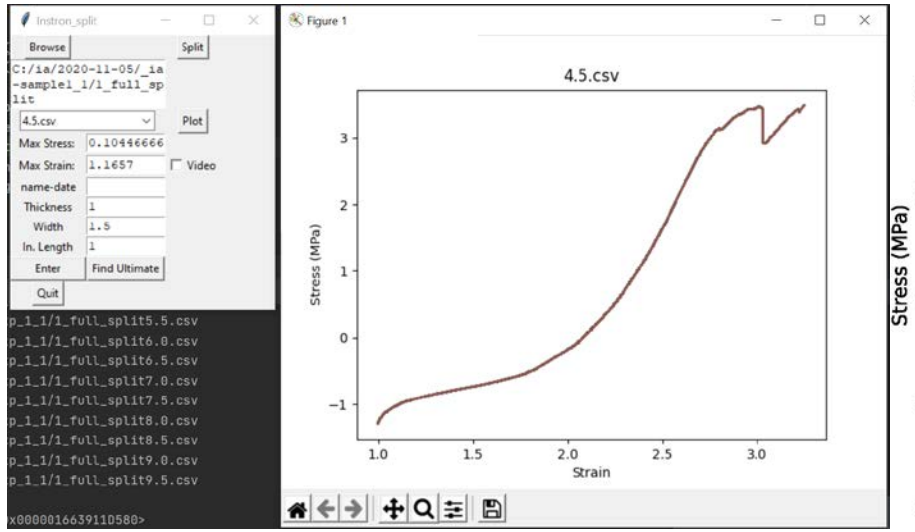


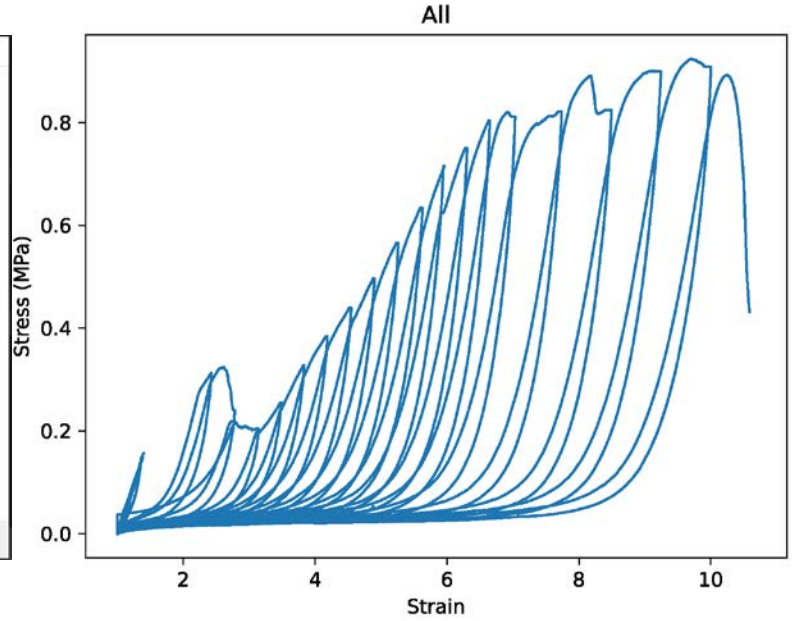




Результаты

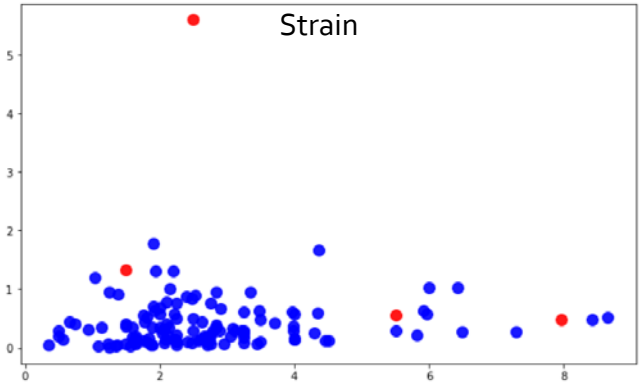

Specimen 1 to 1
1
Force [N]
Displacement [mm]
40
30
20
10
0
-10
-20
-5
0
5
10
15
20

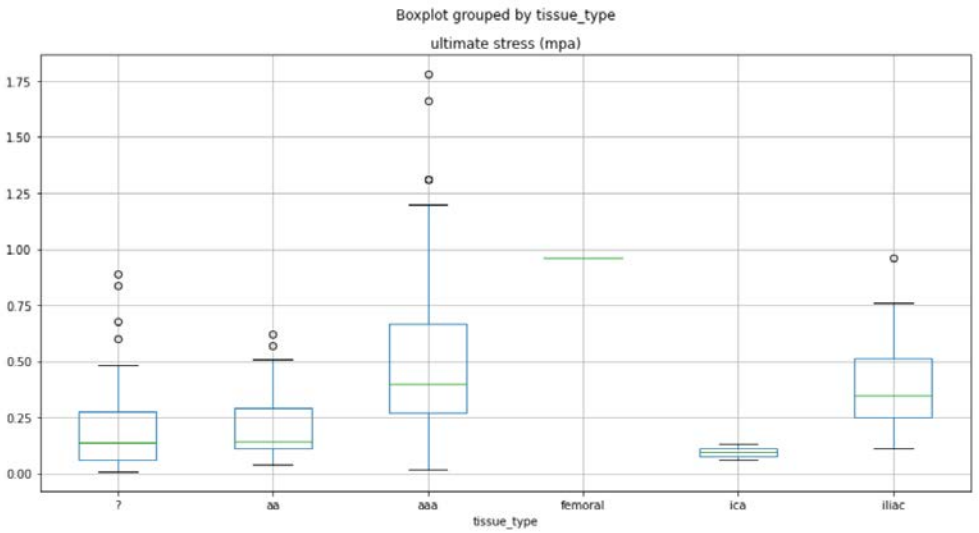

Instron_split
Browse
Split
C:/ia/2020-11-05/_ia-sample1_1/1_full_split
4.5.csv
Plot
Max Stress: 0.10446666
Max Strain: 1.1657
Video
name-date
Thickness 1
Width 1.5
In. Length 1
Enter
Find Ultimate
Quit
p_1_1/1_full_split5.5.csv
p_1_1/1_full_split6.0.csv
p_1_1/1_full_split6.5.csv
p_1_1/1_full_split7.0.csv
p_1_1/1_full_split7.5.csv
p_1_1/1_full_split8.0.csv
p_1_1/1_full_split8.5.csv
p_1_1/1_full_split9.0.csv
p_1_1/1_full_split9.5.csv
x0000016639110580>
Figure 1
4.5.csv
Stress (MPa)
Strain
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0

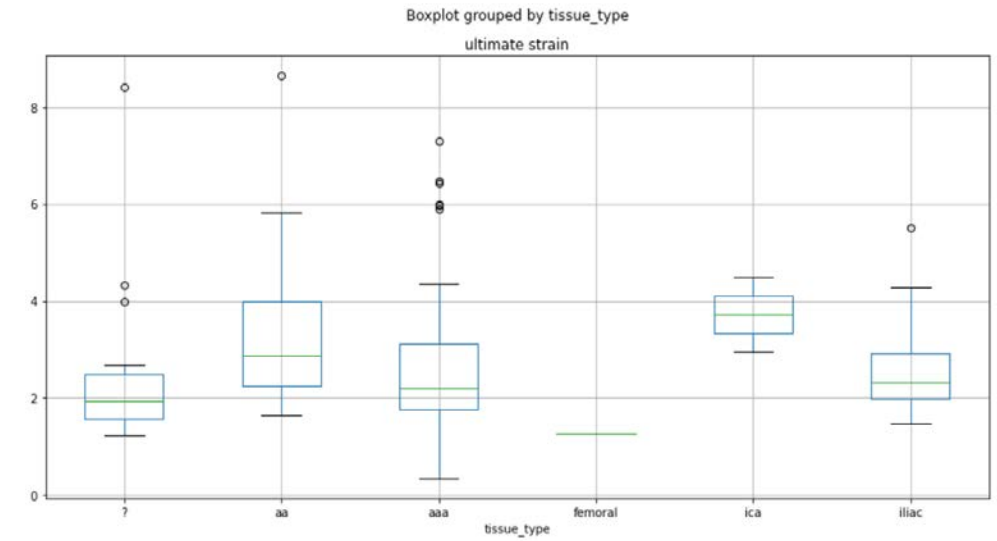

All
Stress (MPa)
Strain
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
2
4
6
8
10

Результаты (статистика)

Stress (MPa)

