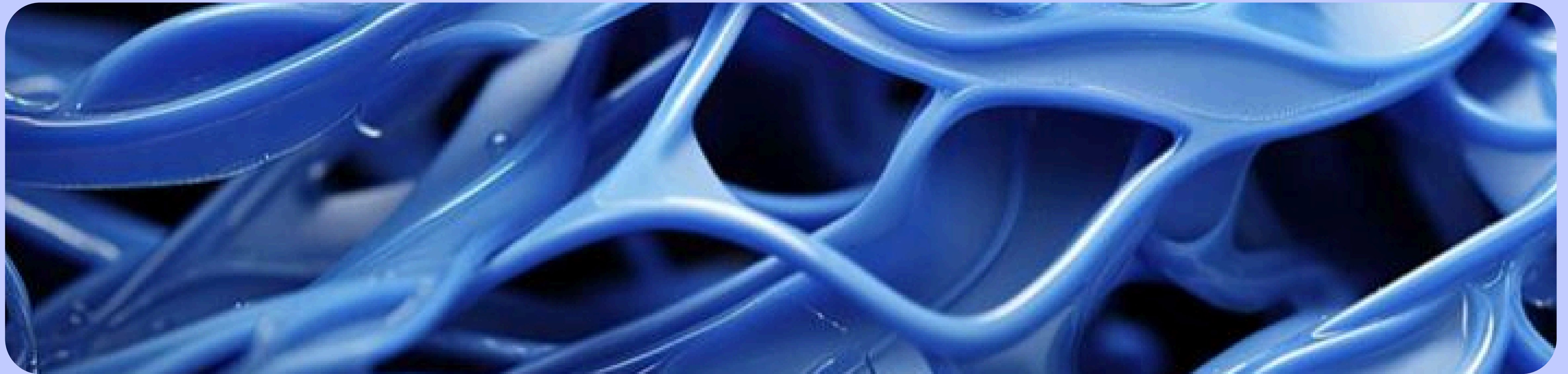


# **Математическое моделирование венозной гемодинамики нижних конечностей