

Математическое моделирование венозной гемодинамики нижних конечностей во время ходьбы



Аруева А.К. (МФТИ)
Симаков С.С. (МФТИ, Сеченовский университет)
**Таурагинский Р.А. (Научно-исследовательская лаборатория венозной
гемодинамики, “Флебоцентр, Калининград”),**
Бордэ А.С. (МГТУ им. Н.Э. Баумана),

01

ЗАДАЧИ

1.

Разработка структурной
модели по данным
исследования

Таурагинского Р.А.

2.

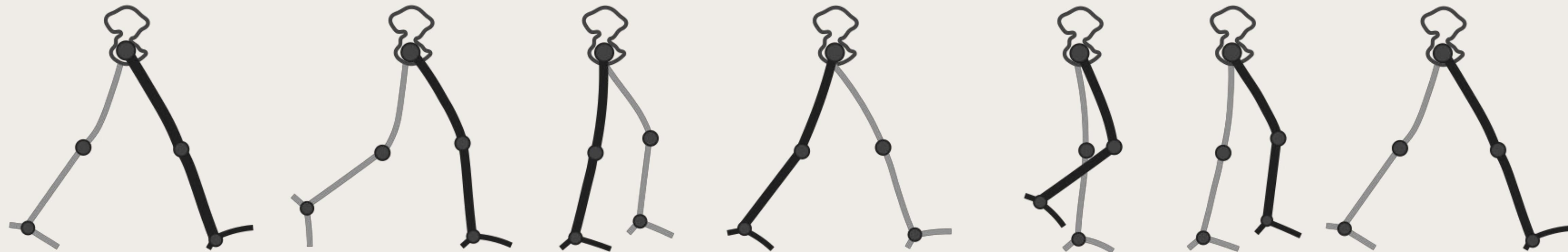
Моделирование
венозных клапанов и
мышечных
сокращений во
время ходьбы

3.

Подобрать параметры
модели для достижения
максимальной корреляции
с реальными данными

ФИЗИОЛОГИЯ ↓

2025



Н1

Расслабленное
состояние

Н2

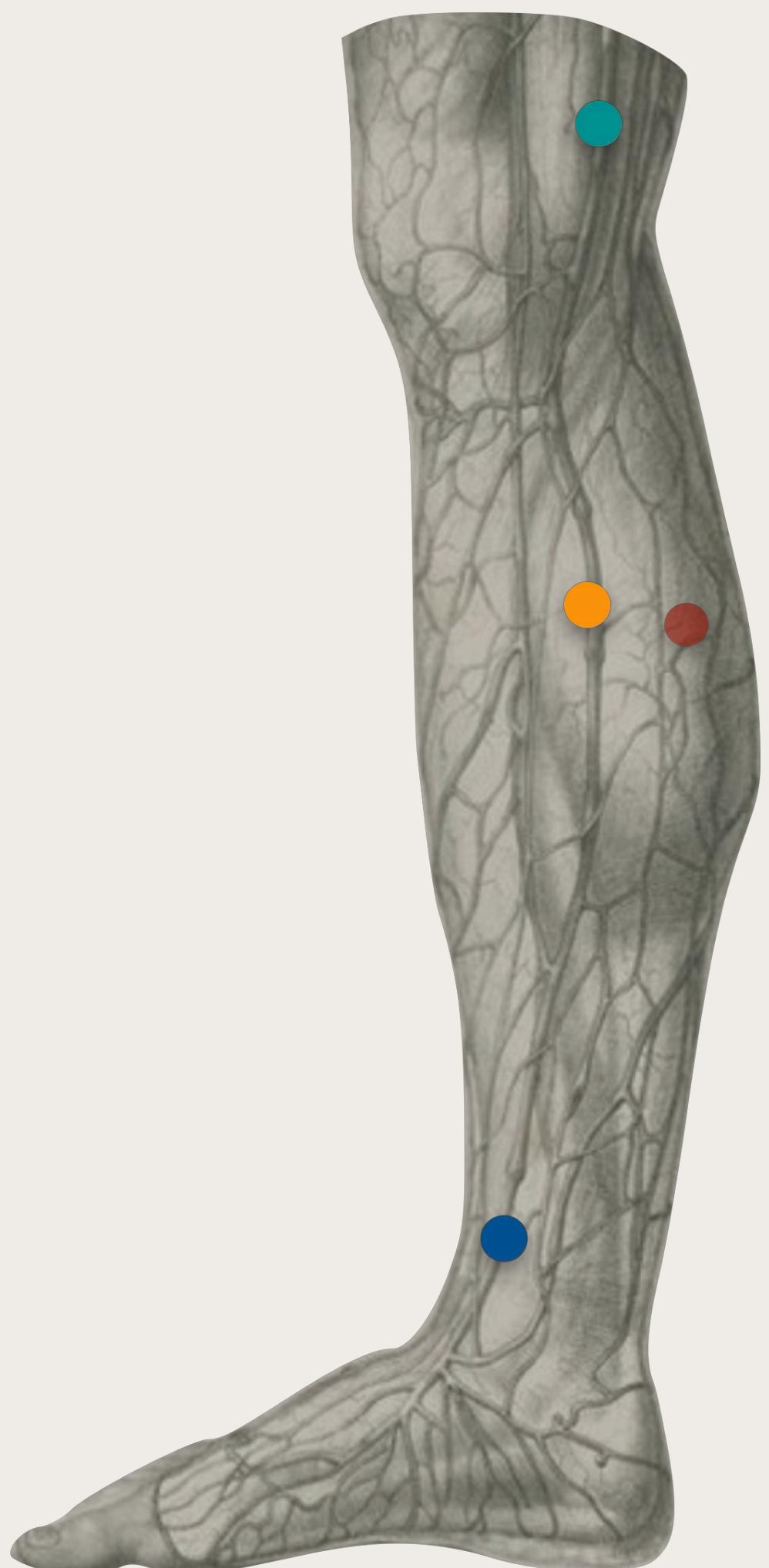
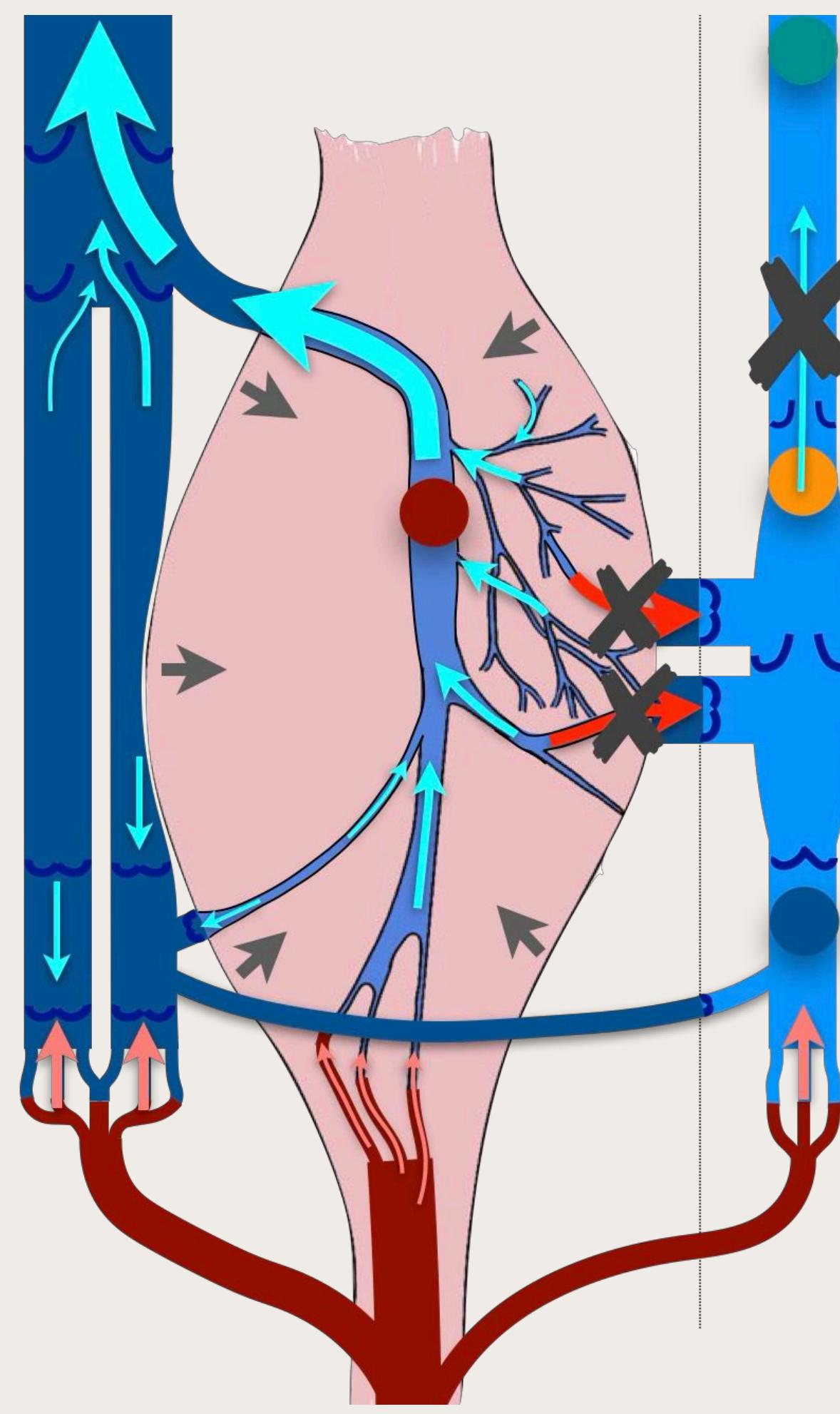
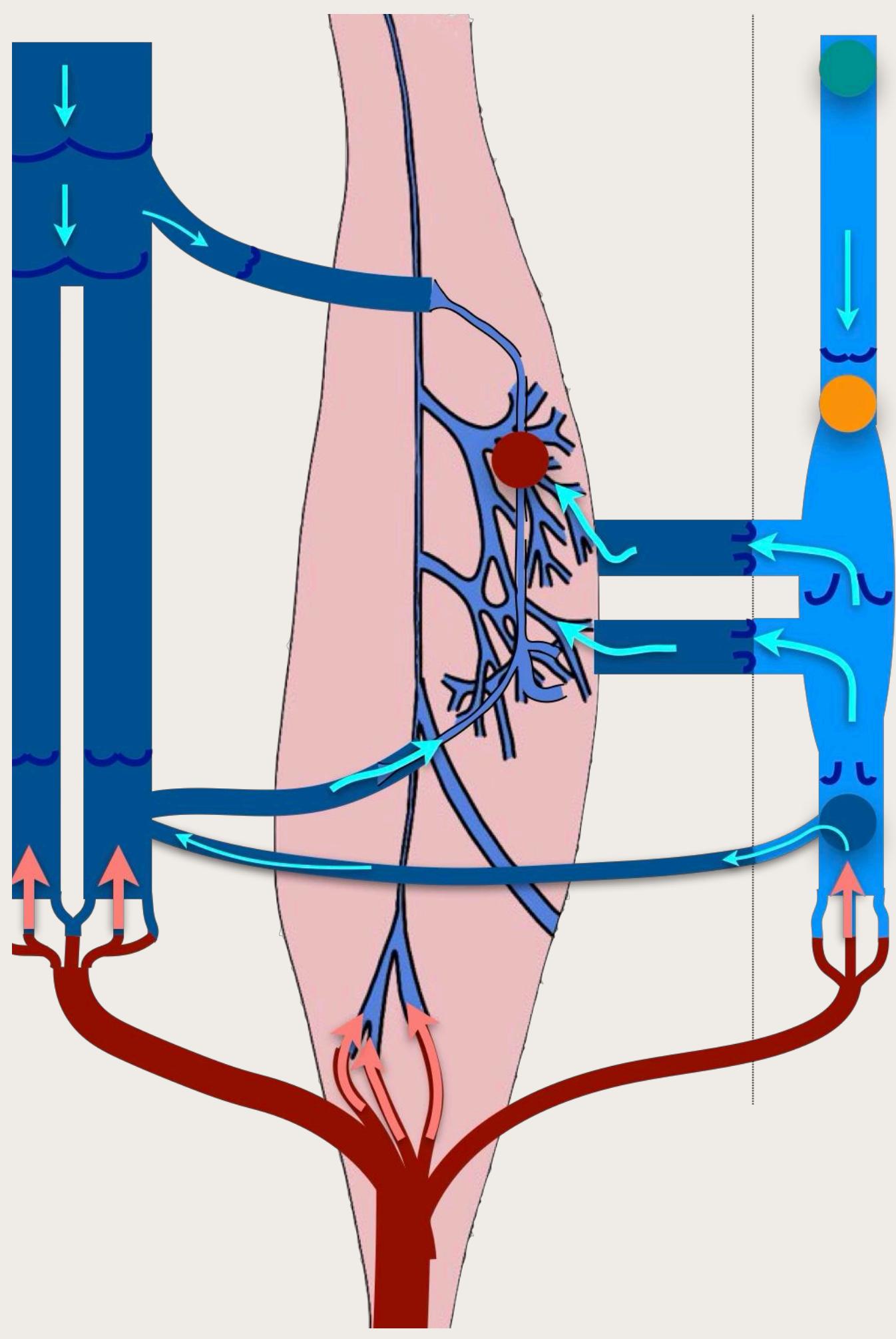
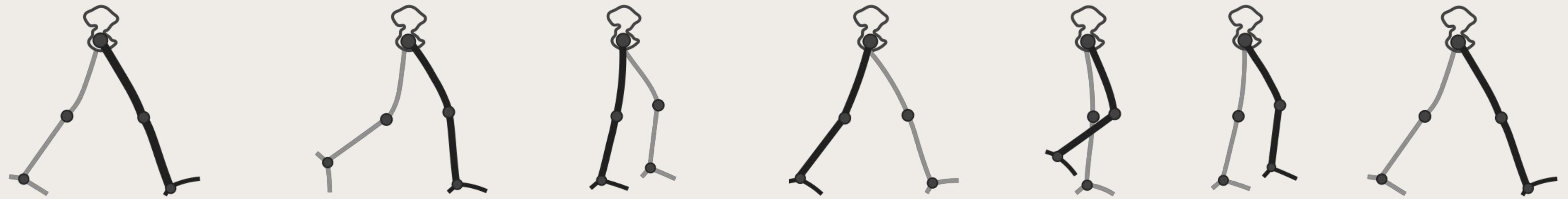
Эксцентрическое
сокращение