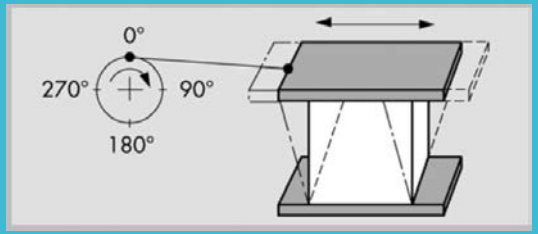


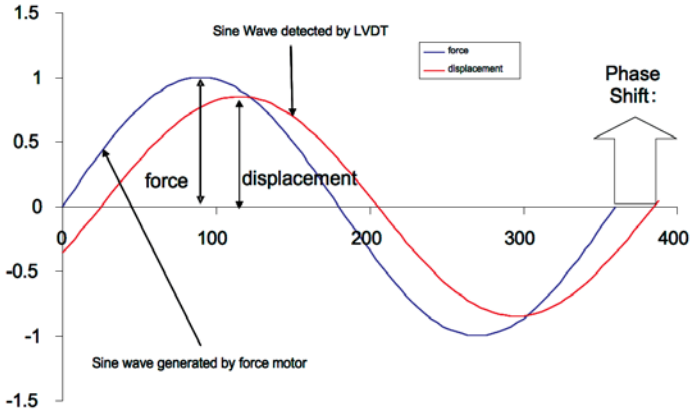


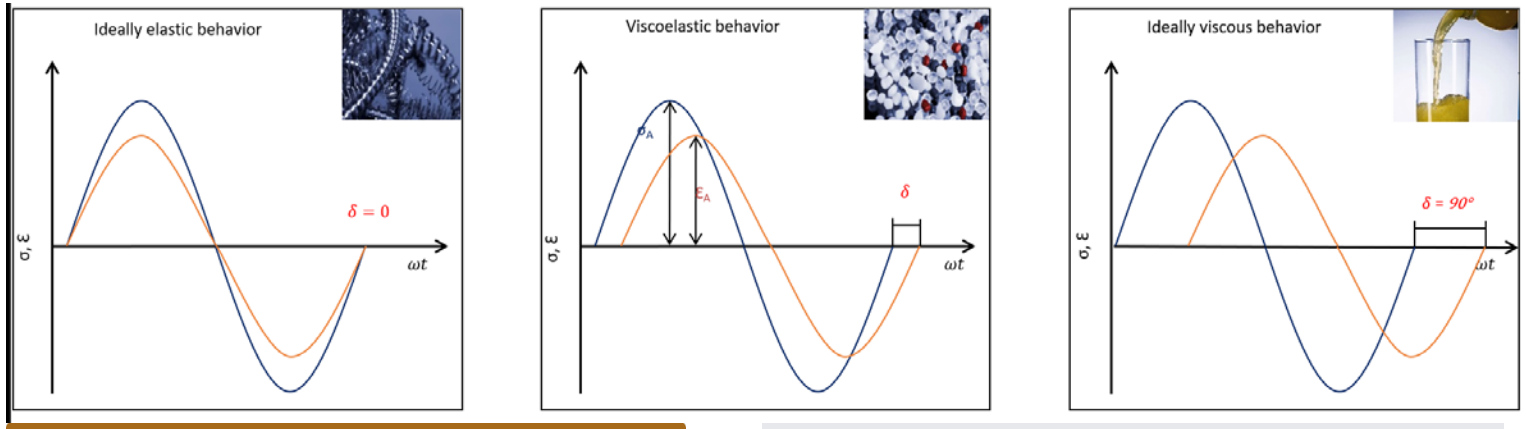


Совместно с Бесовым А.С
Лаборатория экспериментальной прикладной гидродинамики ИГиЛ СО РАН

Реометр Anton Paar MCR 702







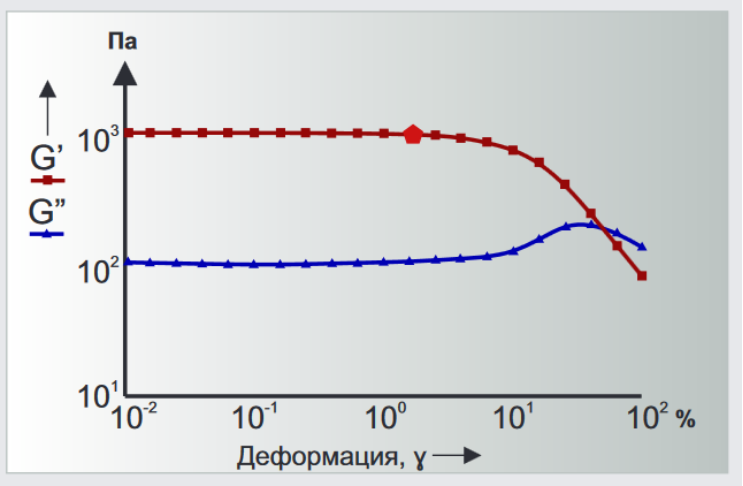
Strain: $\varepsilon(t) = \varepsilon_0 \sin(\omega t)$

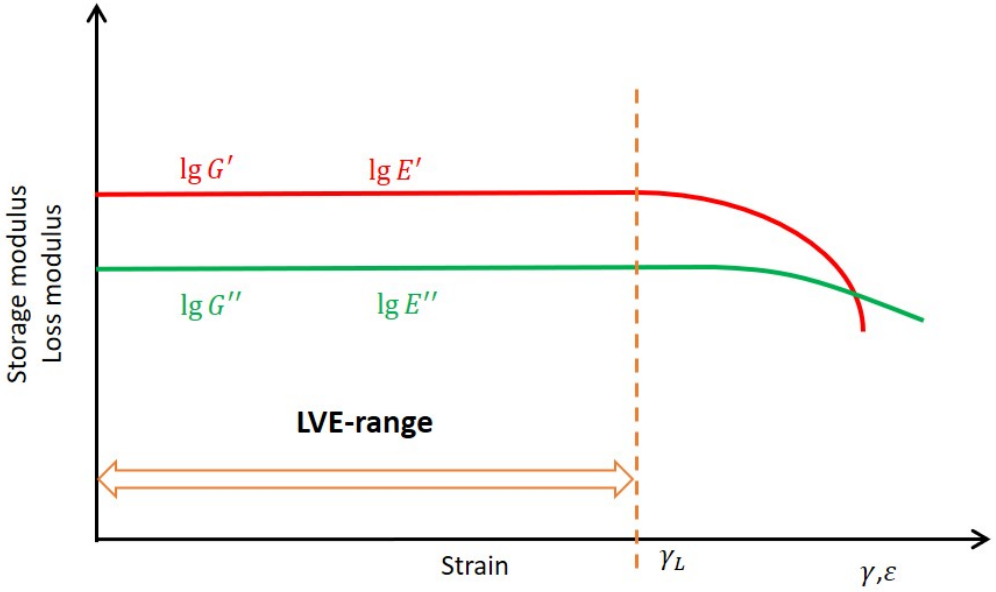
Stress: $\sigma(t) = \sigma_0 \sin(\omega t + \delta)$

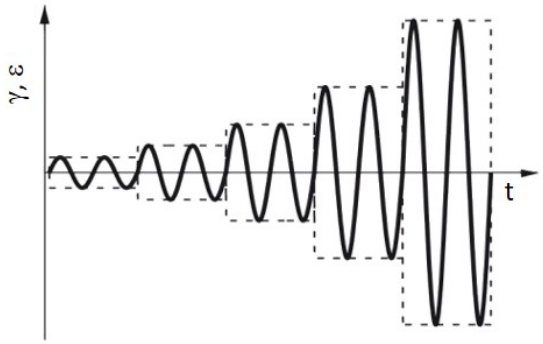
Complex Modulus: $E^* = E' + iE''$

$$|E^*| = \sqrt{E'^2 + E''^2} = \frac{\sigma_A}{\varepsilon_A}$$

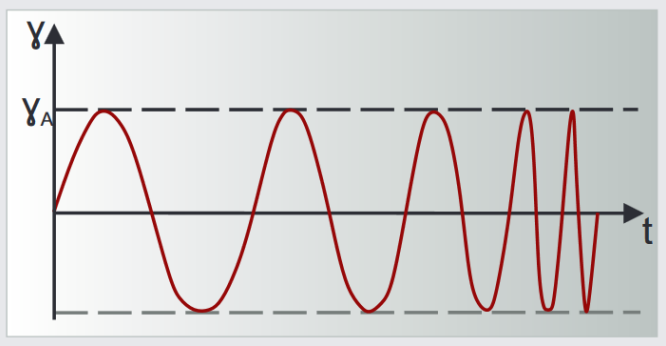
Loss factor: $tan\delta = \frac{E''}{E'}$