во время ходьбы**



**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

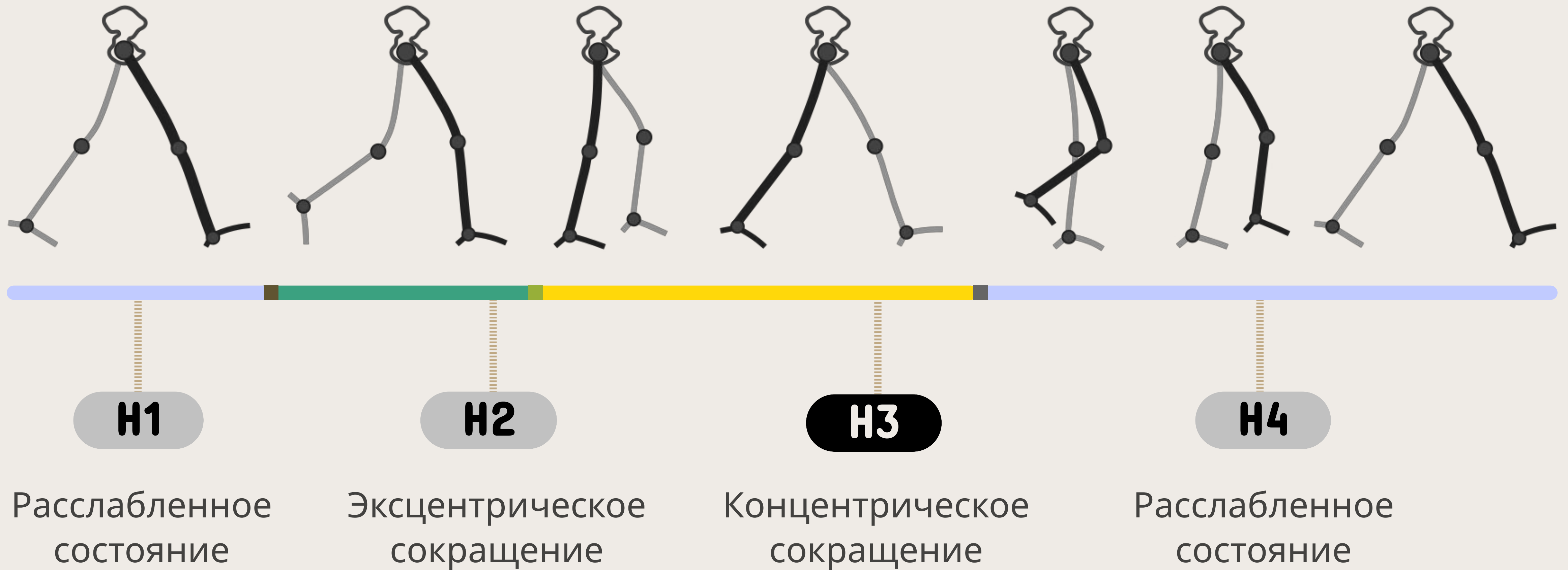