Н3

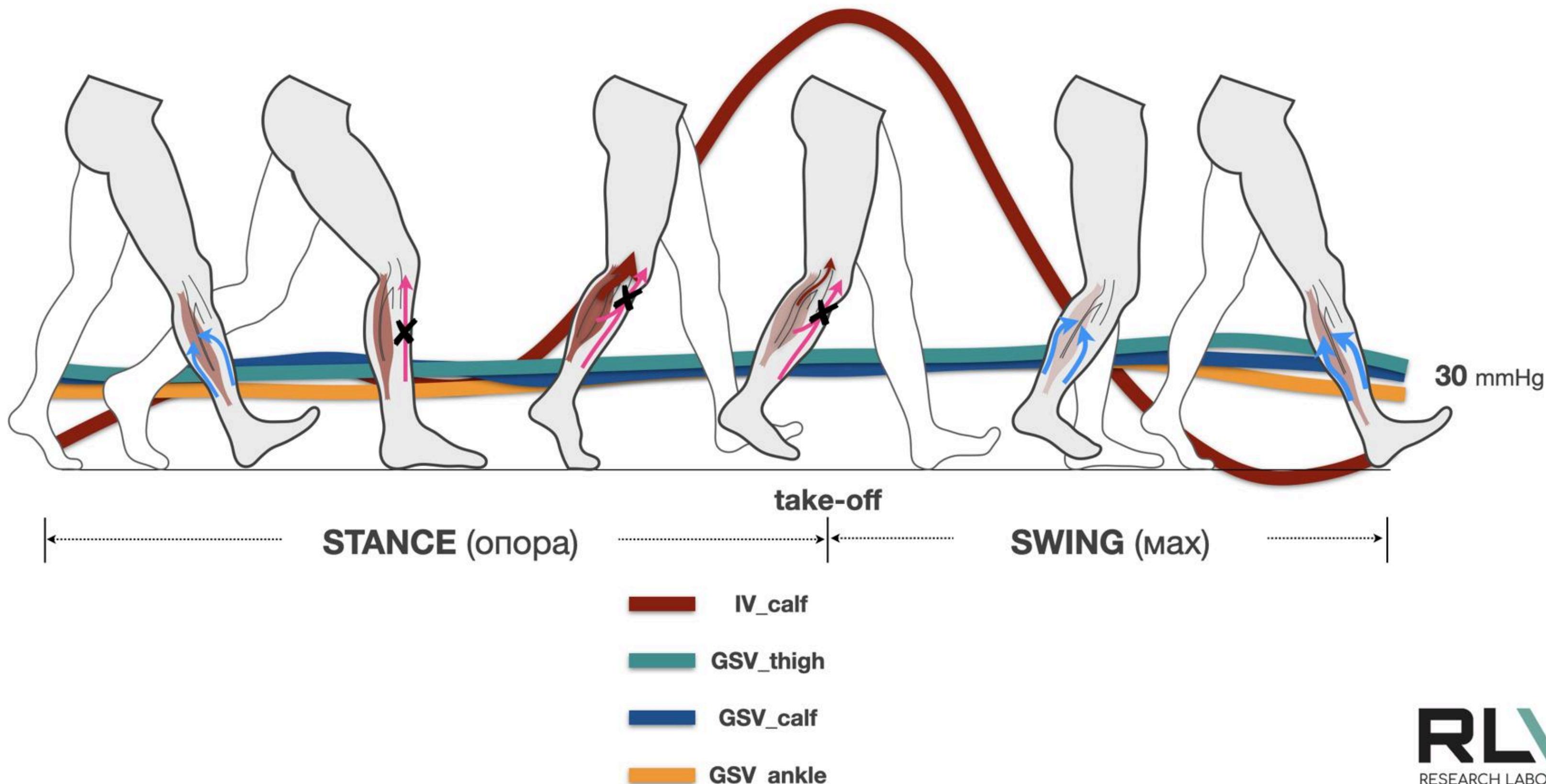
Концентрическое
сокращение

Н4

Расслабленное
состояние

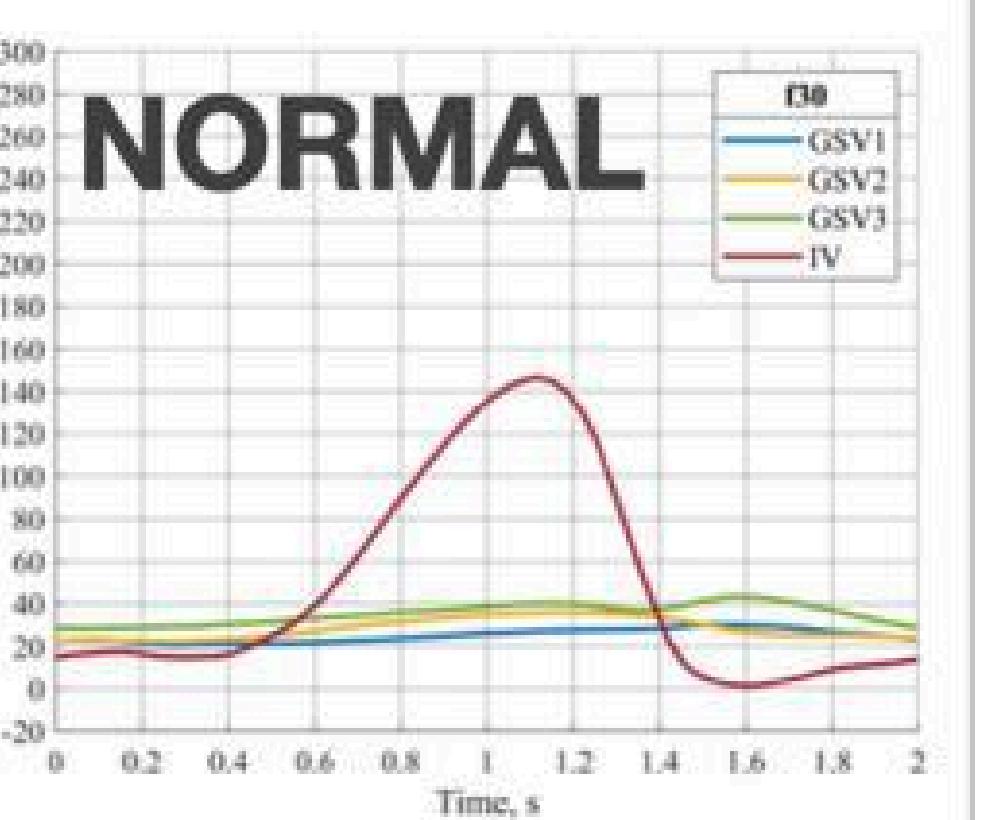
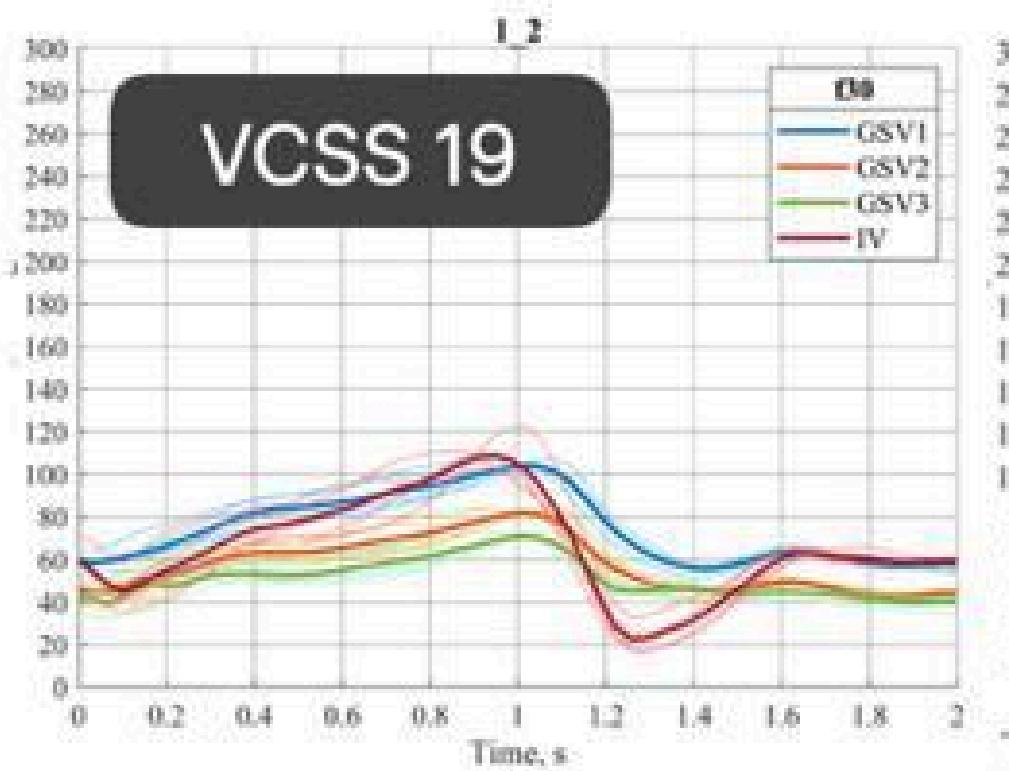
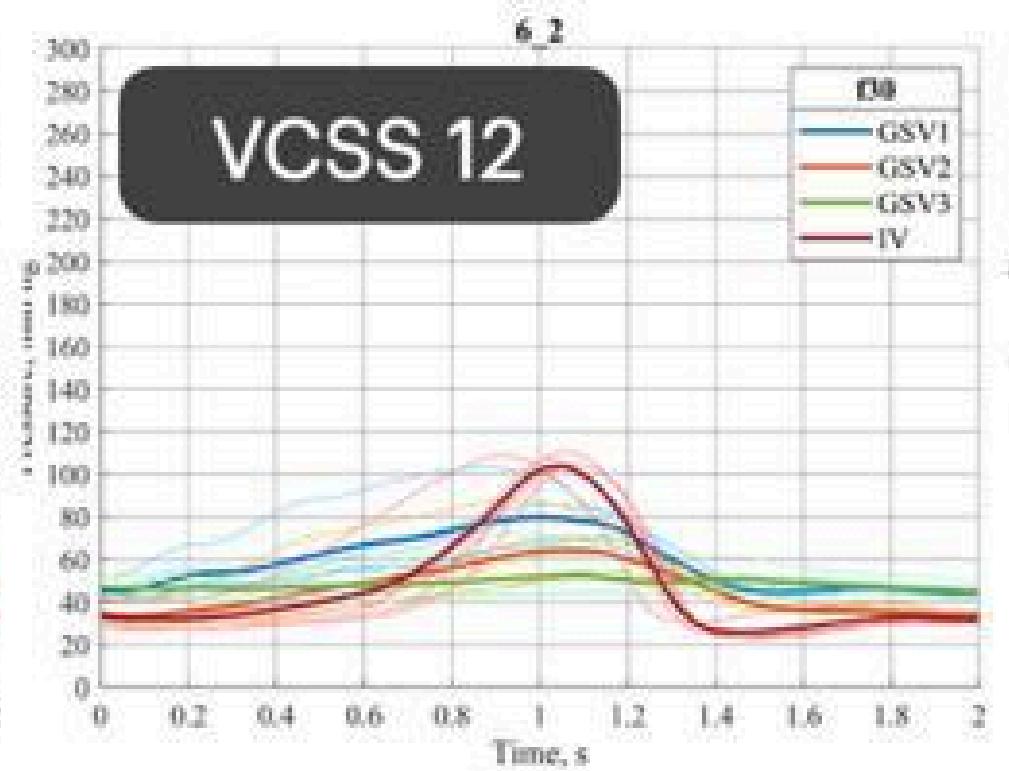