Амплитудный тест

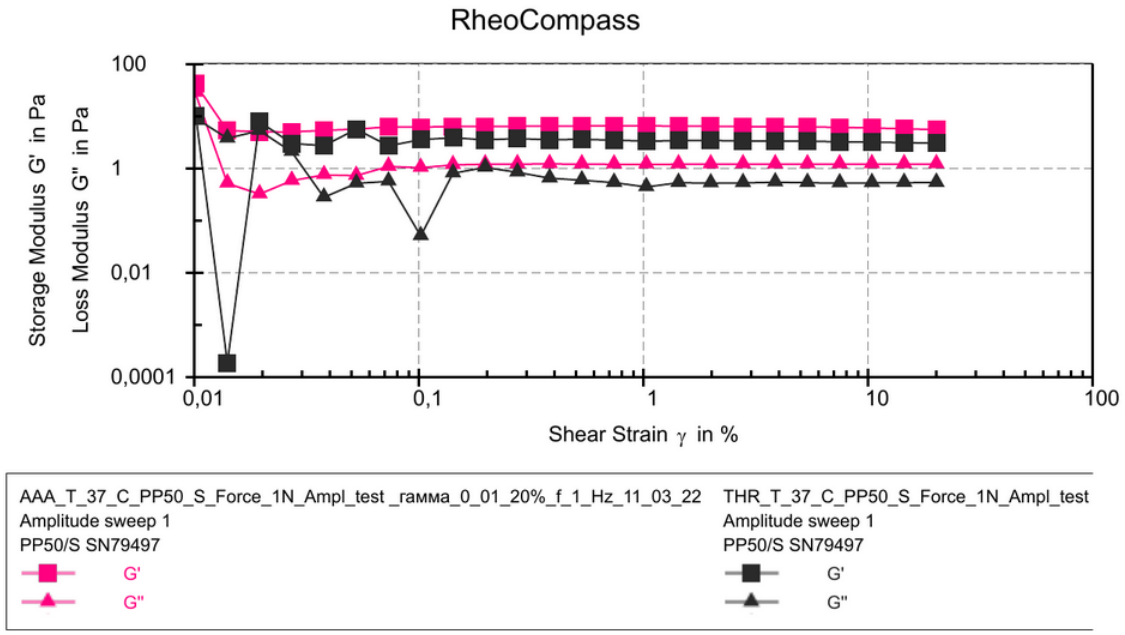


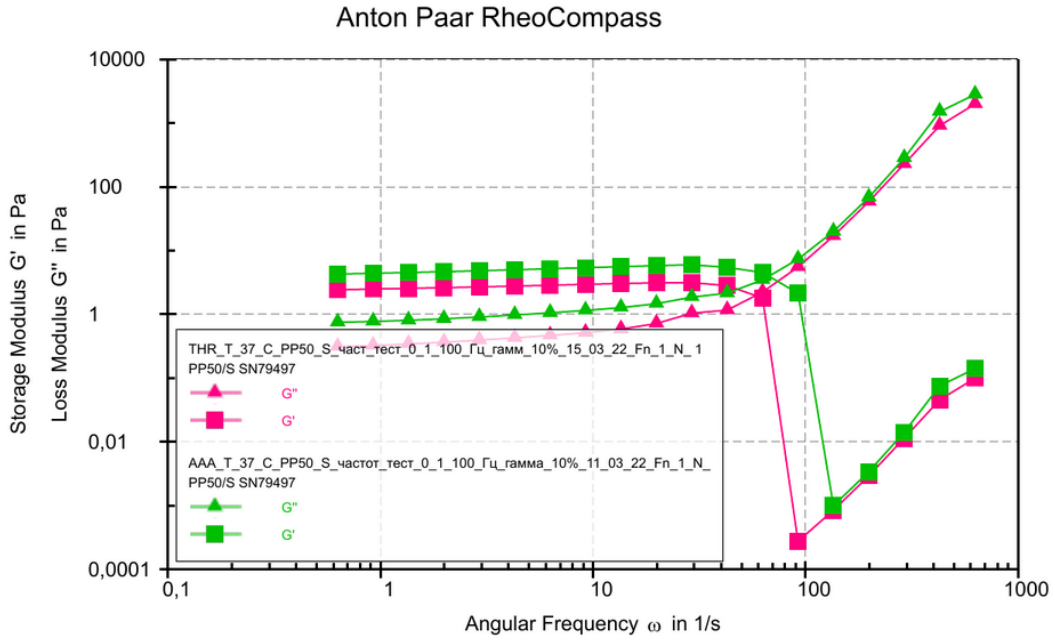
Частотный тест

Режим частотной развертки используется для исследования поведения образцов при различном времени воздействия. Задание колебаний высокой частоты с оответствует короткому времени воздействия, а низкой – длительному воздействию. Вид кривых G' и G″ дает информацию о внутренней структуре образца.

Измерения в осцилляционном режиме дают уникальную информацию о реологических характеристиках образца, благодаря возможности выделения упругой и вязкой составляющих.
Упругий модуль (модуль накоплений) G' характеризует накопленную энергию деформации в системе, и отражает характеристики образца как твердого тела (упругая составляющая).
Величина вязкого модуля (модуля потерь) G'' определяет диссипацию энергии, и отвечает за поведение образца как жидкости (вязкая составляющая).

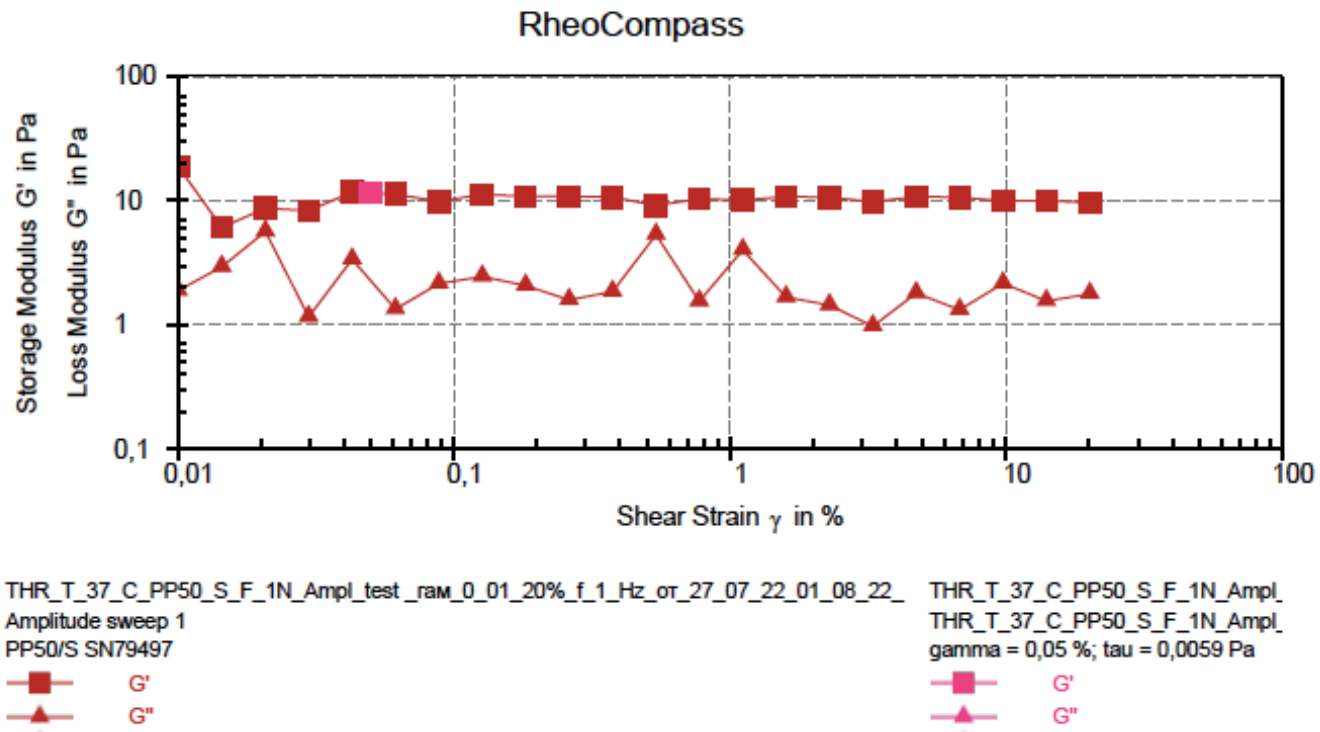
Реометрия. Результаты (ААА+тромб)