**3.**

Подобрать параметры модели для достижения максимальной корреляции с реальными данными

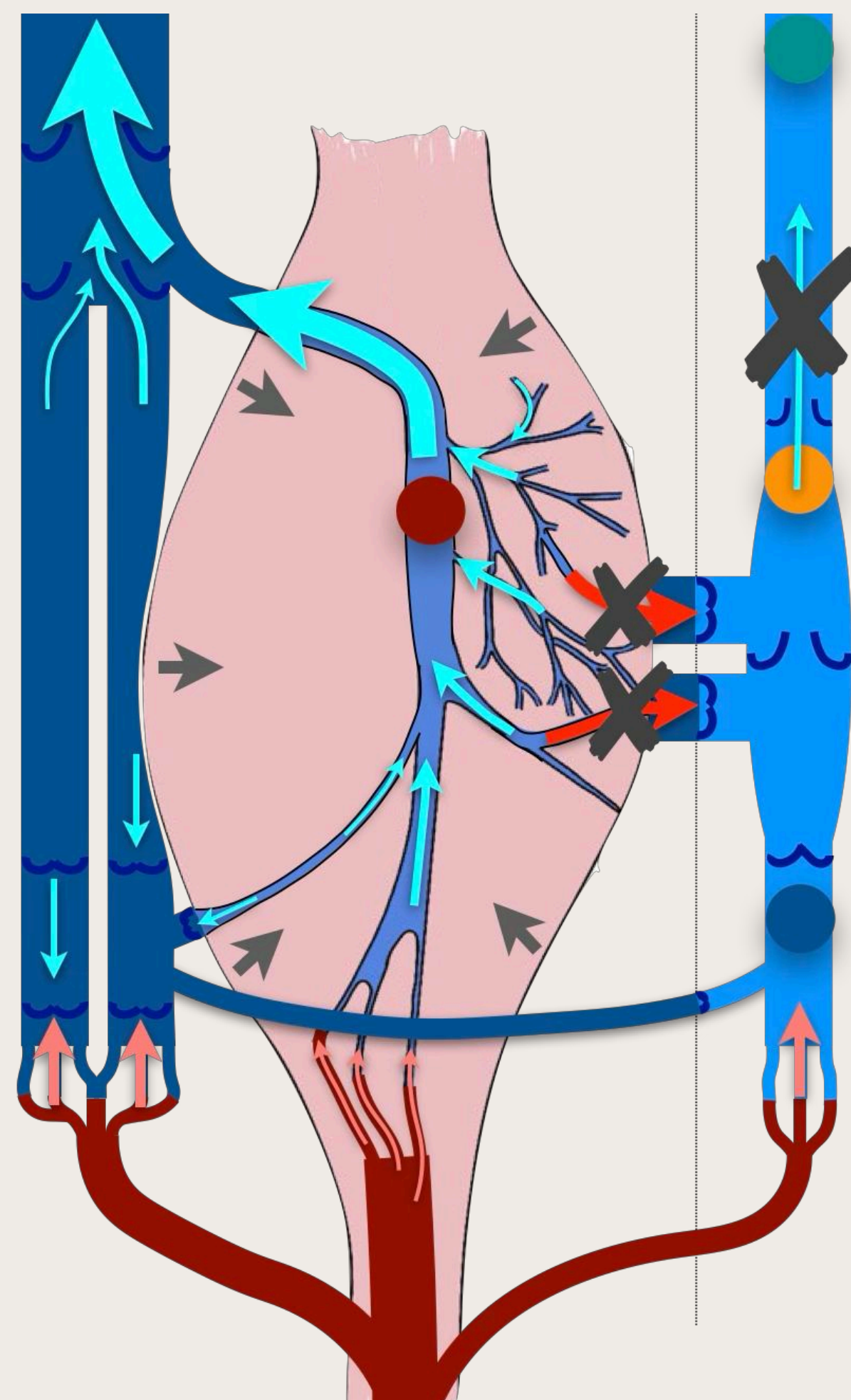
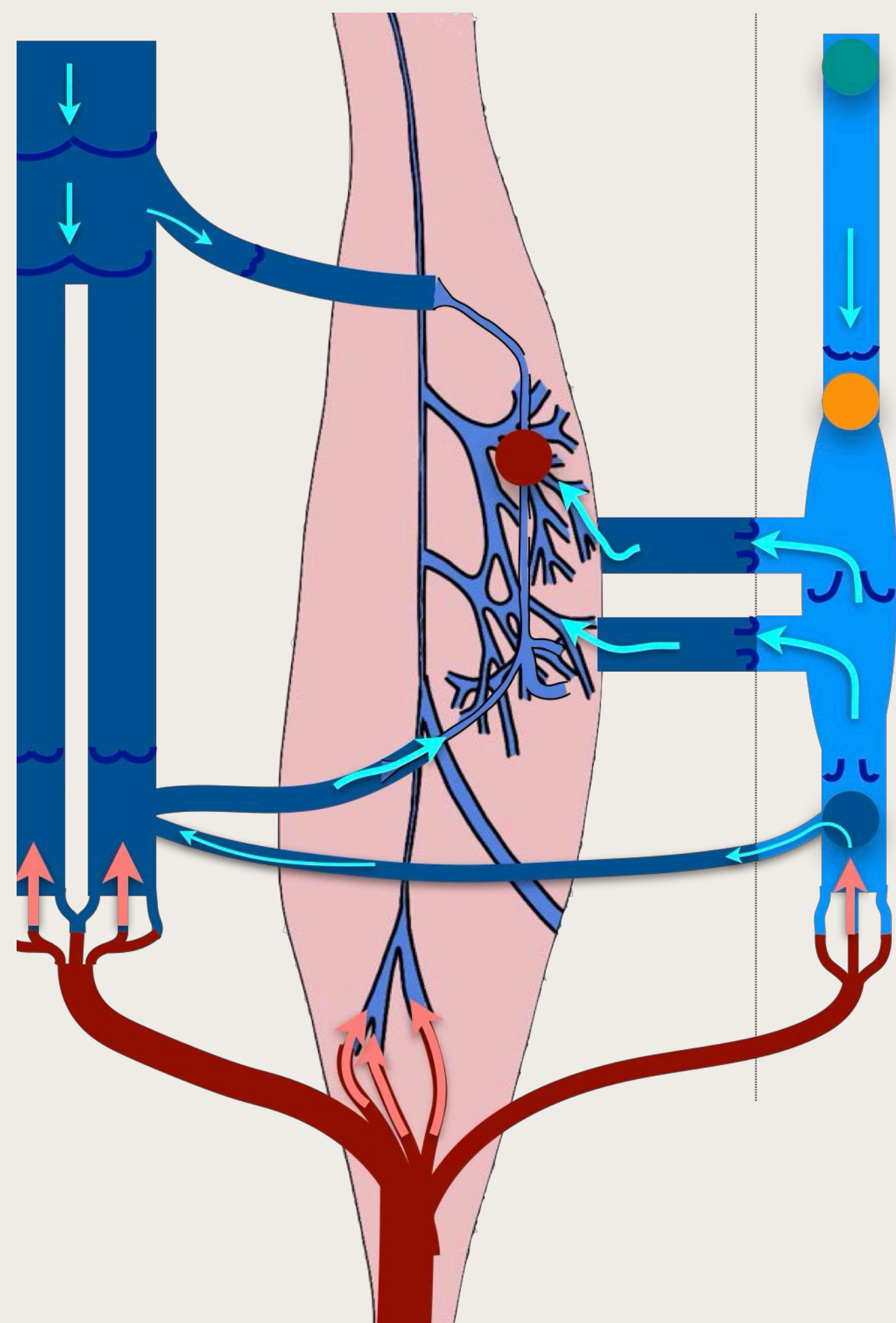


# ФИЗИОЛОГИЯ ↓

2025