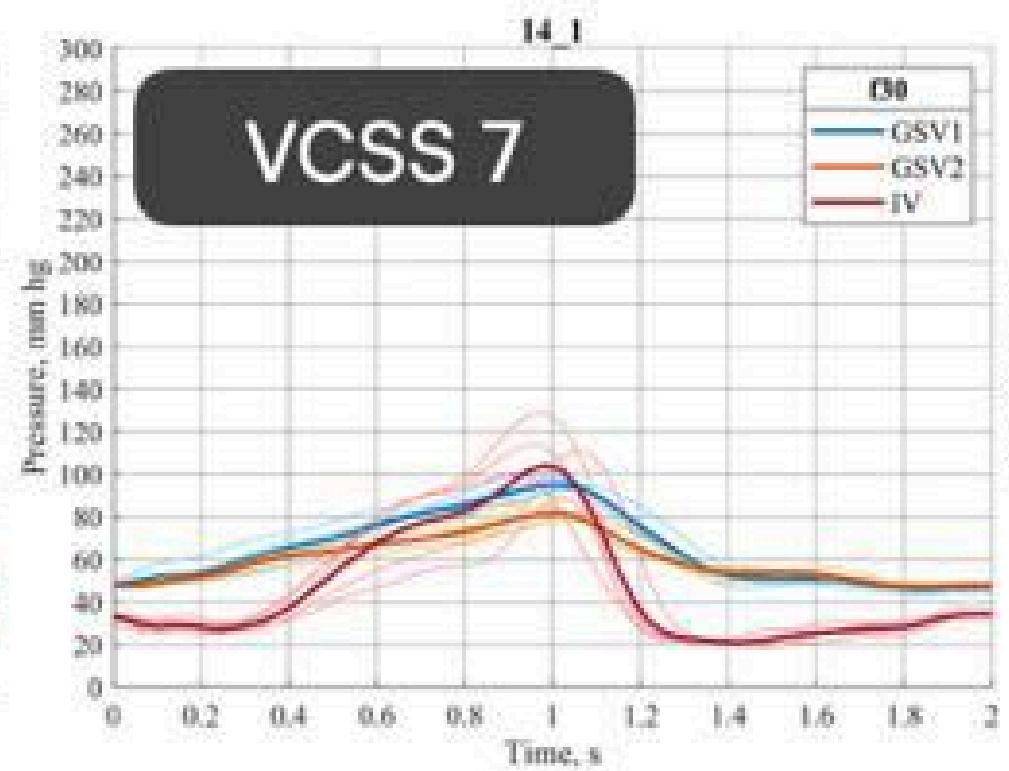
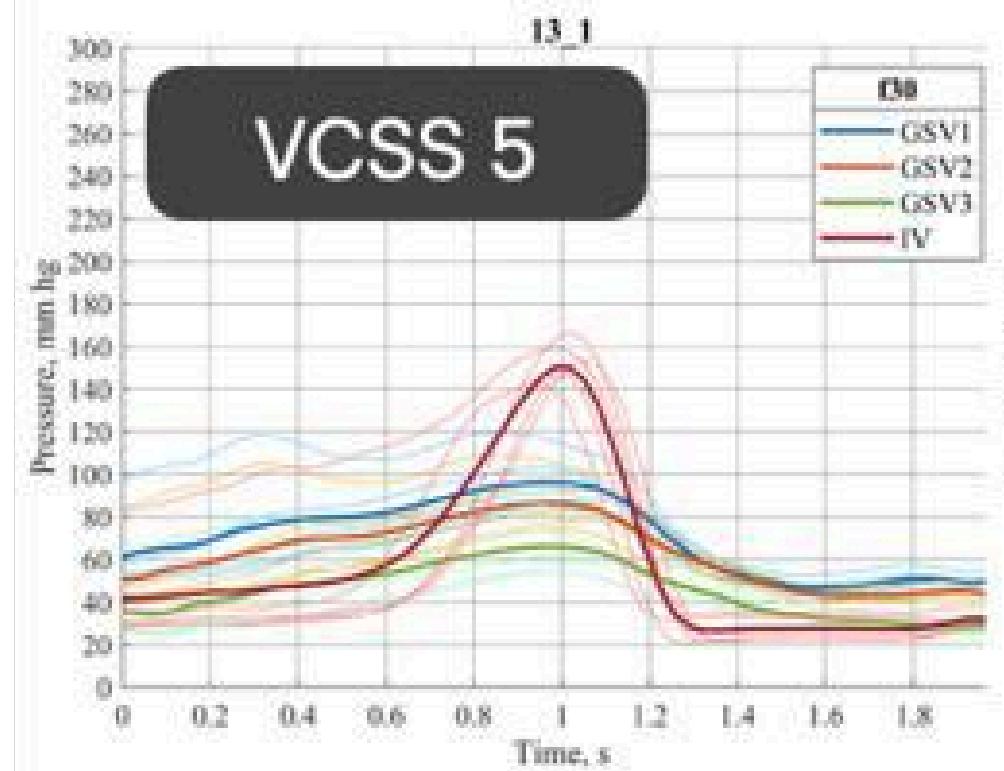
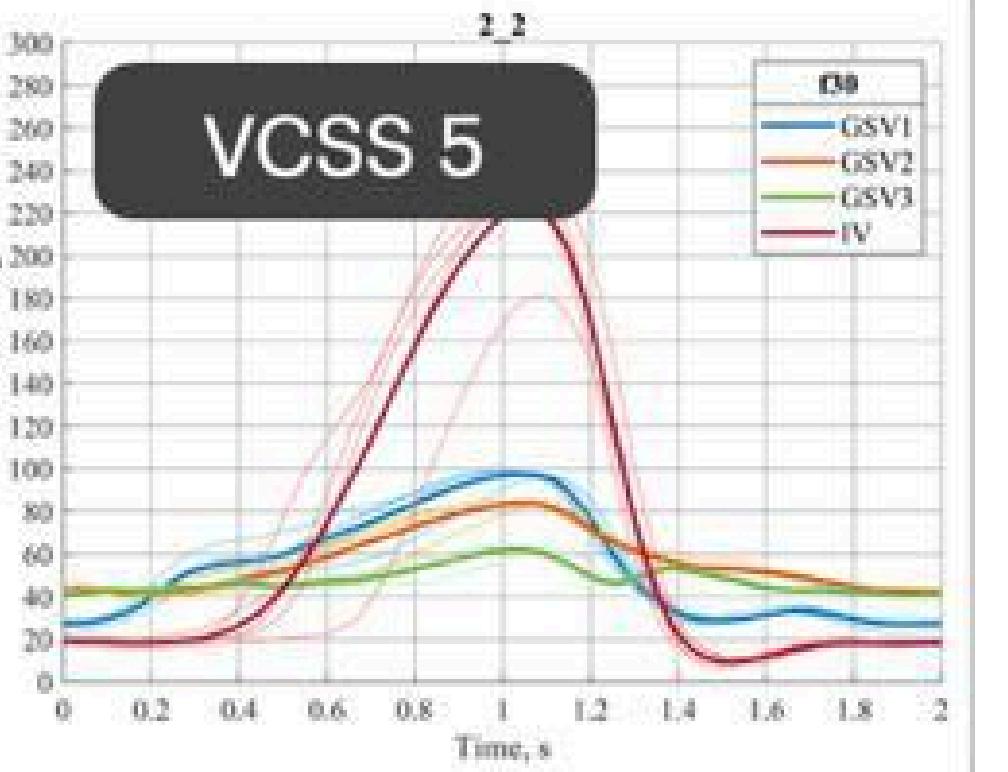
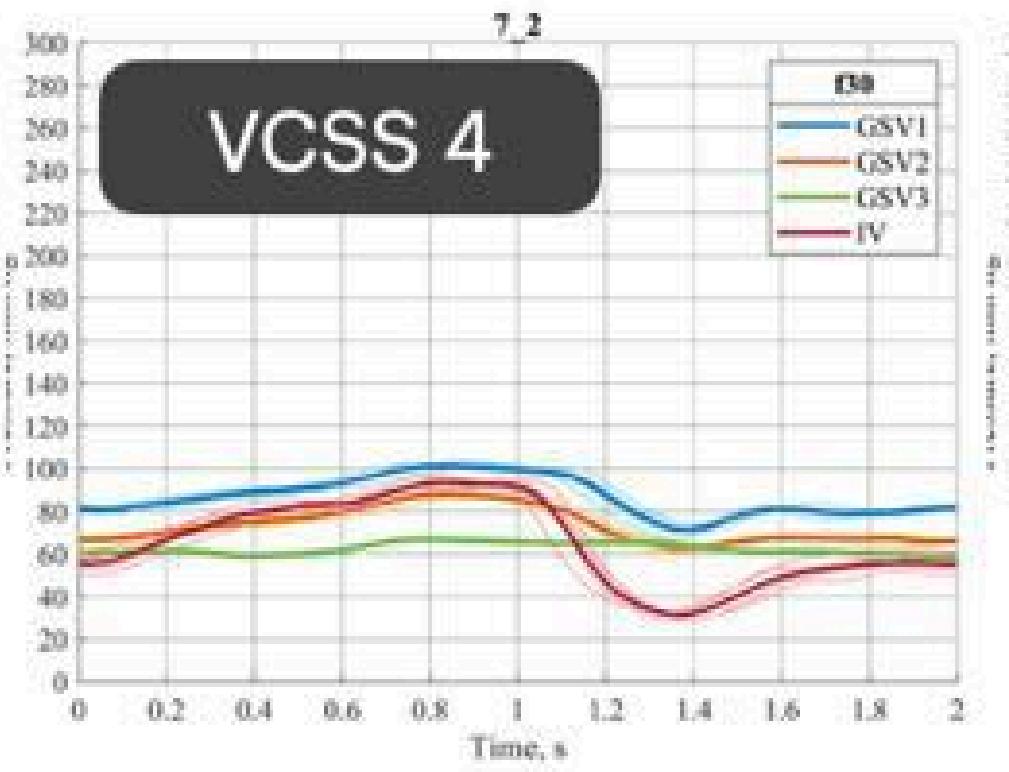
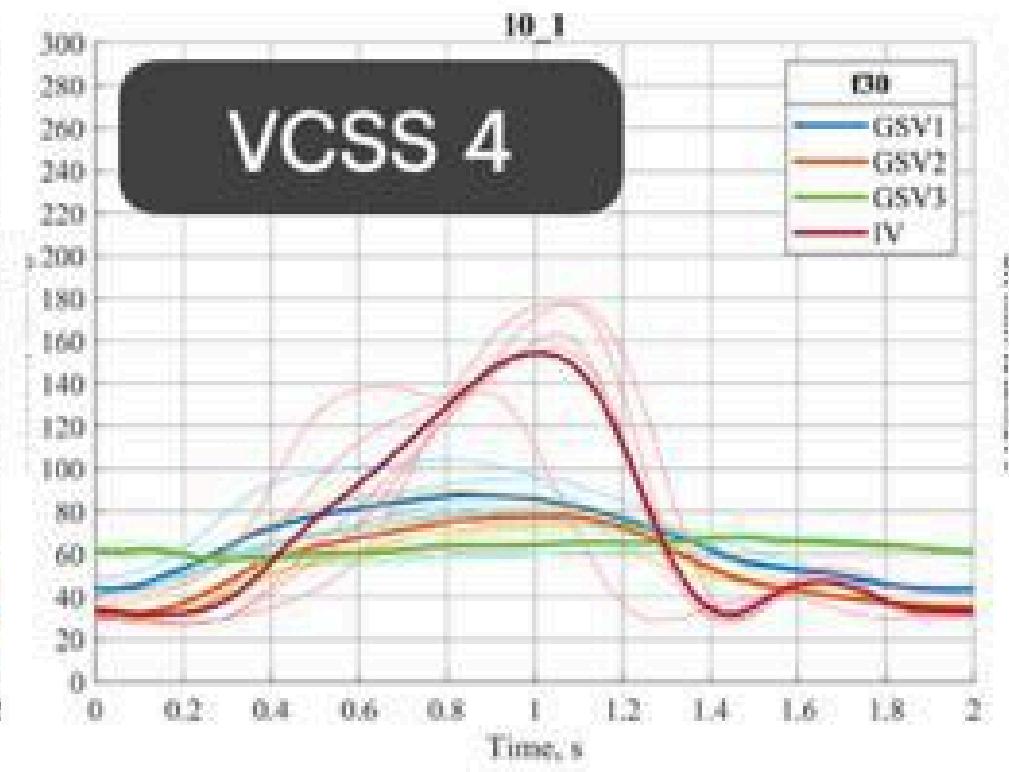
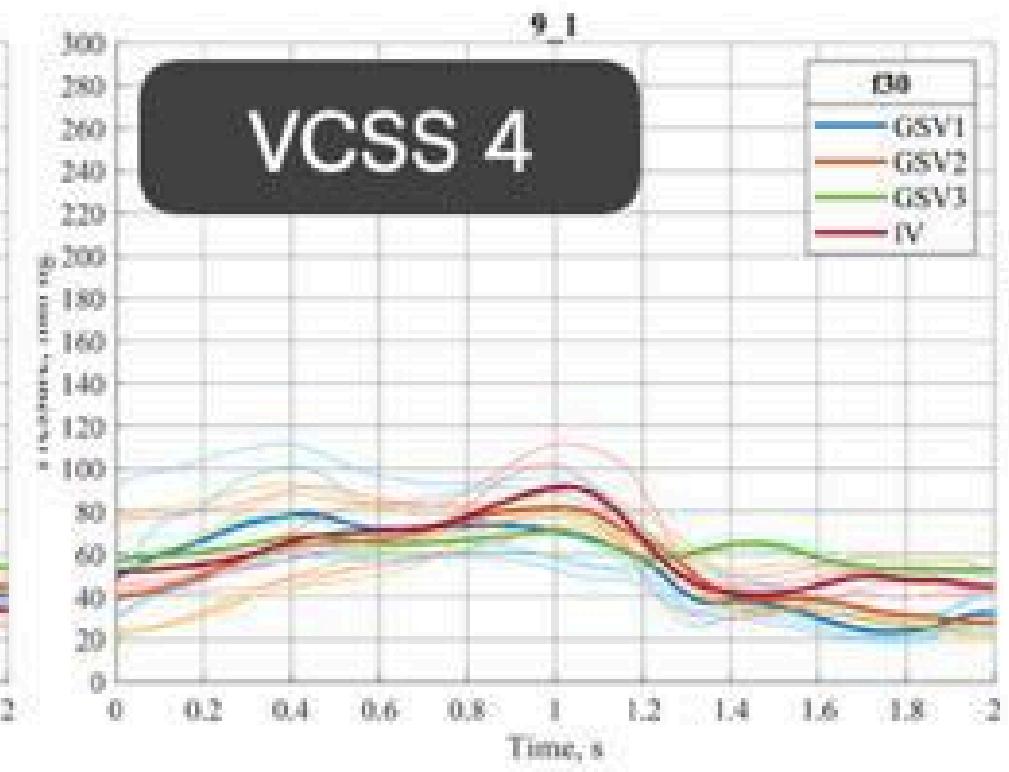