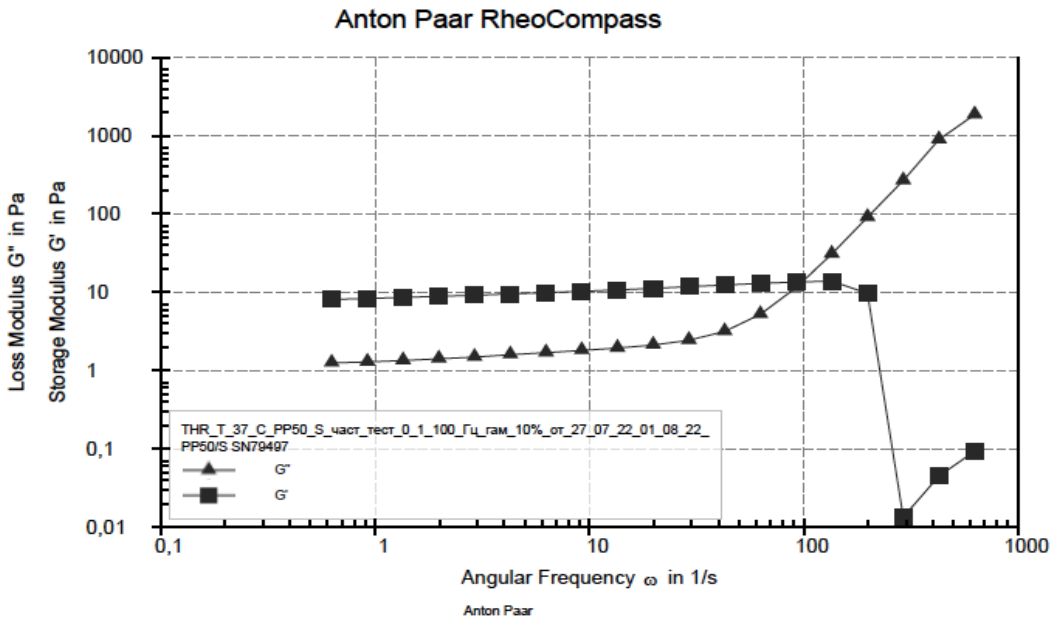




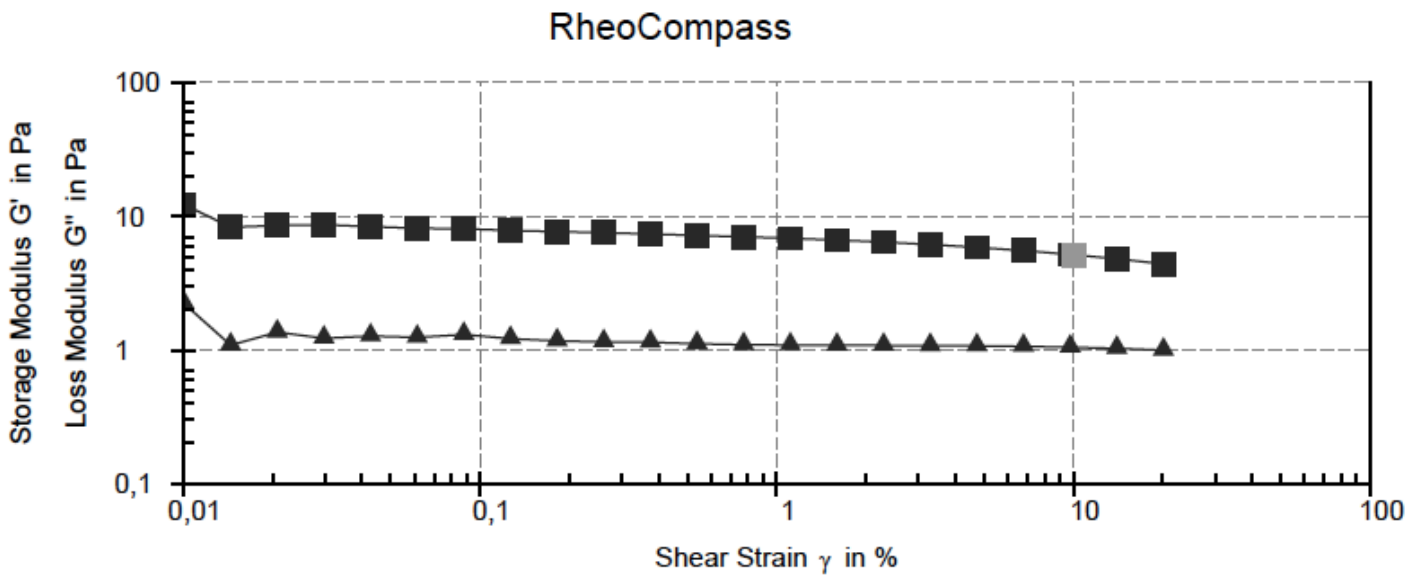
$$\omega = 2\pi\nu.$$

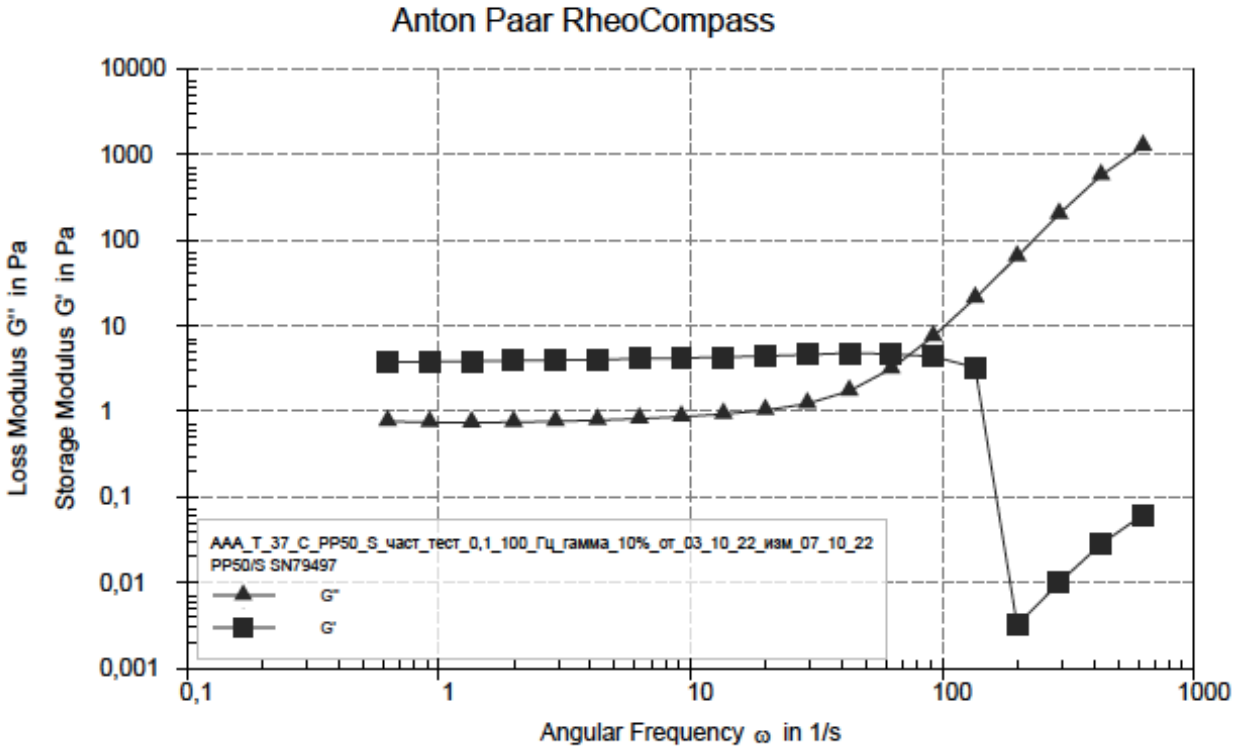
Тромб


RheoCompass
Storage Modulus G' in Pa
Loss Modulus G" in Pa
100
10
1
0,1
0,01
0,1
1
10
100
Shear Strain γ in %
THR_T_37_C_PP50_S_F_1N_Ampl_test _гам_0_01_20%_f_1_Hz_от_27_07_22_01_08_22_
Amplitude sweep 1
PP50/S SN79497
G'
G"
THR_T_37_C_PP50_S_F_1N_Ampl_
THR_T_37_C_PP50_S_F_1N_Ampl_
gamma = 0,05 %; tau = 0,0059 Pa
G'
G"

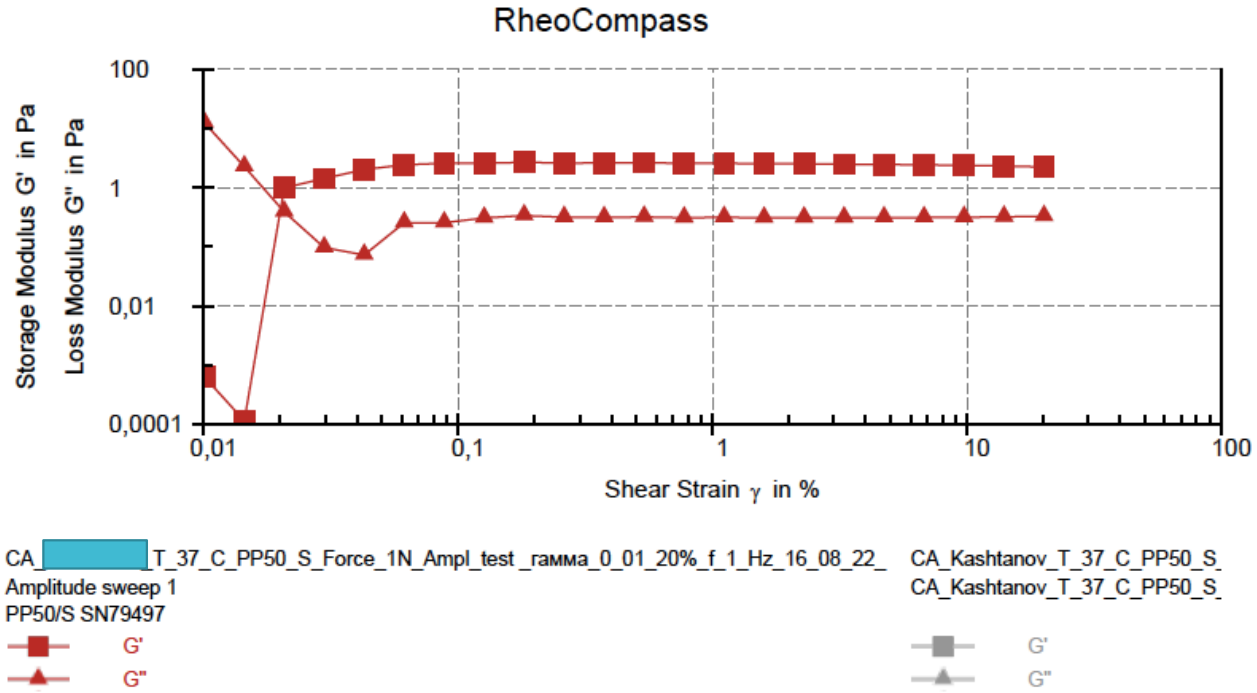

Anton Paar RheoCompass
Loss Modulus G" in Pa
Storage Modulus G' in Pa
10000
1000
100
10
1
0,1
0,01
0,1
1
10
100
1000
Angular Frequency ω in 1/s
THR_T_37_C_PP50_S_част_тест_0_1_100_Гц_гам_10%_от_27_07_22_01_08_22_
PP50/S SN79497
G"
G'
Anton Paar