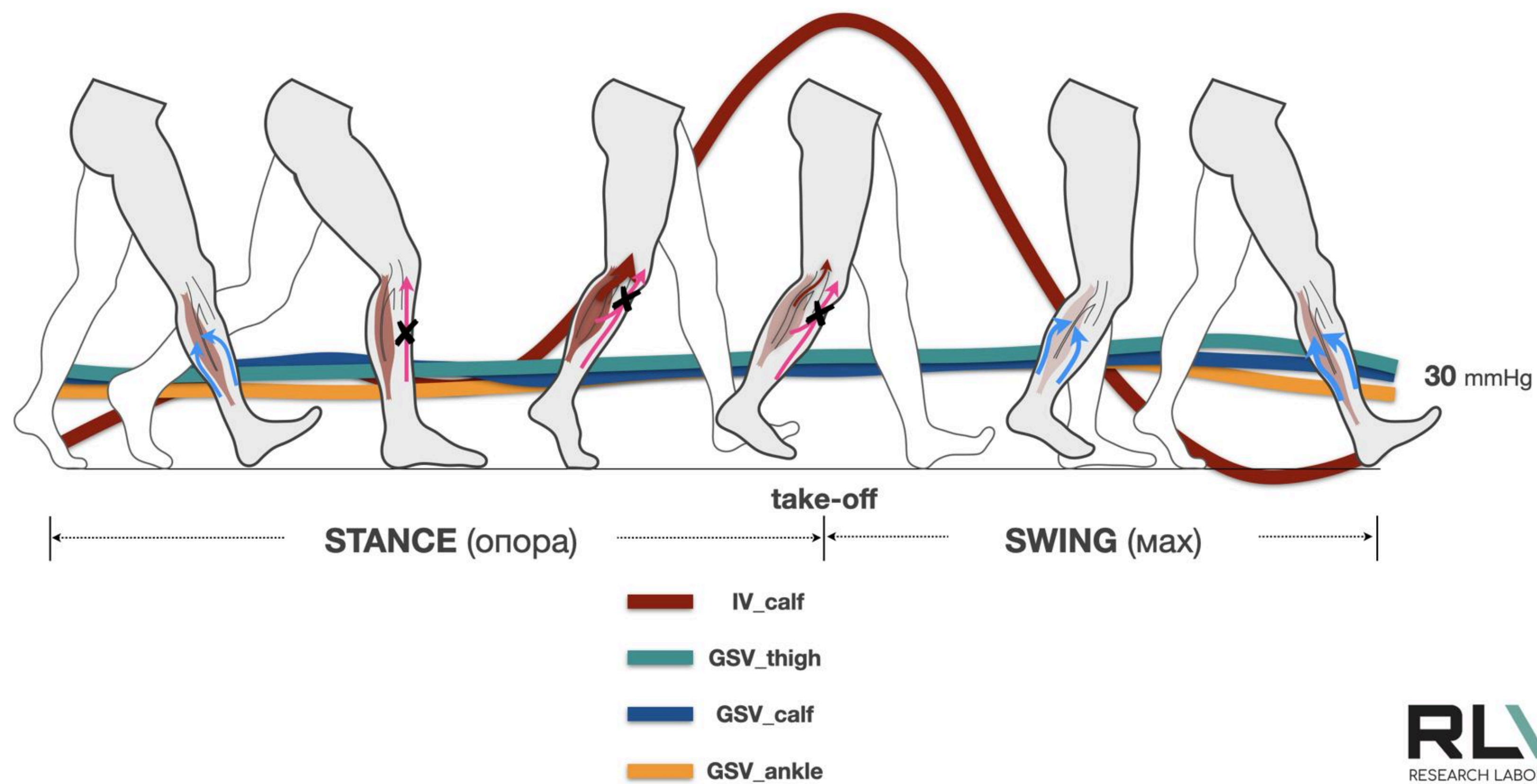








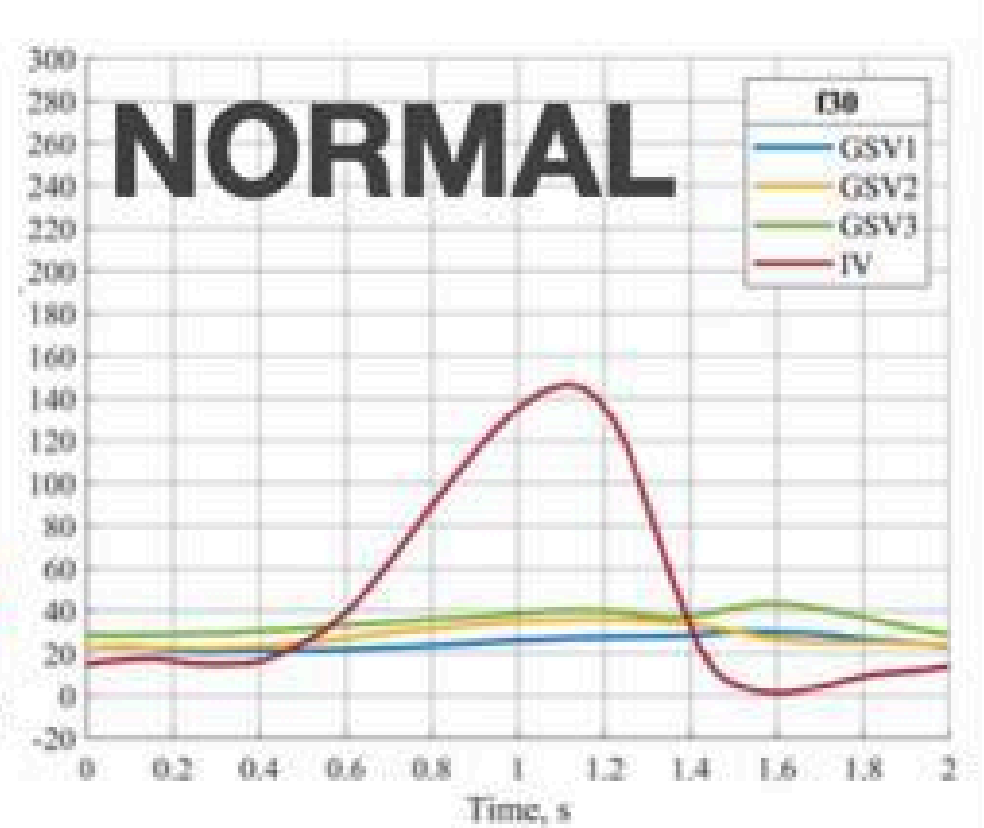
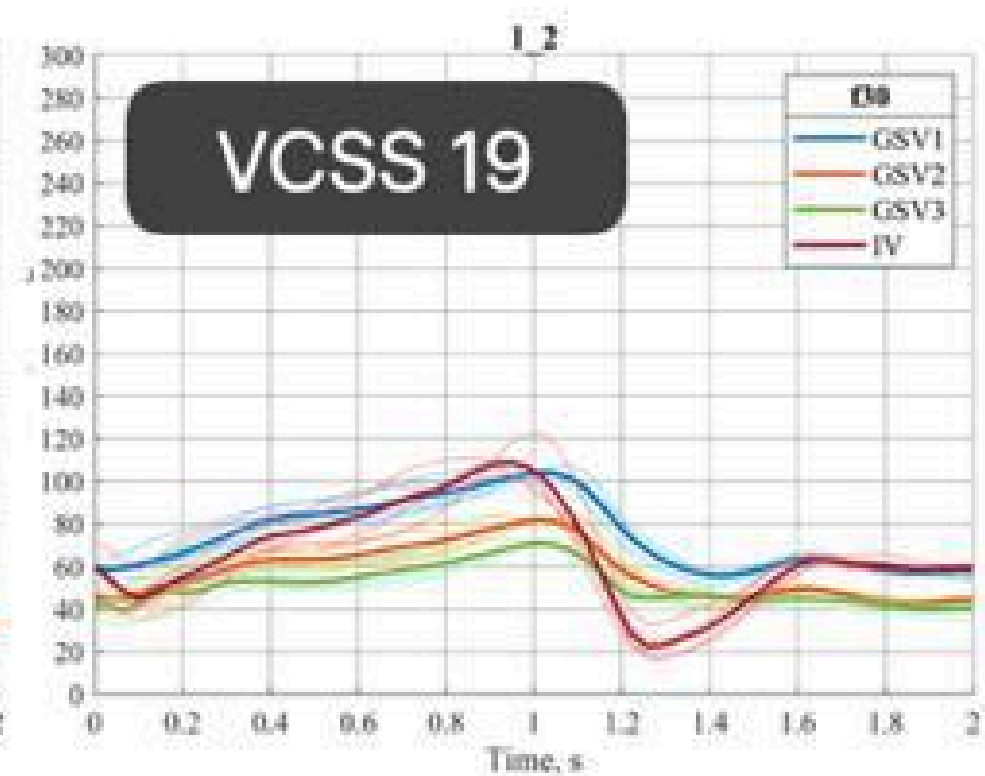