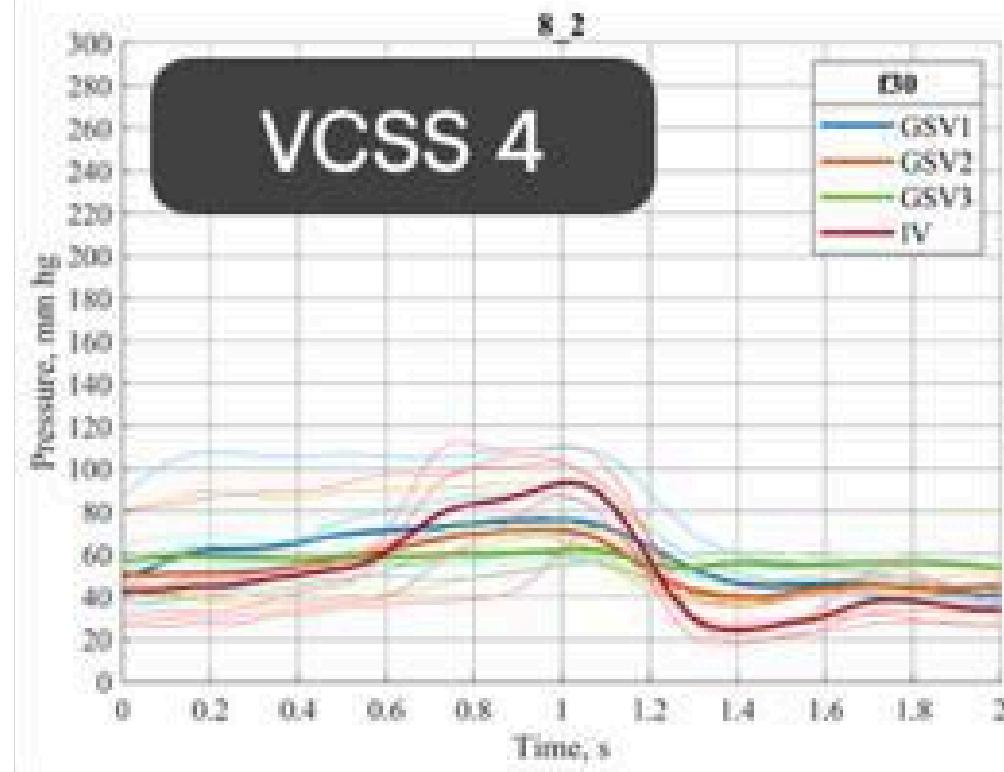
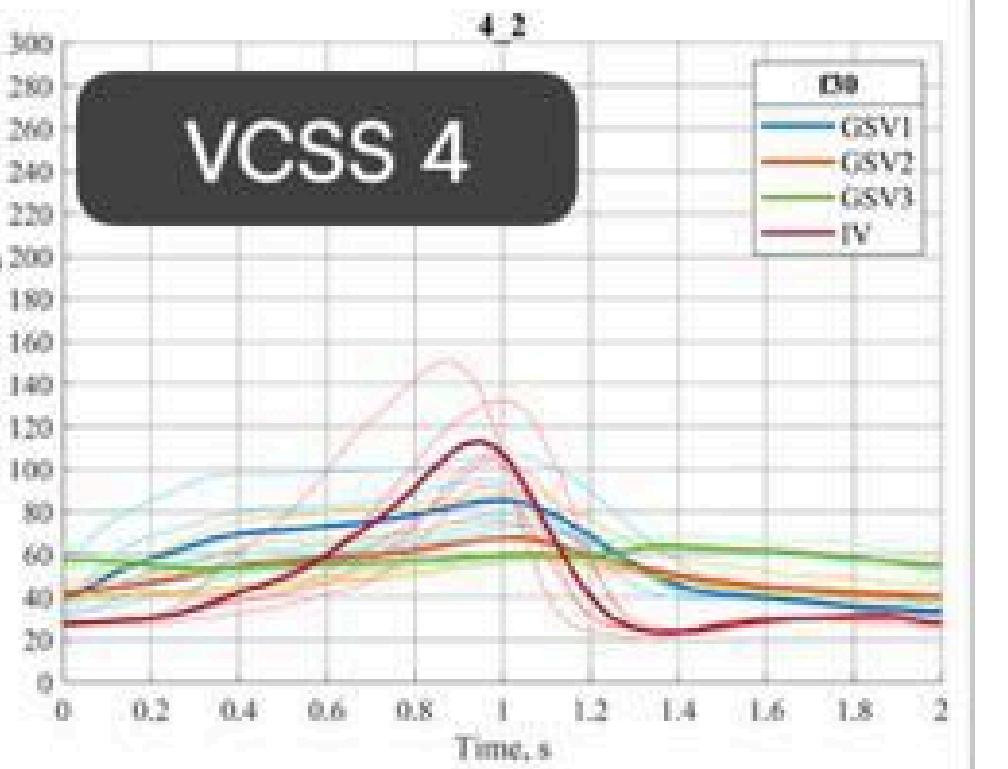
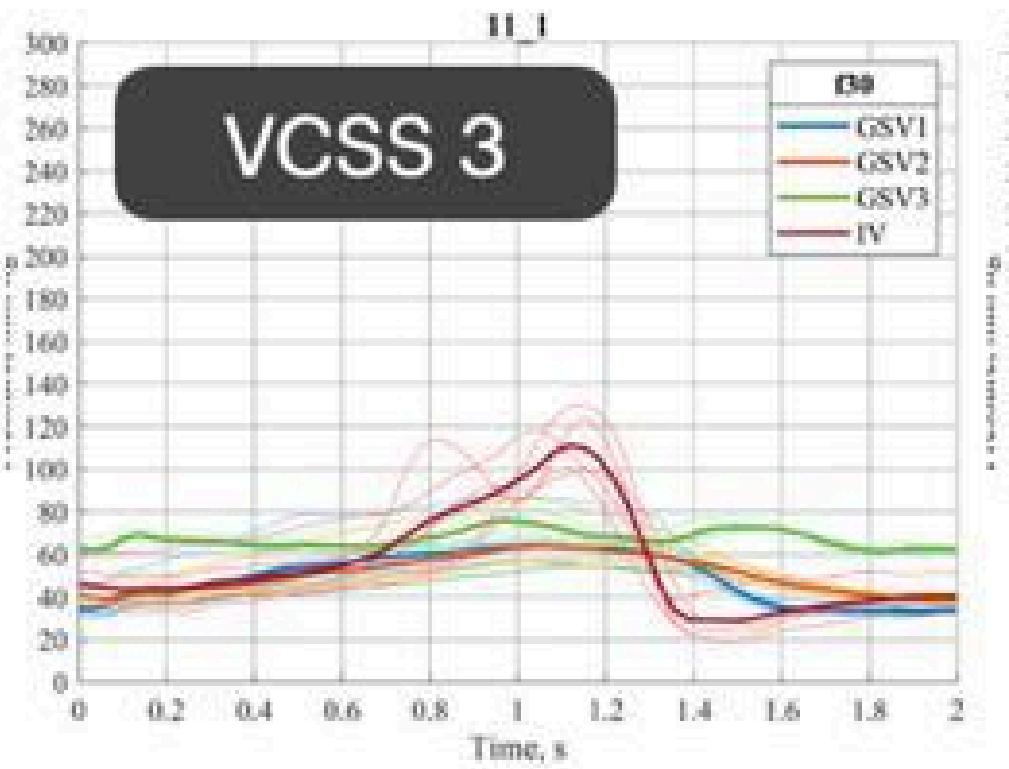
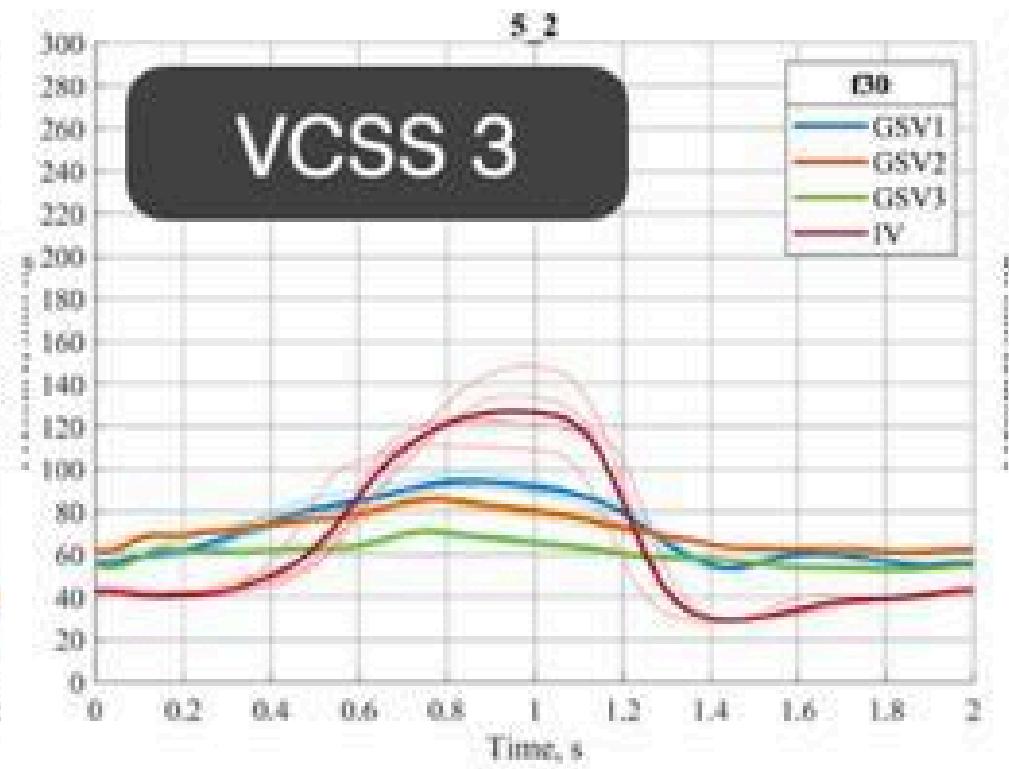
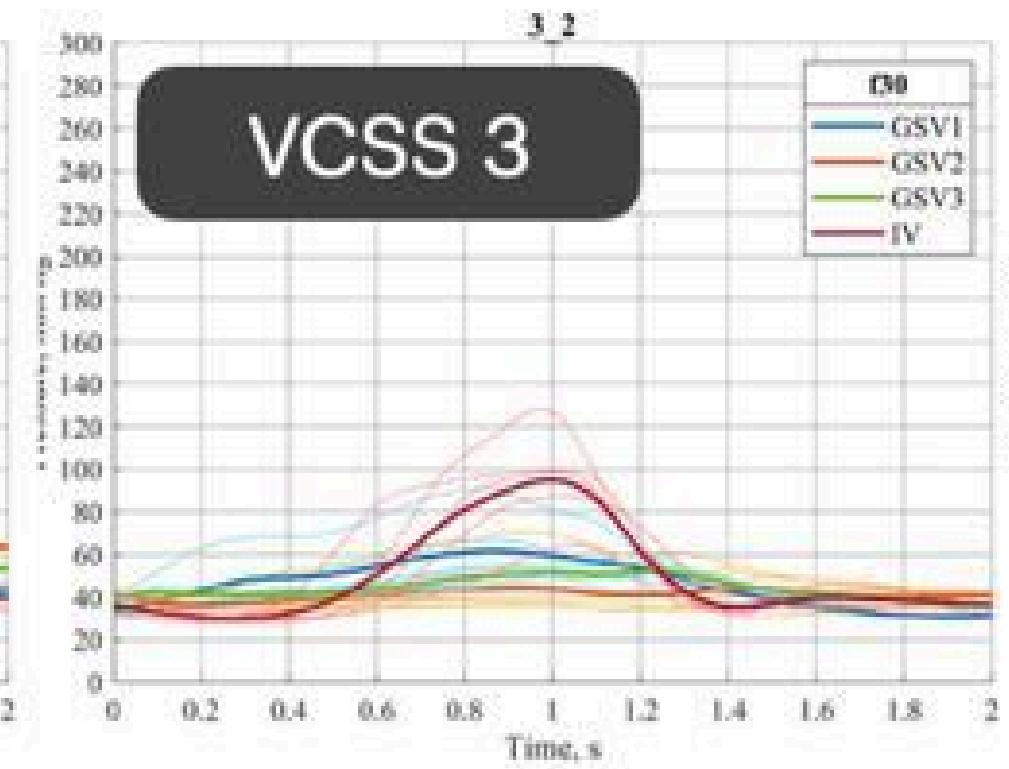
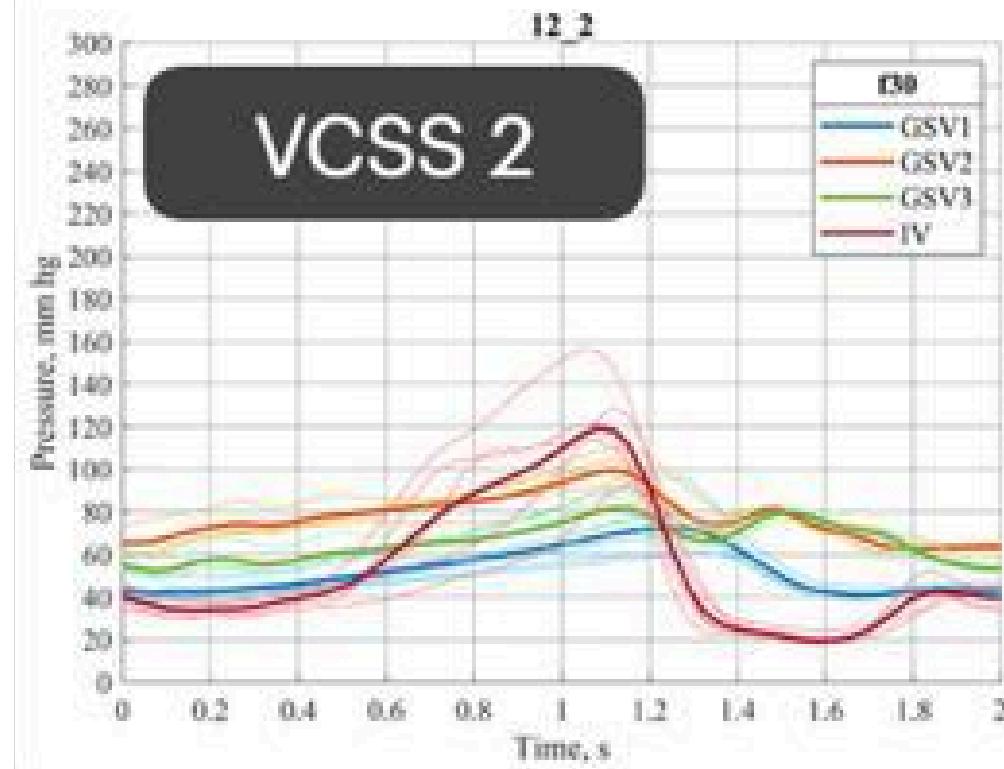