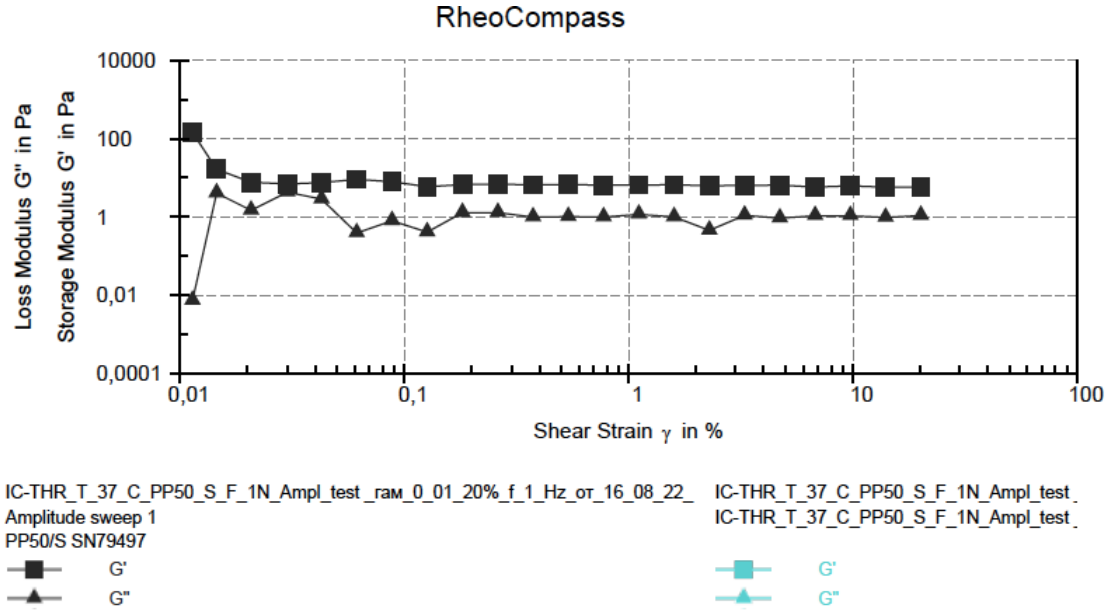
Аневризма АА



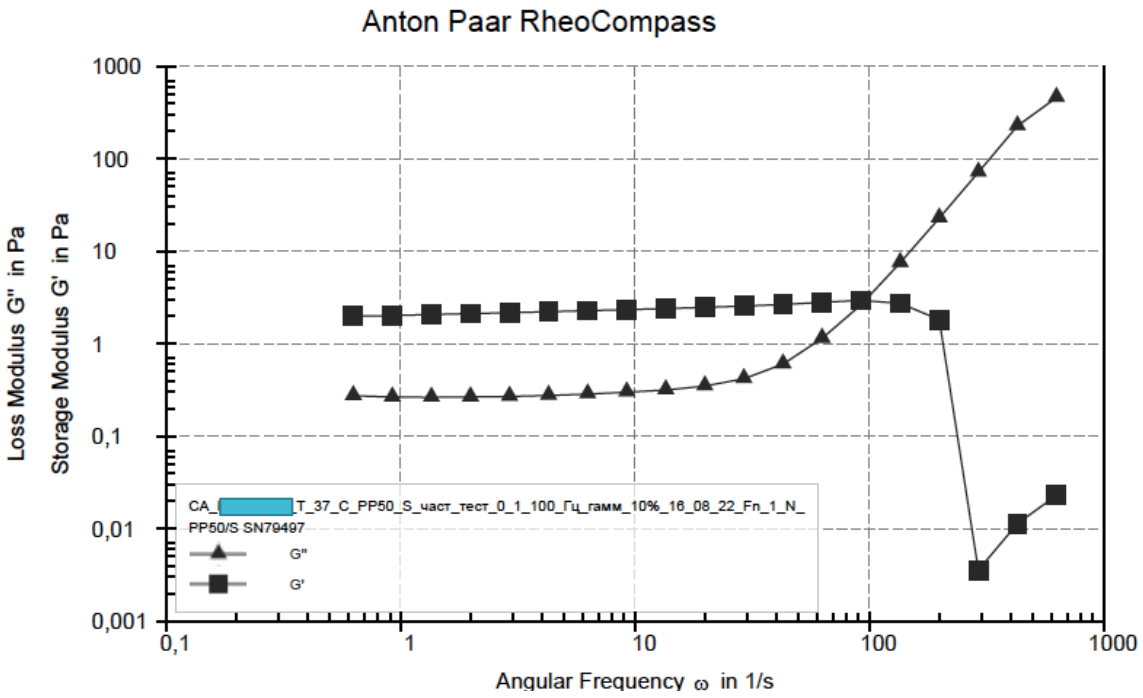


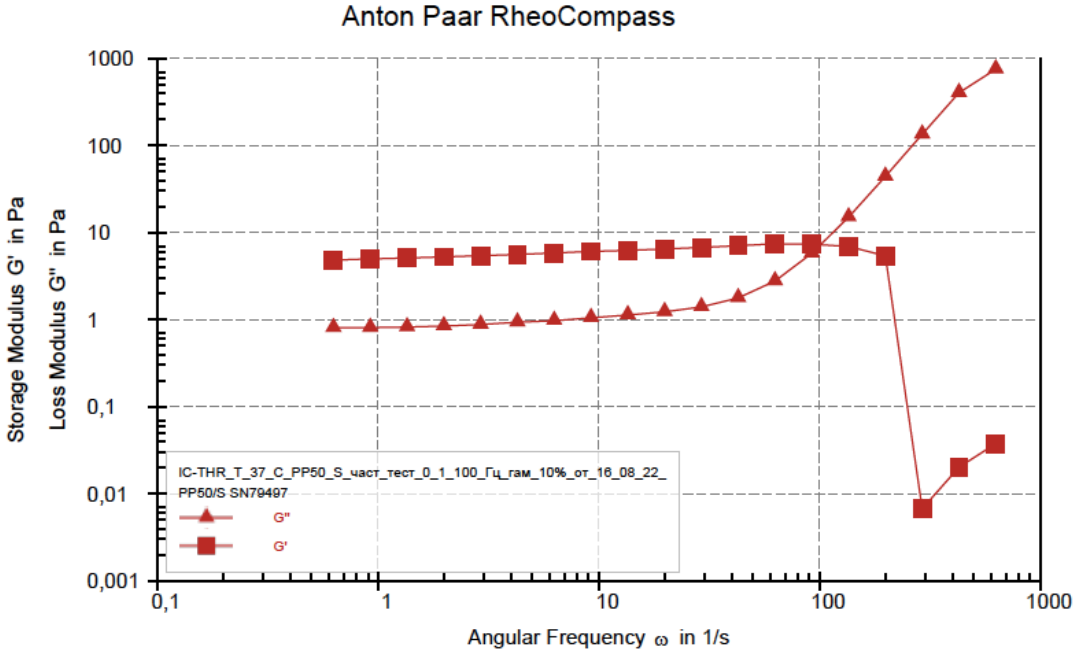
ЦА


RheoCompass
Storage Modulus G' in Pa
Loss Modulus G'' in Pa
100
1
0,01
0,0001
0,01
0,1
1
10
100
Shear Strain γ in %
CA_ _T_37_C_PP50_S_Force_1N_Ampl_test _гамма_0_01_20%_f_1_Hz_16_08_22_
Amplitude sweep 1
PP50/S SN79497
G'
G''
CA_Kashtanov_T_37_C_PP50_S_
CA_Kashtanov_T_37_C_PP50_S_
G'
G''