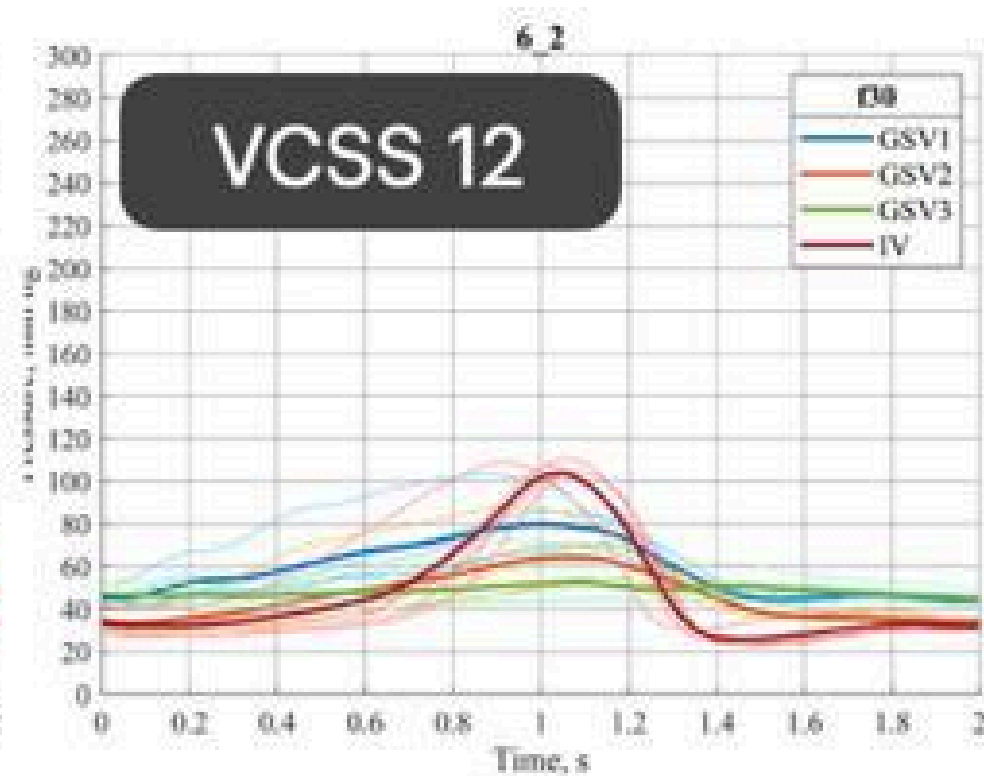
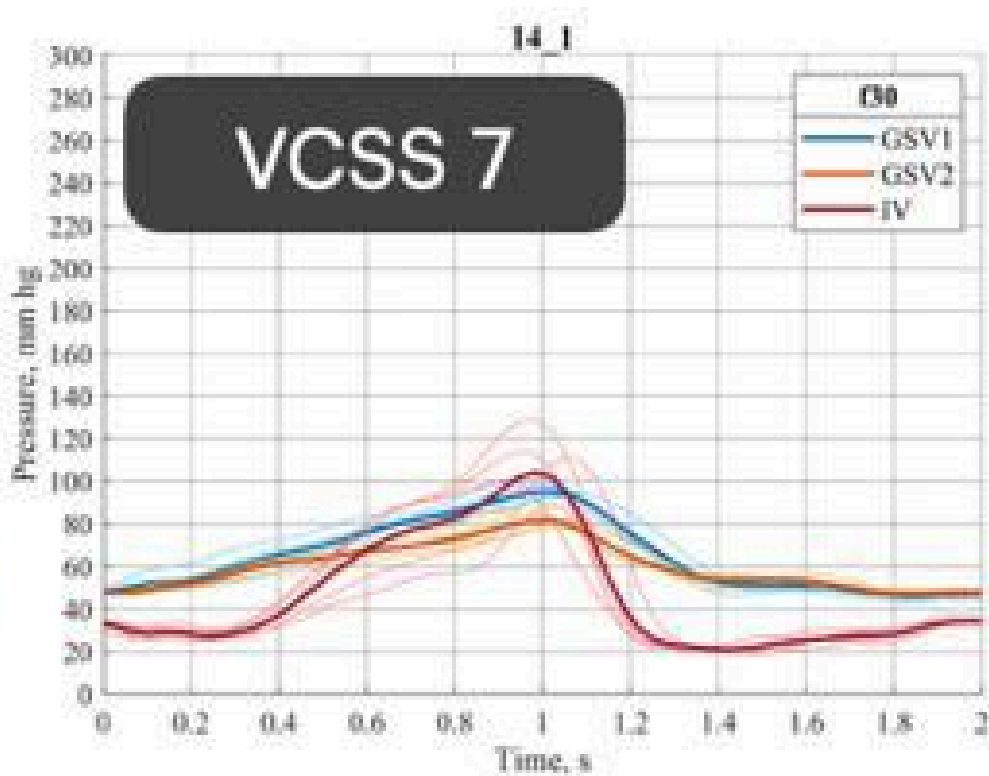
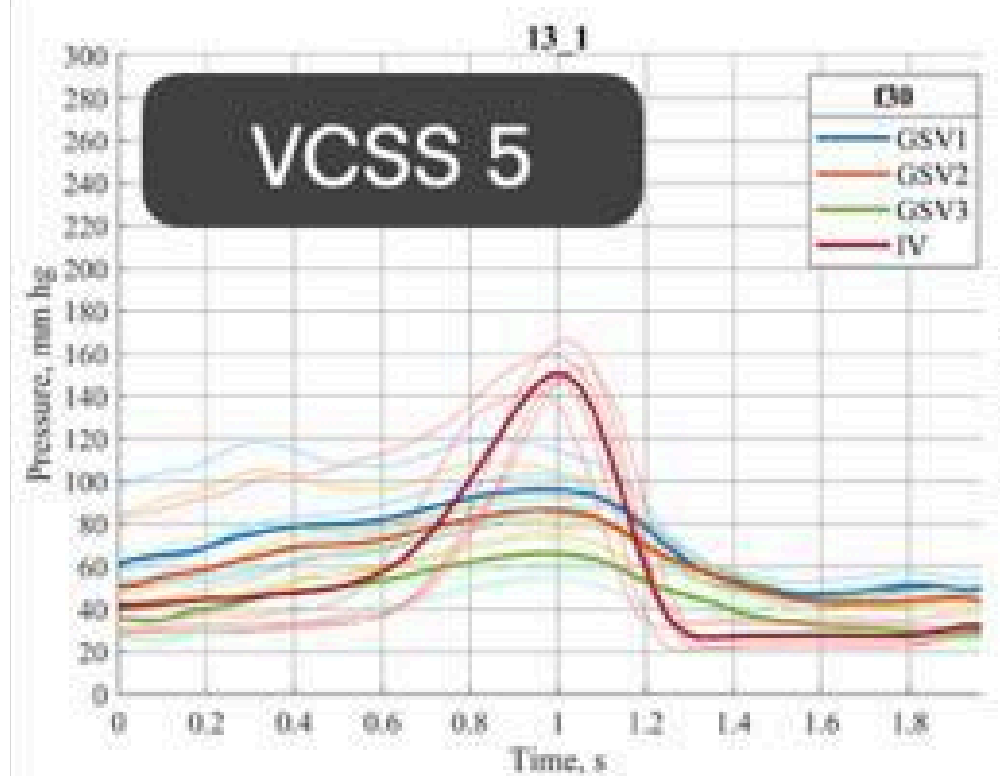