ФИЗИОЛОГИЯ ЗДОРОВЫХ ↓



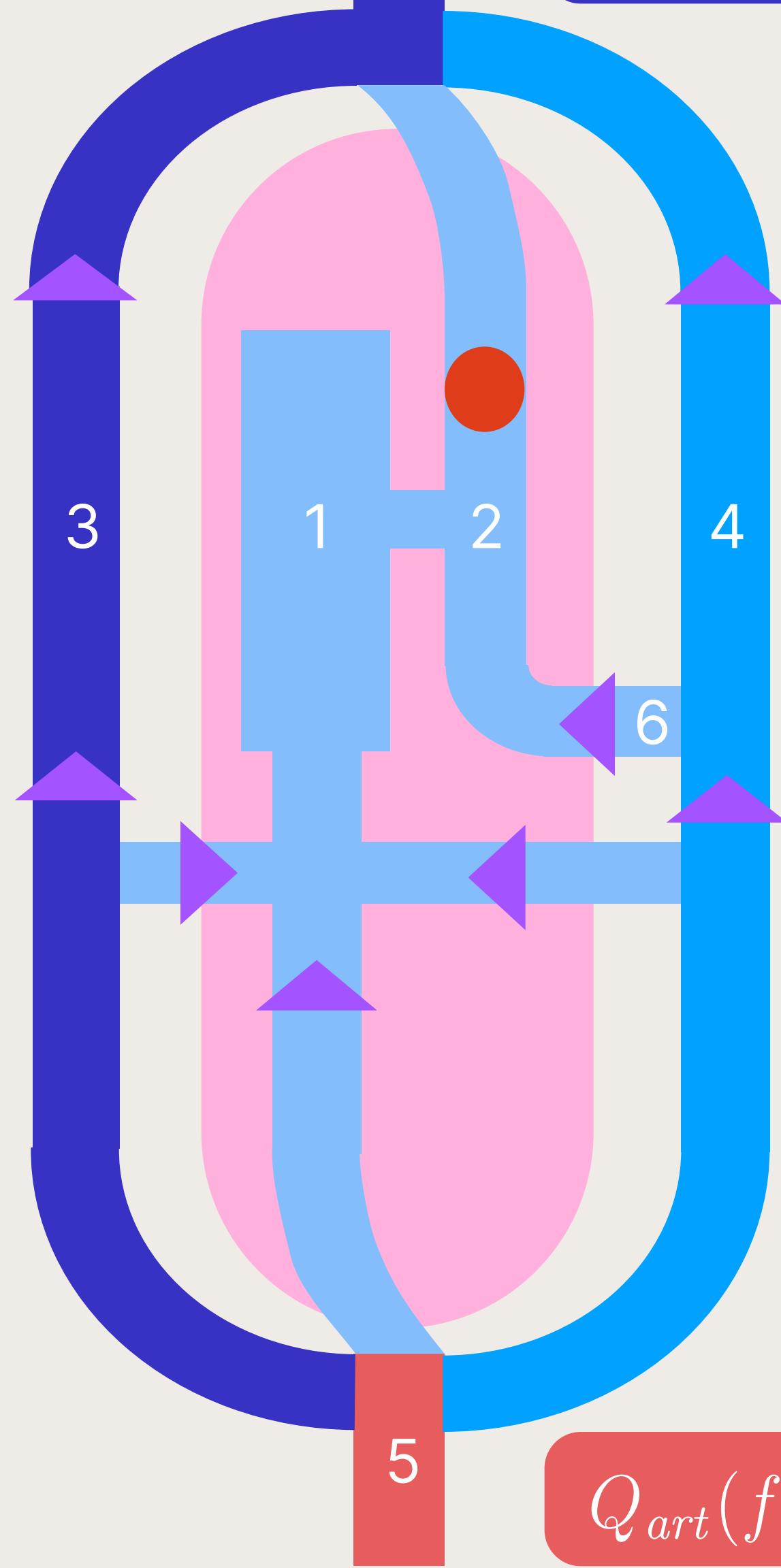
RLVH
RESEARCH LABORATORY OF
VENOUS HEMODYNAMICS





$p_{const} = 15 \text{ mm Hg}$

1D МОДЕЛЬ КРОВОТОКА



$$\frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{F}(\mathbf{V})}{\partial x} = \mathbf{G}(t, x, \mathbf{V}), \quad \mathbf{V} = \begin{pmatrix} S \\ u \end{pmatrix}, \quad \mathbf{F} = \begin{pmatrix} Su \\ \frac{u^2}{2} + \frac{P(t, S)}{\rho} \end{pmatrix}$$

$$f(S) = \begin{cases} e^{S/S_0-1}, & S > S_0 \\ \ln(S/S_0), & S \leq S_0 \end{cases} \quad P(t, S) = P_{ext}(t) + \rho c^2 f(S)$$

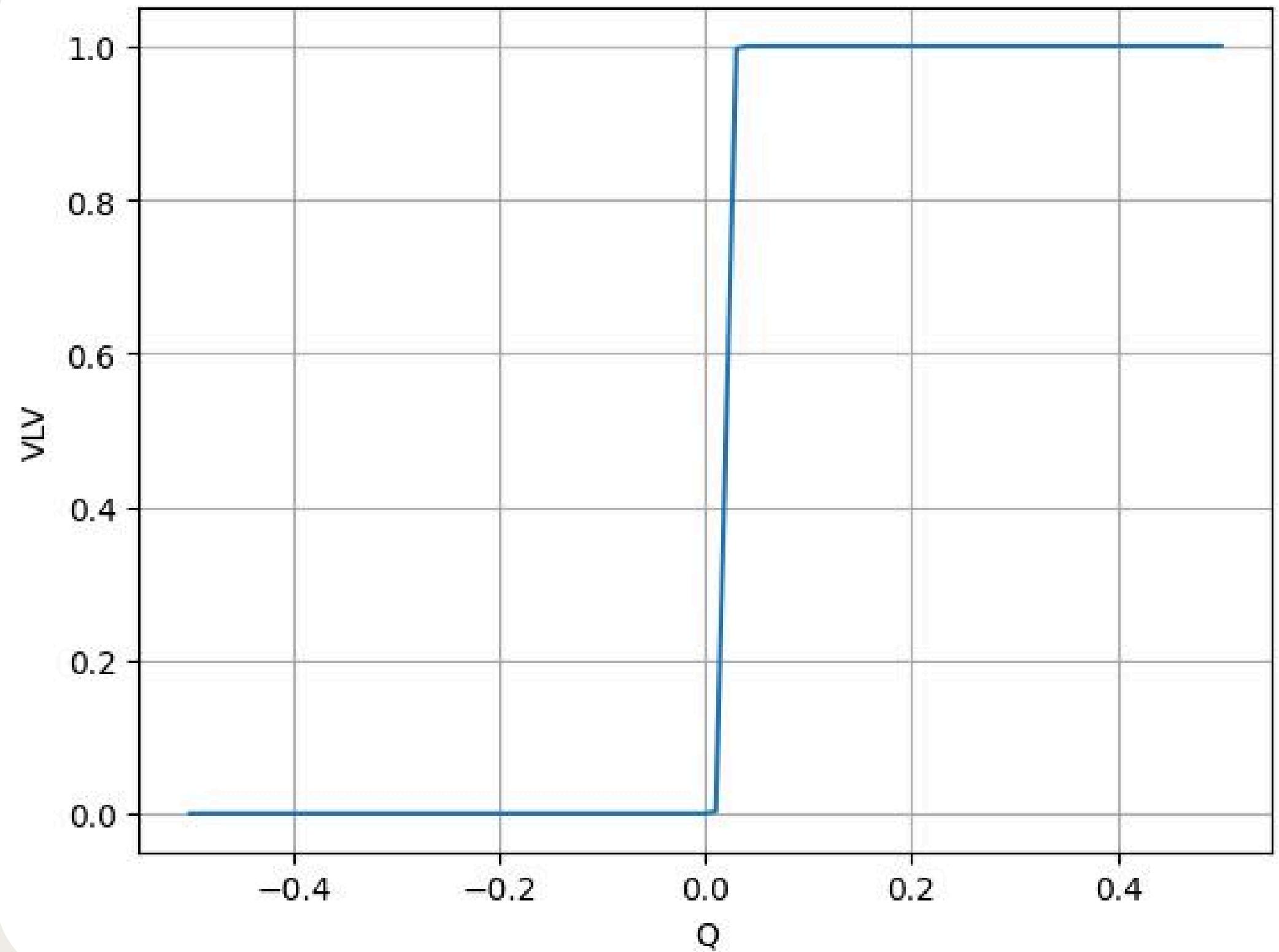
Г.У. И Н.У.

$$\sum_k \varepsilon_k S_k(t, \tilde{x}_k) u_k(t, \tilde{x}_k) = 0$$

$$p_k(S_k(t, \tilde{x}_k)) - p_{node}^l(t) = \varepsilon_k R_k^l S_k(t, \tilde{x}_k) u_k(t, \tilde{x}_k)$$

$$p_k(S_k(t, x_k)) + \frac{\rho u^2(t, x_k)}{2} = p_{k+1}(S_{k+1}(t, x_{k+1})) + \frac{\rho u^2(t, x_{k+1})}{2}$$