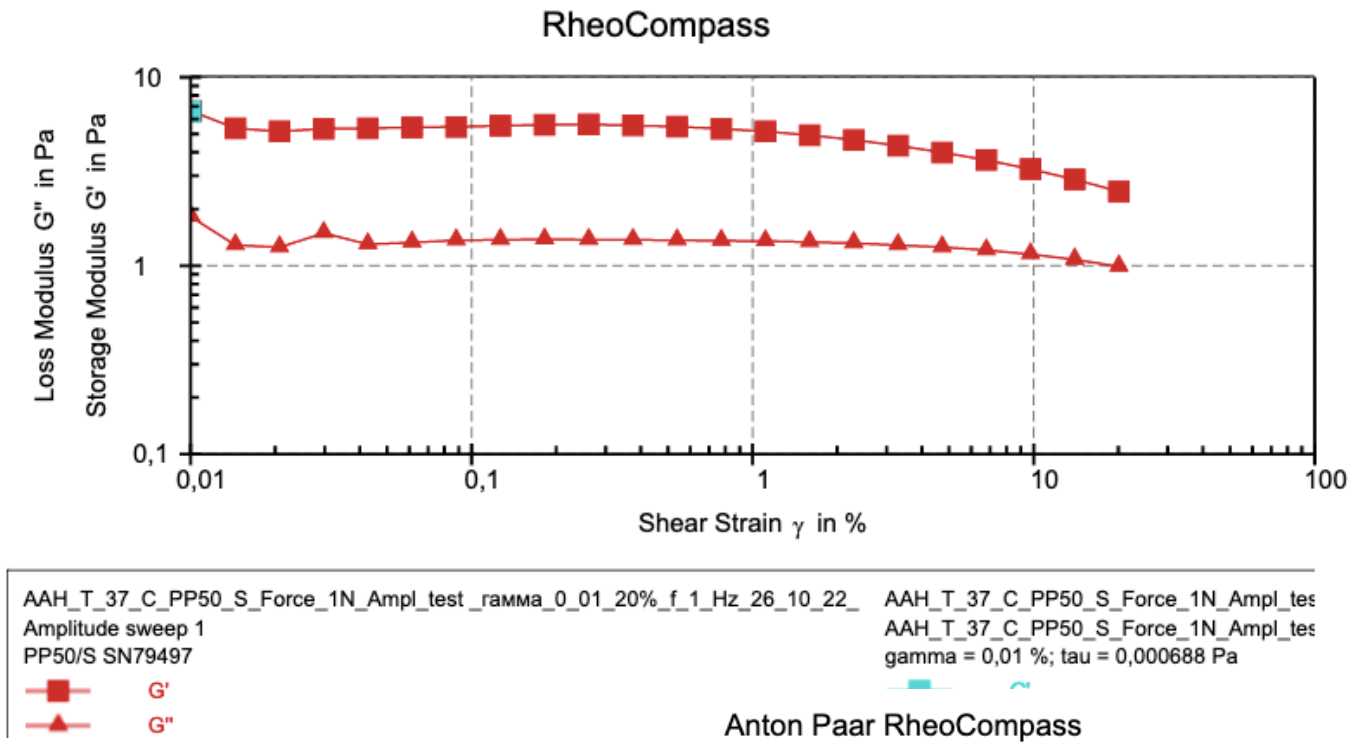

RheoCompass
Loss Modulus G'' in Pa
Storage Modulus G' in Pa
10000
100
1
0,01
0,0001
0,01
0,1
1
10
100
Shear Strain γ in %
IC-THR_T_37_C_PP50_S_F_1N_Ampl_test _гам_0_01_20%_f_1_Hz_от_16_08_22_
Amplitude sweep 1
PP50/S SN79497
G'
G''
IC-THR_T_37_C_PP50_S_F_1N_Ampl_test _
IC-THR_T_37_C_PP50_S_F_1N_Ampl_test _
G'
G''

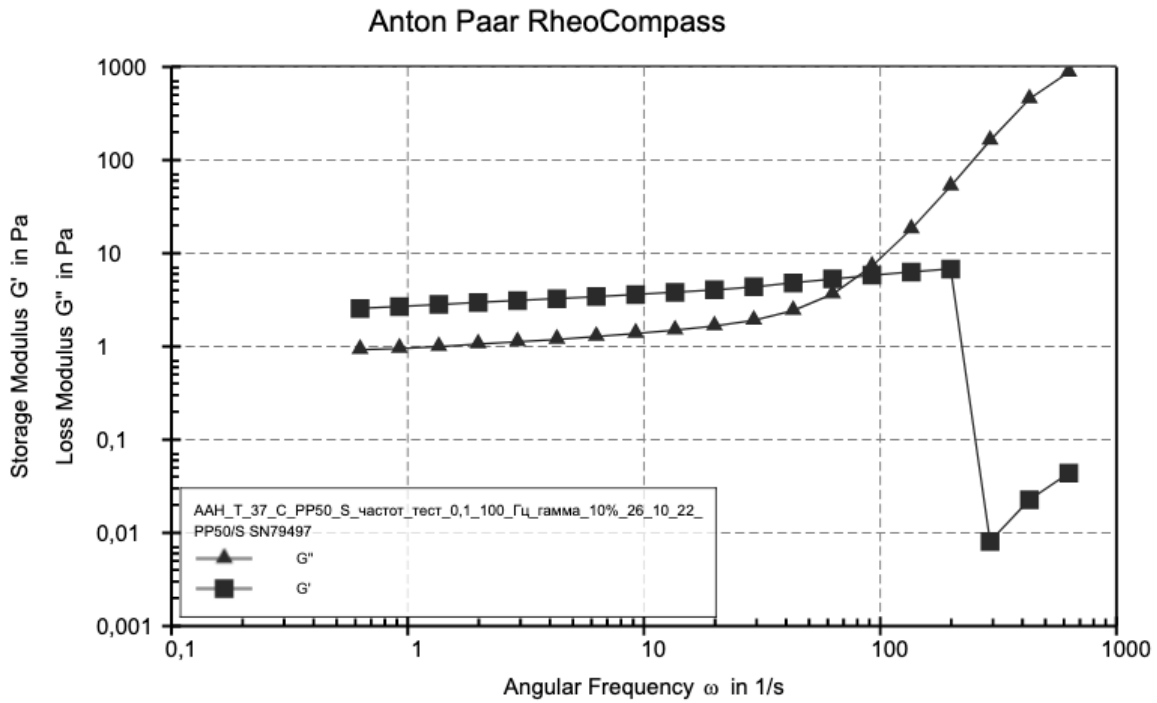
ЦА


Anton Paar RheoCompass
Loss Modulus G'' in Pa
Storage Modulus G' in Pa
1000
100
10
1
0,1
0,01
0,001
0,1
1
10
100
1000
Angular Frequency ω in 1/s
CA_ T_37_C_PP50_S_част_тест_0_1_100_Гц_гамм_10%_16_08_22_Fn_1_N_
PP50/S SN79497
G''
G'

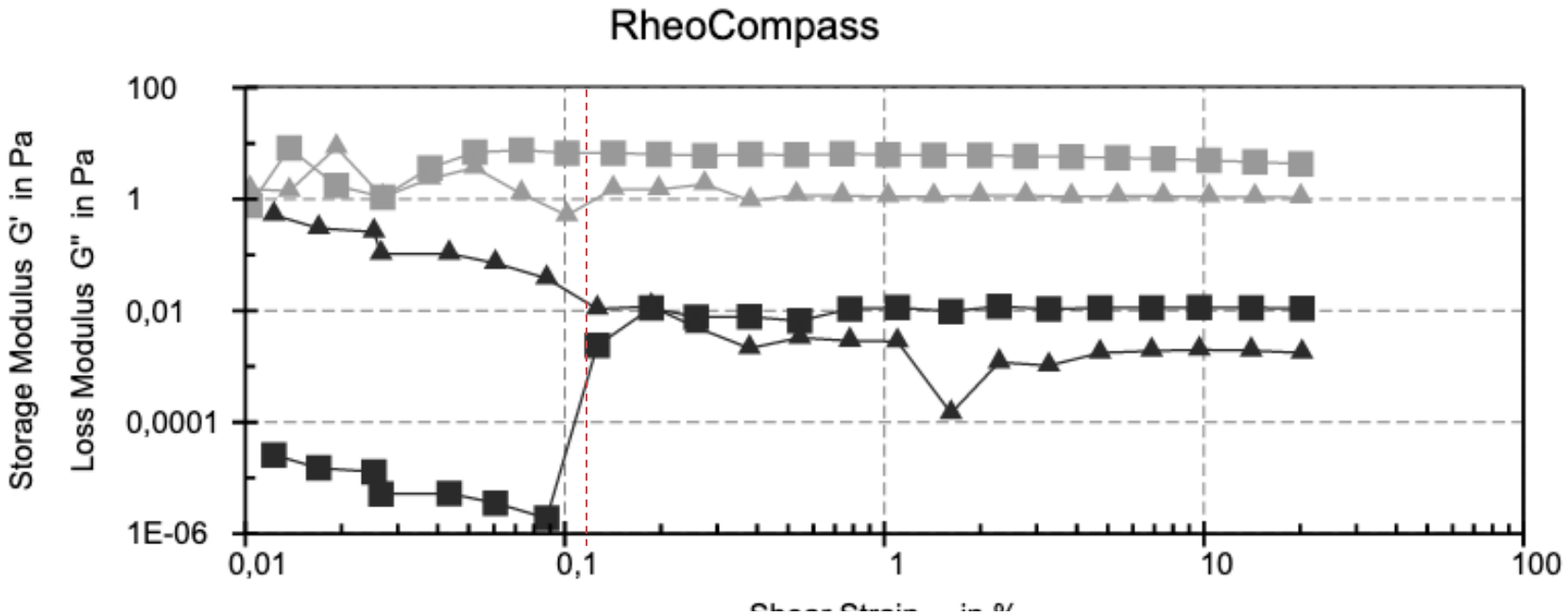

Anton Paar RheoCompass
Storage Modulus G' in Pa
Loss Modulus G'' in Pa
1000
100
10
1
0,1
0,01
0,001
0,1
1
10
100
1000
Angular Frequency ω in 1/s
IC-THR_T_37_C_PP50_S_част_тест_0_1_100_Гц_гам_10%_от_16_08_22_
PP50/S SN79497
G''
G'