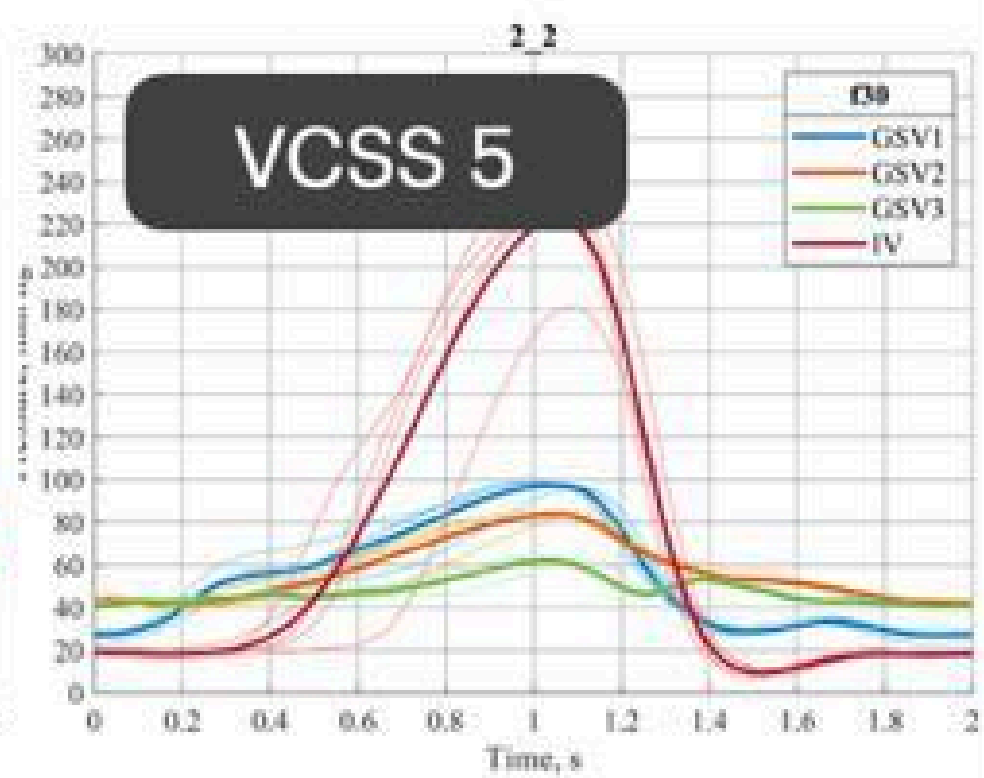
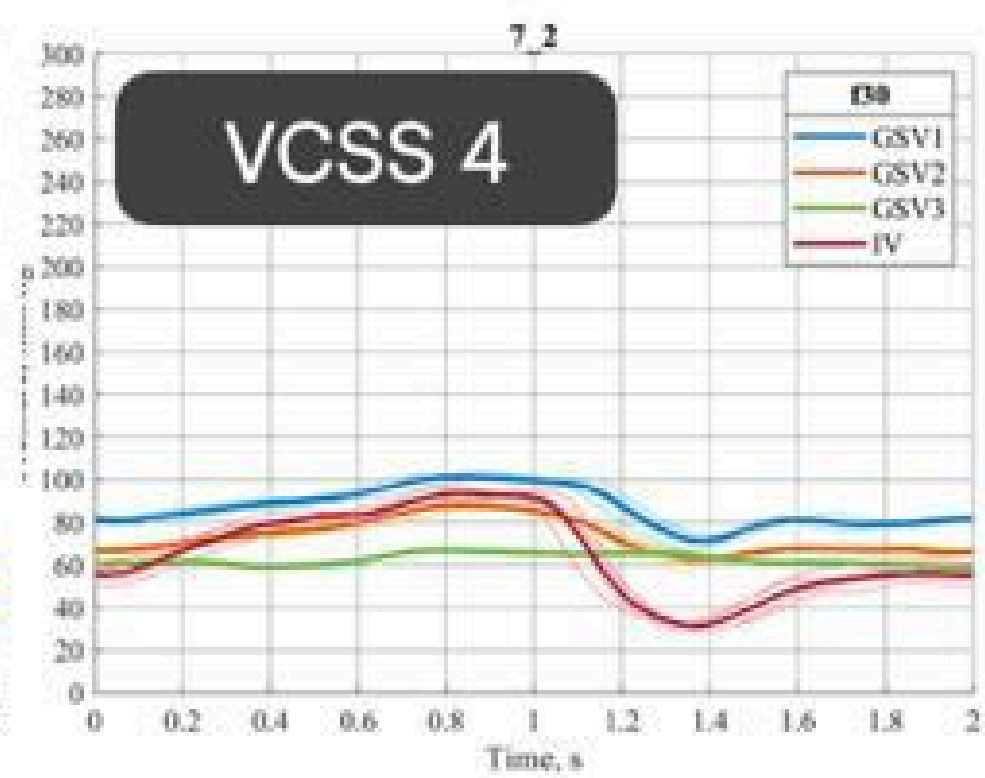