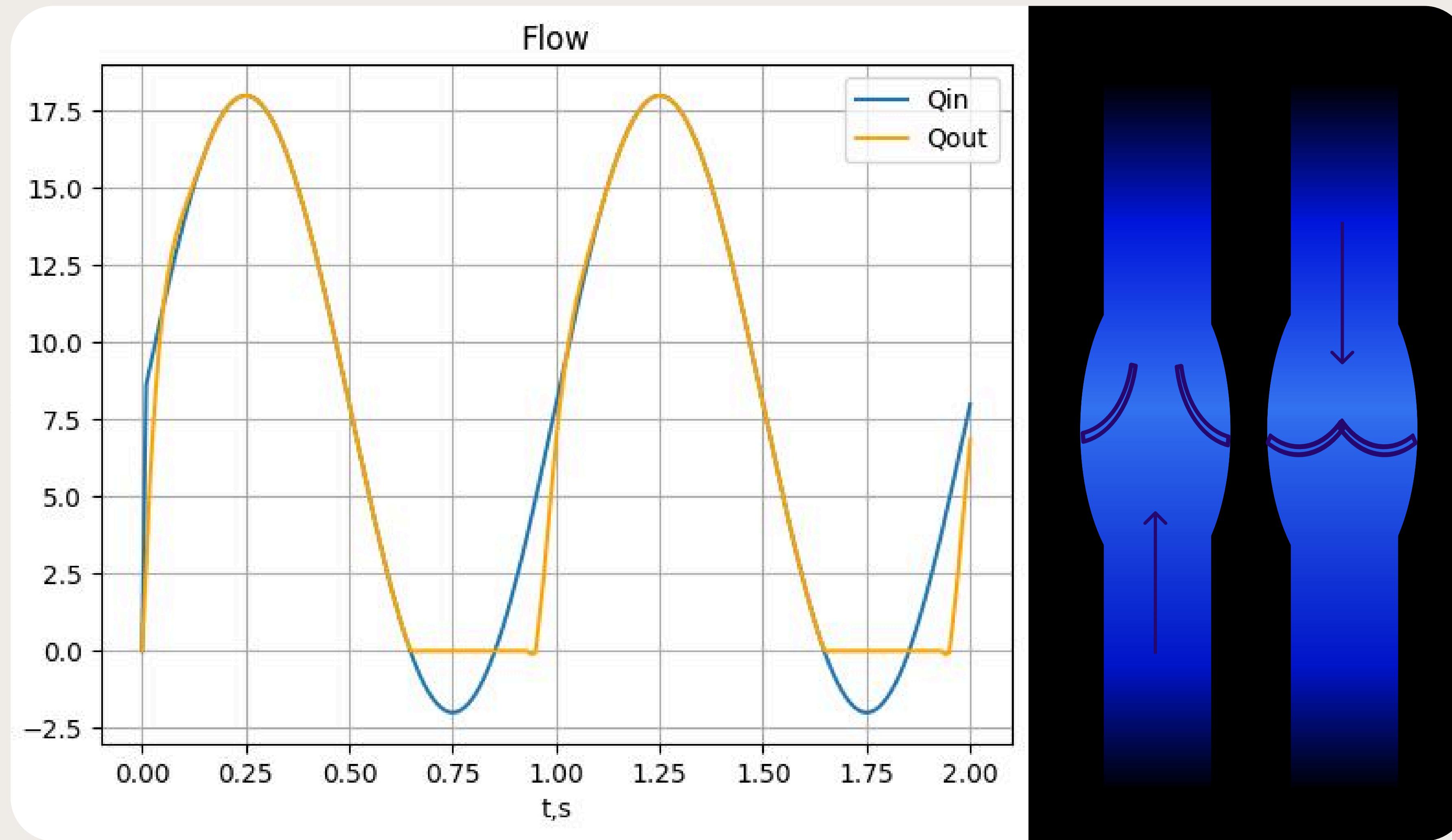
КЛАПАН



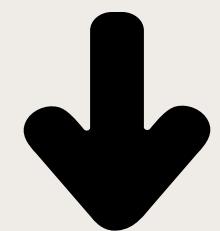
$$VLV(U)\Delta P = RQ$$
$$VLV(U) = 1/(1 + e^{(-C_1*(U-C_2))})$$

$$Q = \begin{cases} \frac{VLV(U)\Delta P}{R}, & U > 0 \\ \varepsilon, & U \leq 0 \end{cases}$$