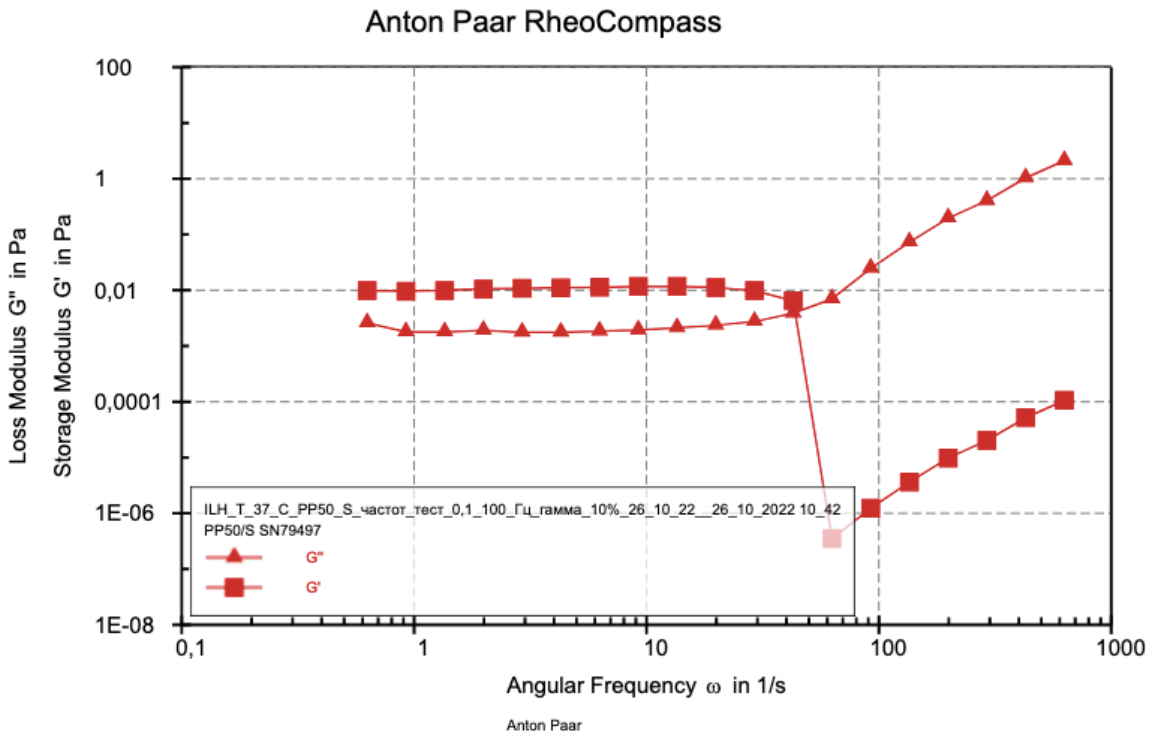
Здоровая ткань



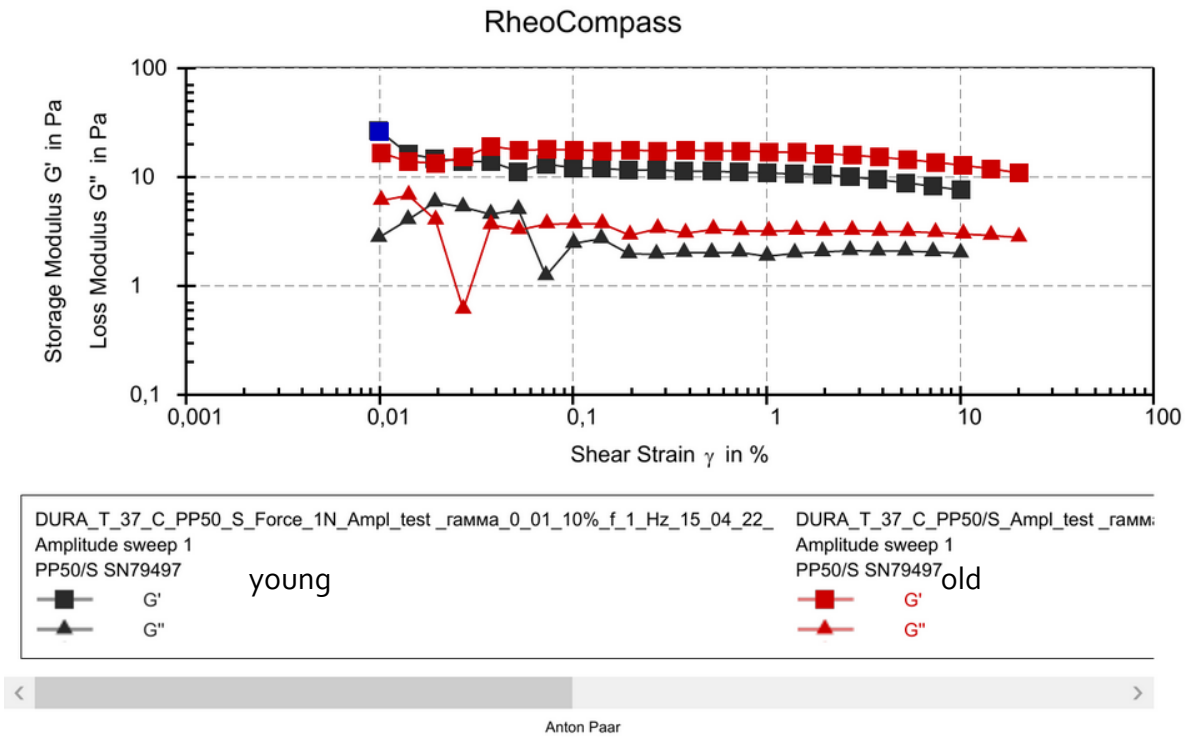


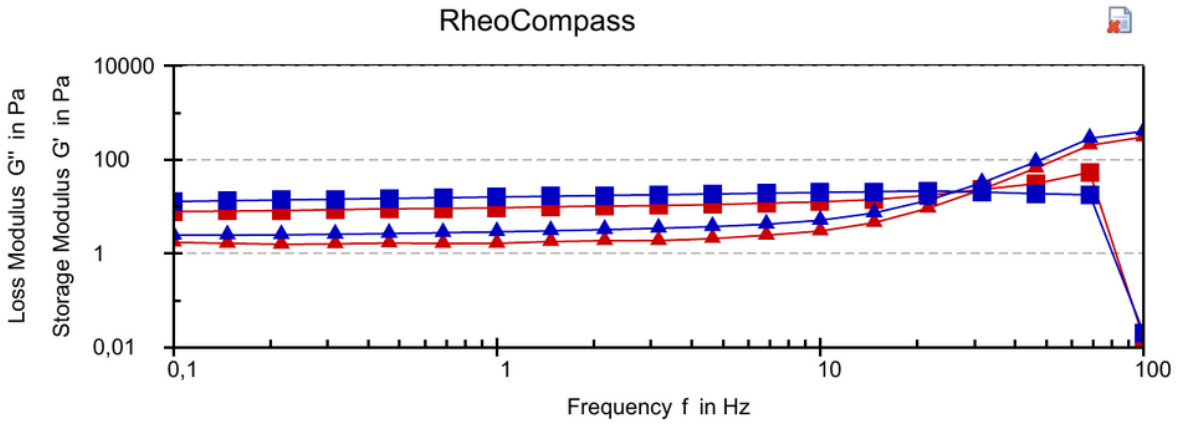
Здоровая ткань (ПА)





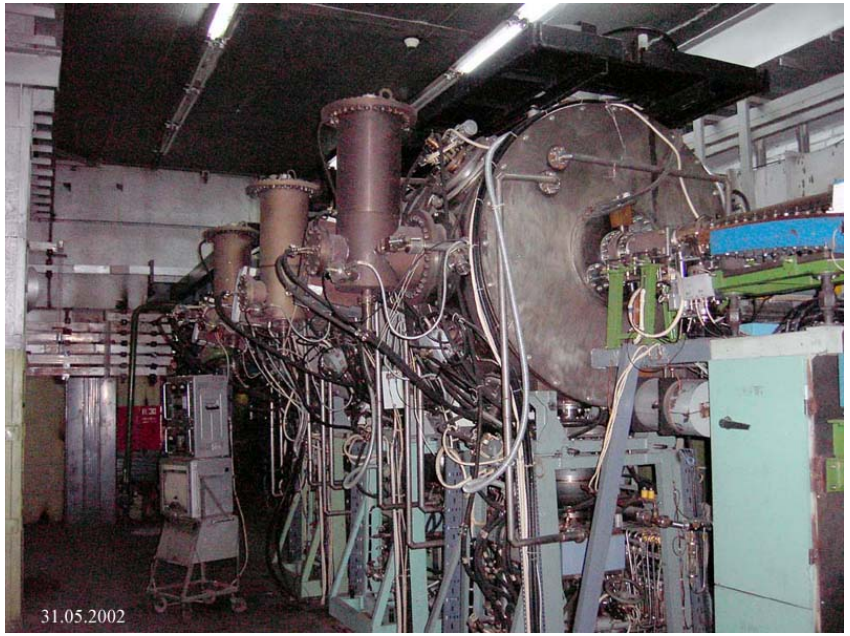
Результаты (ТМО)