КЛАПАН

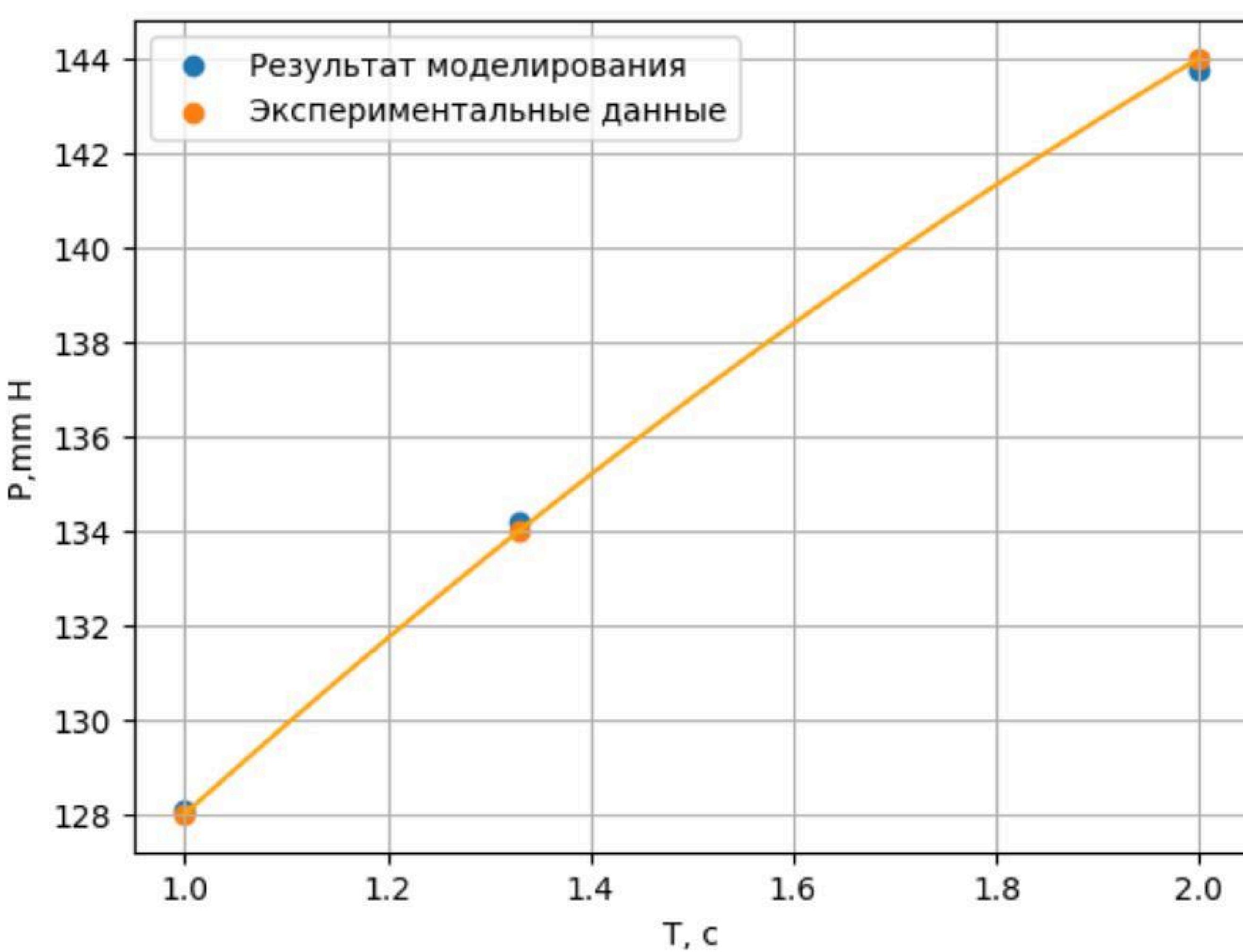


МЫШЦЫ

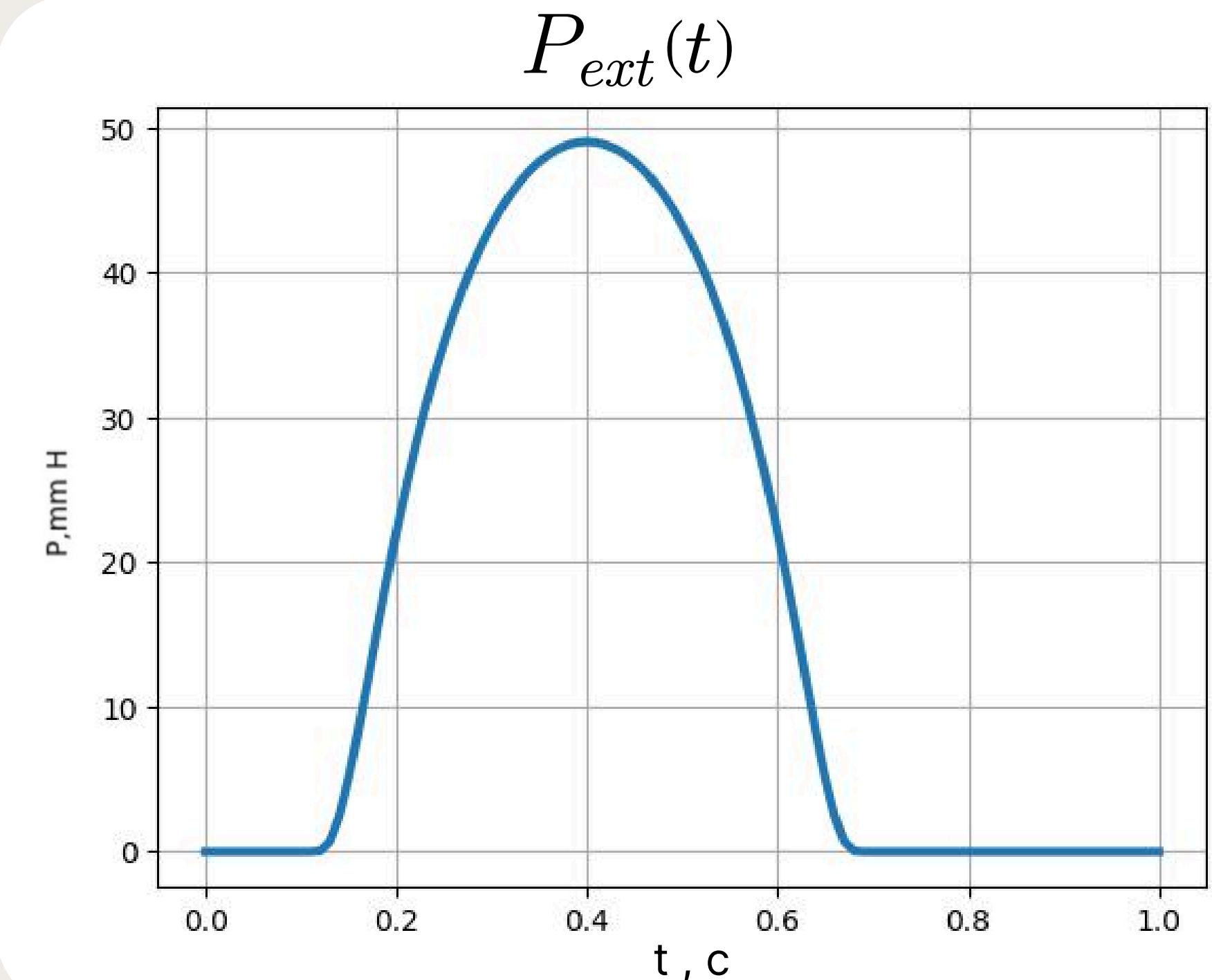


$$P = P_{ext} + \rho c^2 f(S)$$

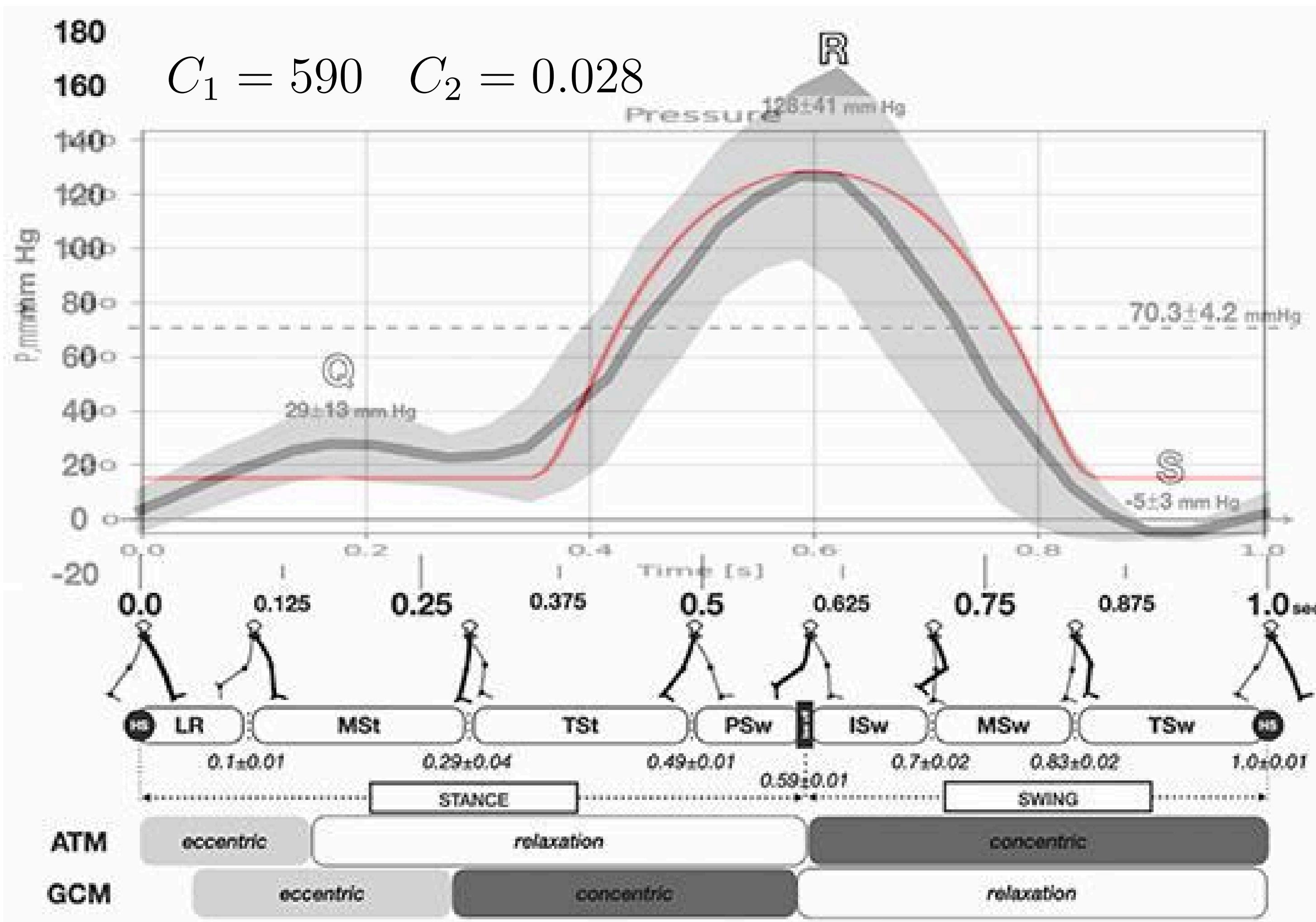
Амплитуда давления в зависимости от периода шага



$$P_{ext} = P_{max} * \exp\left(\frac{-\varepsilon^2}{\varepsilon^2 - |t - a|^2}\right)$$



T = 1.0 C



Tauraginskii R.A., Lurie F., Simakov S., Agalarov R., Borsuk D., Khramtsov P.

Calf muscle pump pressure-flow cycle during ambulation

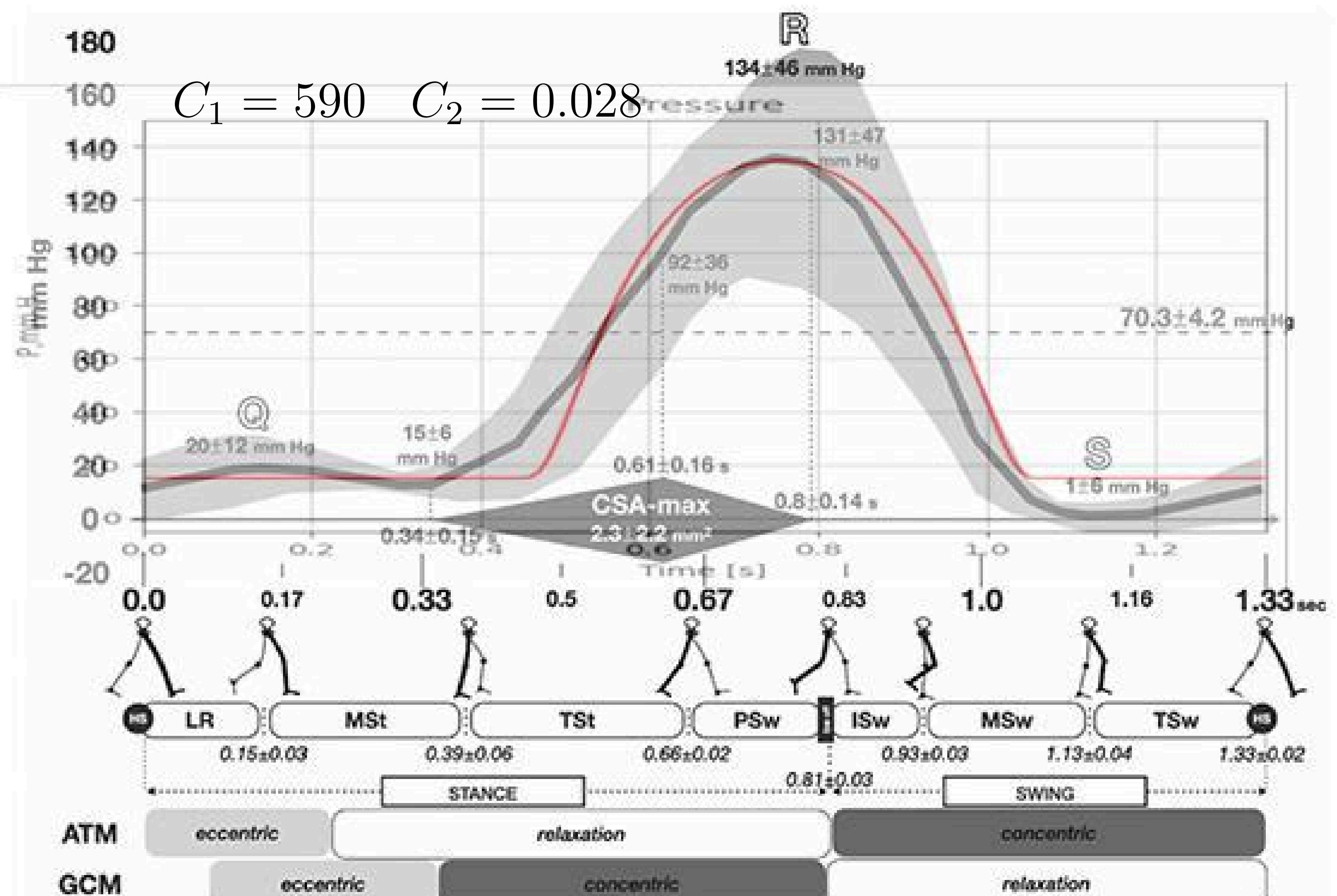
Journal of Vascular Surgery: Venous and Lymphatic Disorders

2020

Данные пациентов

Многоцентровое исследование, проведенное в Научно-исследовательской лаборатории венозной гемодинамики, в реальном времени.

T = 1.3 C

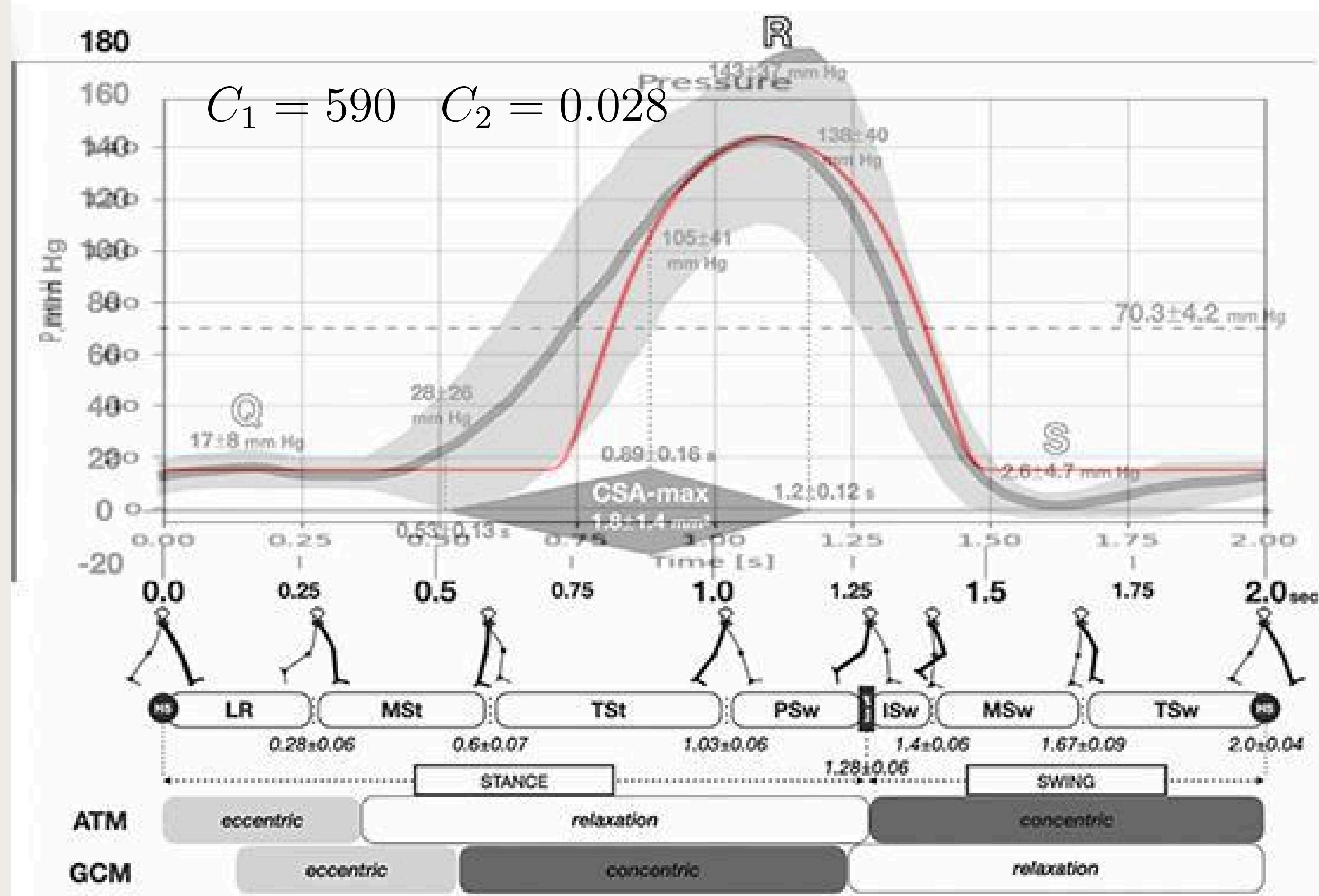


Tauraginskii R.A., Lurie F., Simakov S., Agalarov R., Borsuk D., Khramtsov P.
Calf muscle pump pressure-flow cycle during ambulation
Journal of Vascular Surgery: Venous and Lymphatic Disorders
2020

Данные пациентов

Многоцентровое исследование, проведенное в Научно-исследовательской лаборатории венозной гемодинамики, в реальном времени.

T = 2.0 C



Tauraginskii R.A., Lurie F., Simakov S., Agalarov R., Borsuk D., Khramtsov P.
Calf muscle pump pressure-flow cycle during ambulation
Journal of Vascular Surgery: Venous and Lymphatic Disorders
2020

Данные пациентов

Многоцентровое исследование, проведенное в Научно-исследовательской лаборатории венозной гемодинамики, в реальном времени.

**СПАСИБО
ЗА ВНИМАНИЕ!**