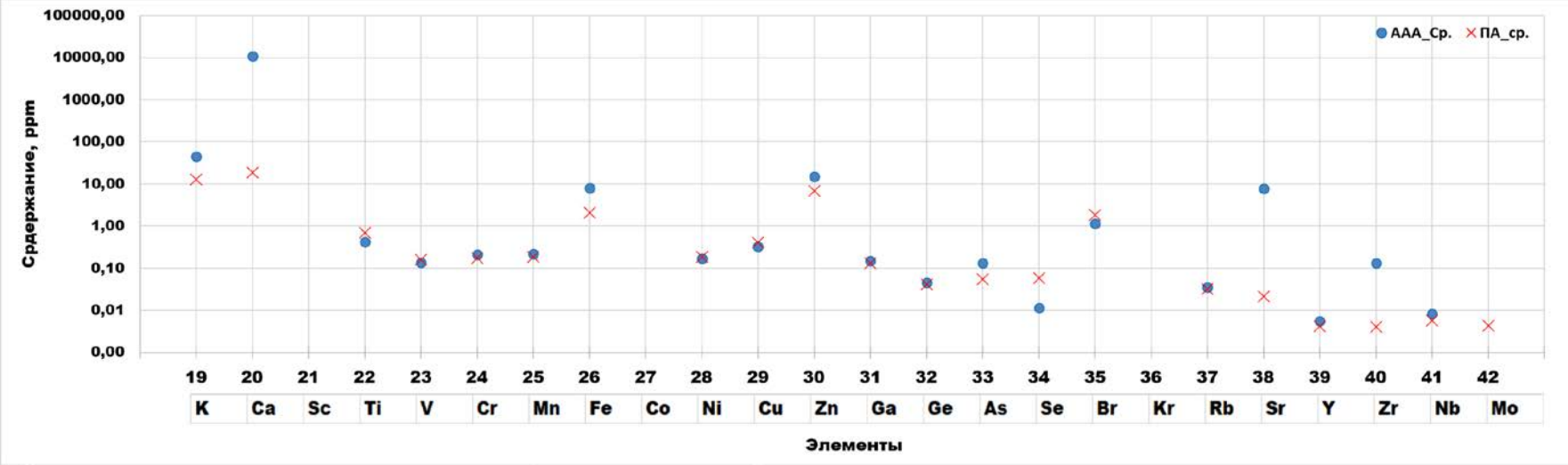


old
young

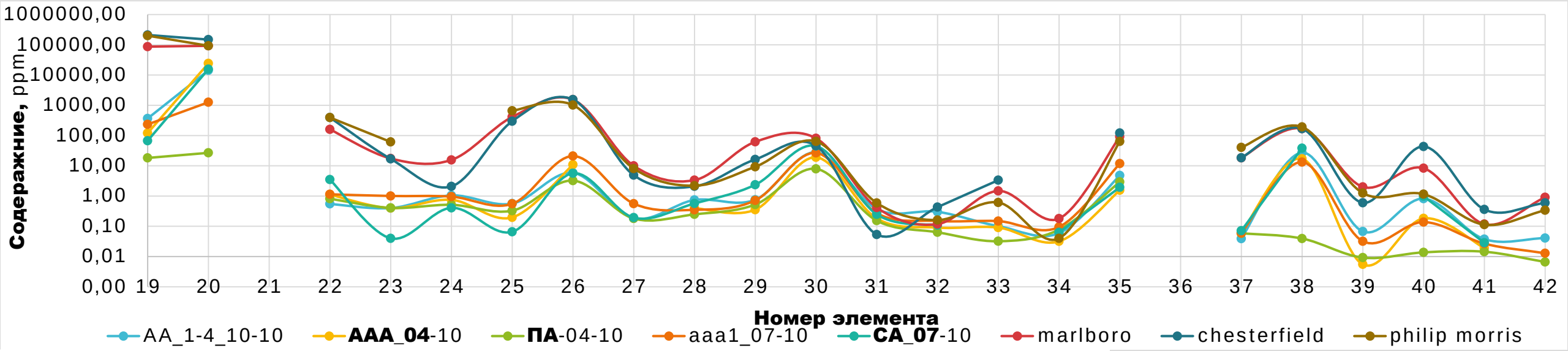
Использование синхротронного излучения



Метод рентгенофлуоресцентного анализа с использованием синхротронного излучения (РФА-СИ) позволяет проводить прямой неразрушающий многоэлементный анализ образцов малой массы.

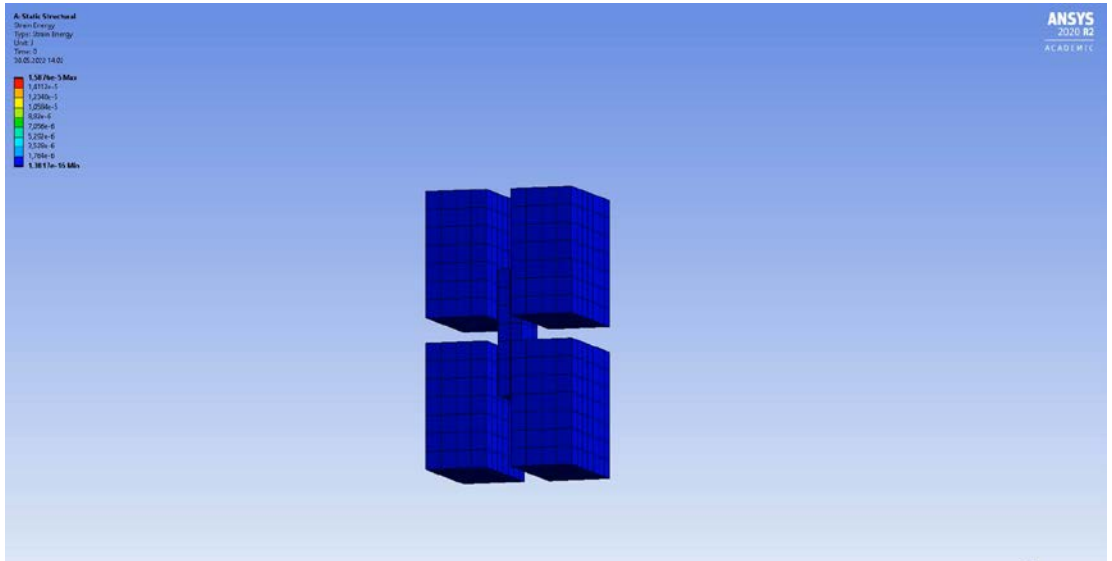


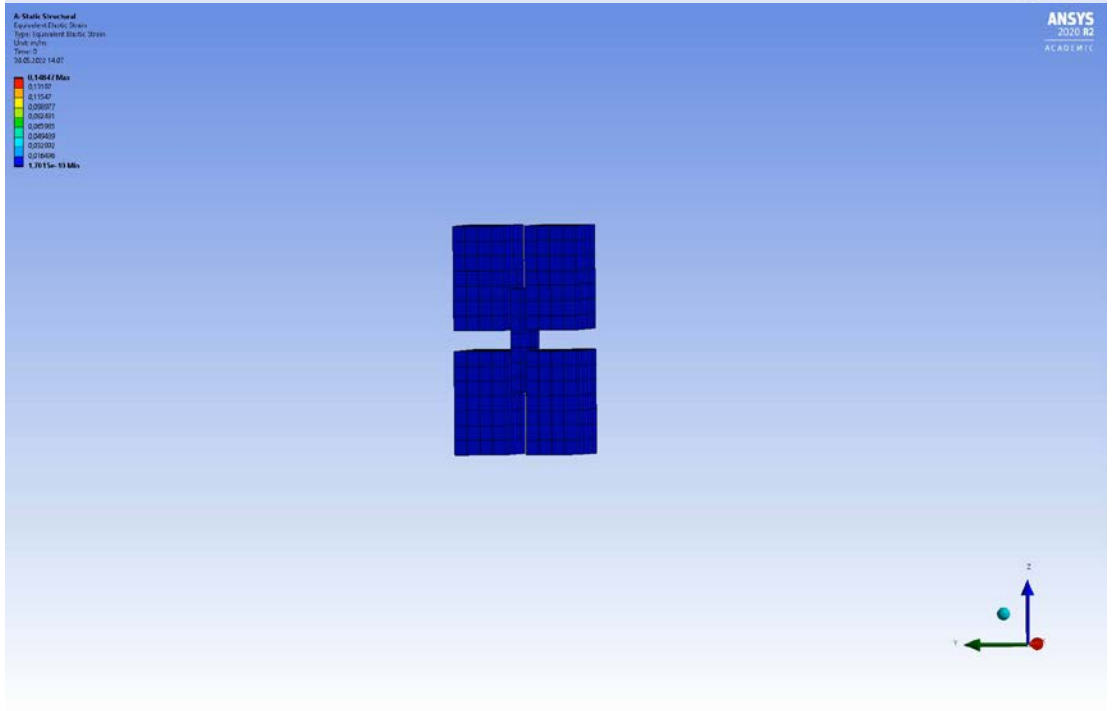
Все эксперименты проводились на станции элементного рентгенофлуоресцентного анализа на базе Сибирского Центра синхротронного излучения (ИЯФ СО РАН). Параметры накопительного кольца ВЭПП-3: $E_e = 2$ ГэВ, $B = 2$ Т, $I_e = 100$—200 мА.



K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42

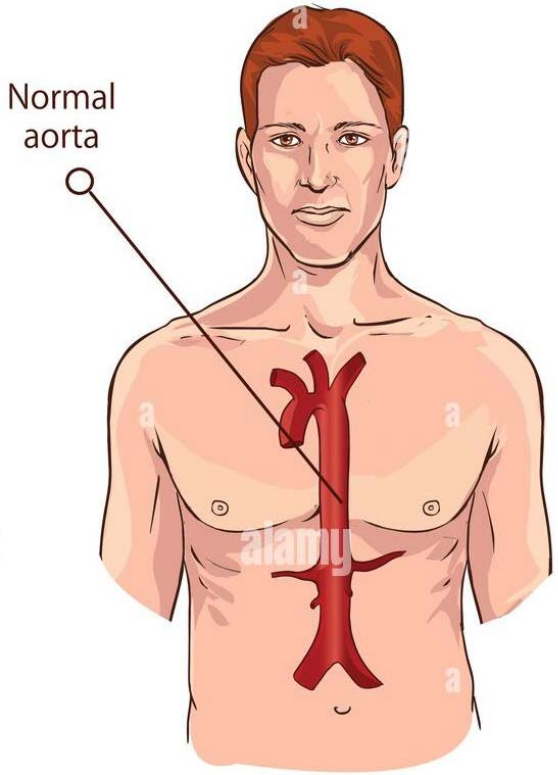
Моделирование в Ansys. Первые результаты





Спасибо за внимание!

Thank you for your attention!



Контакты:
lipovkaai@yandex.ru