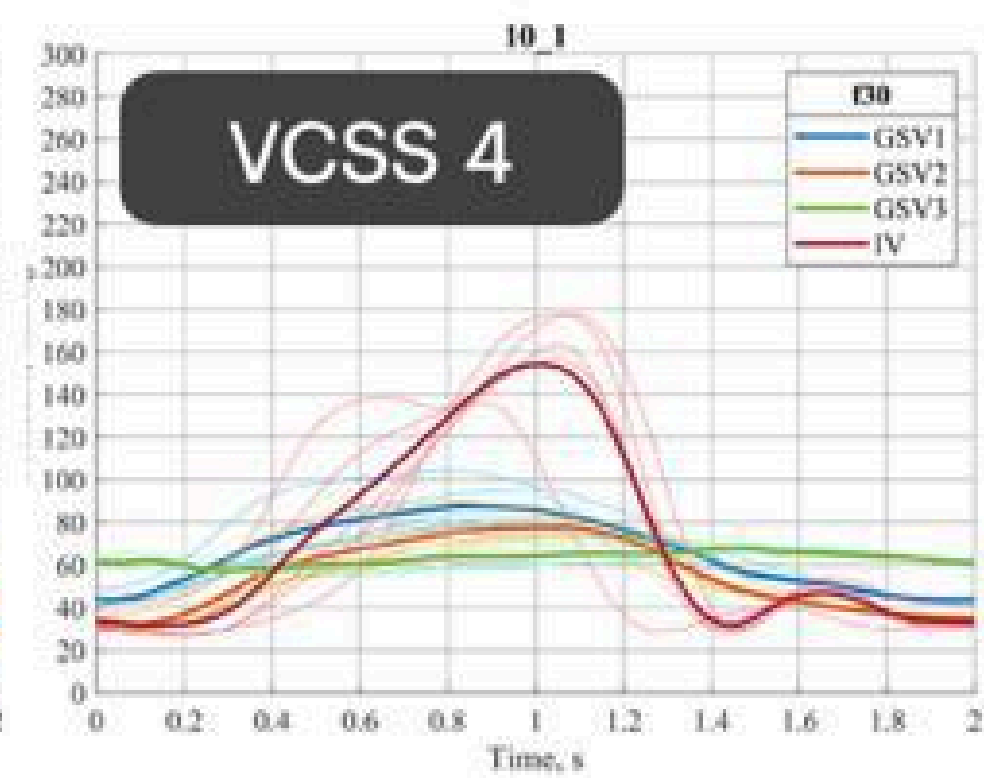
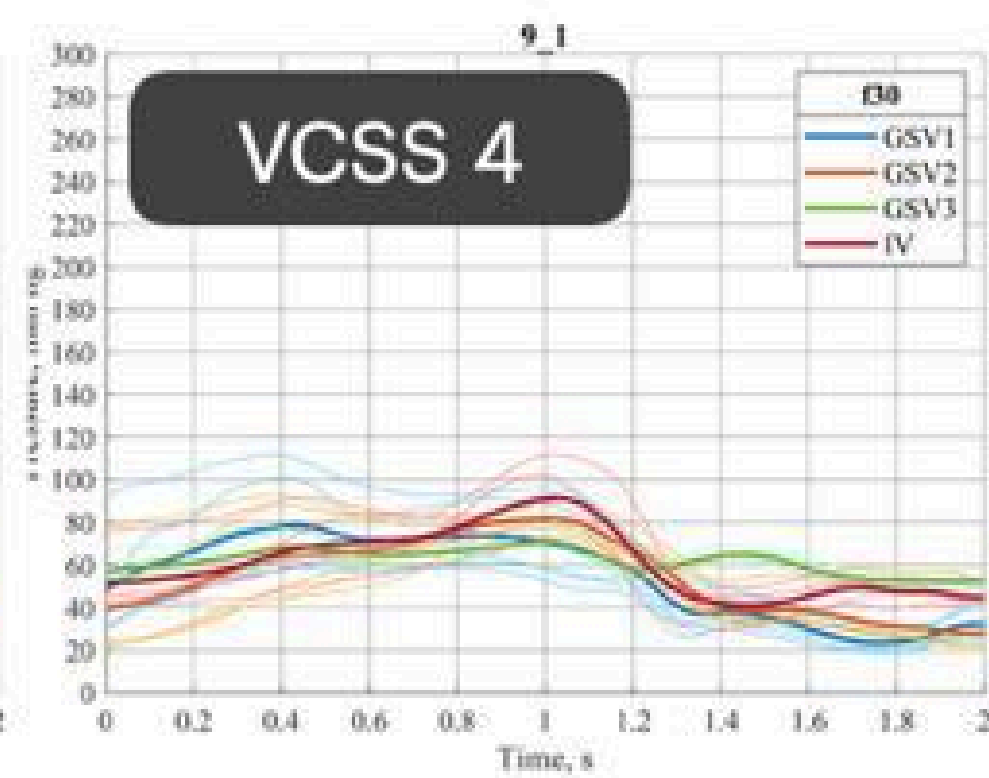
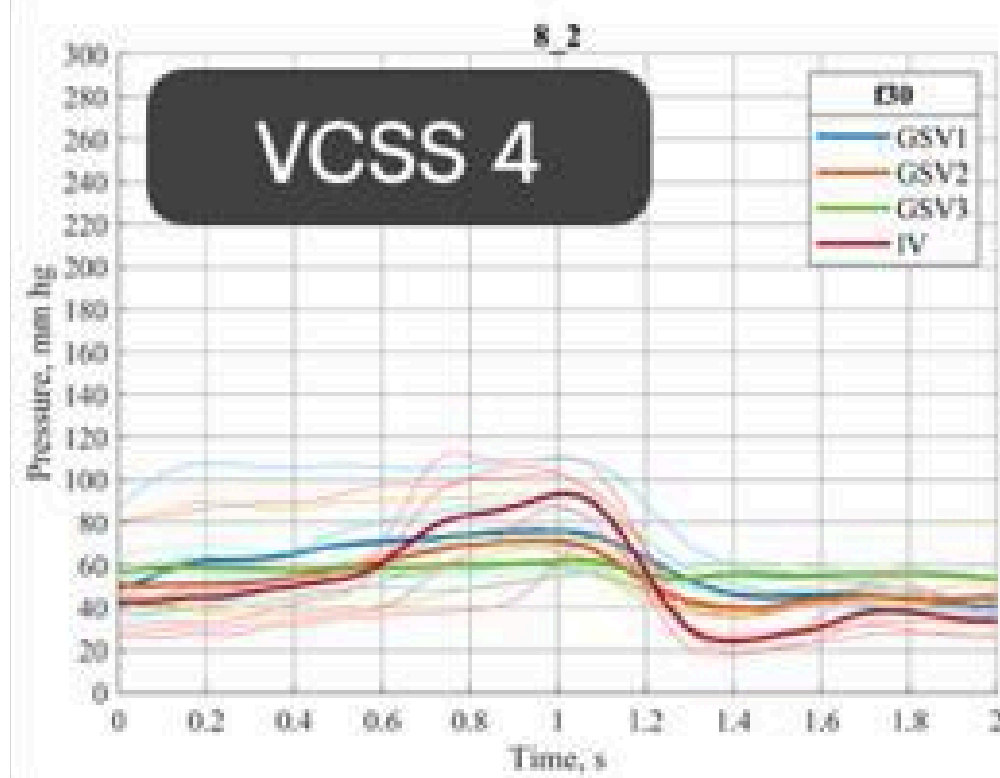
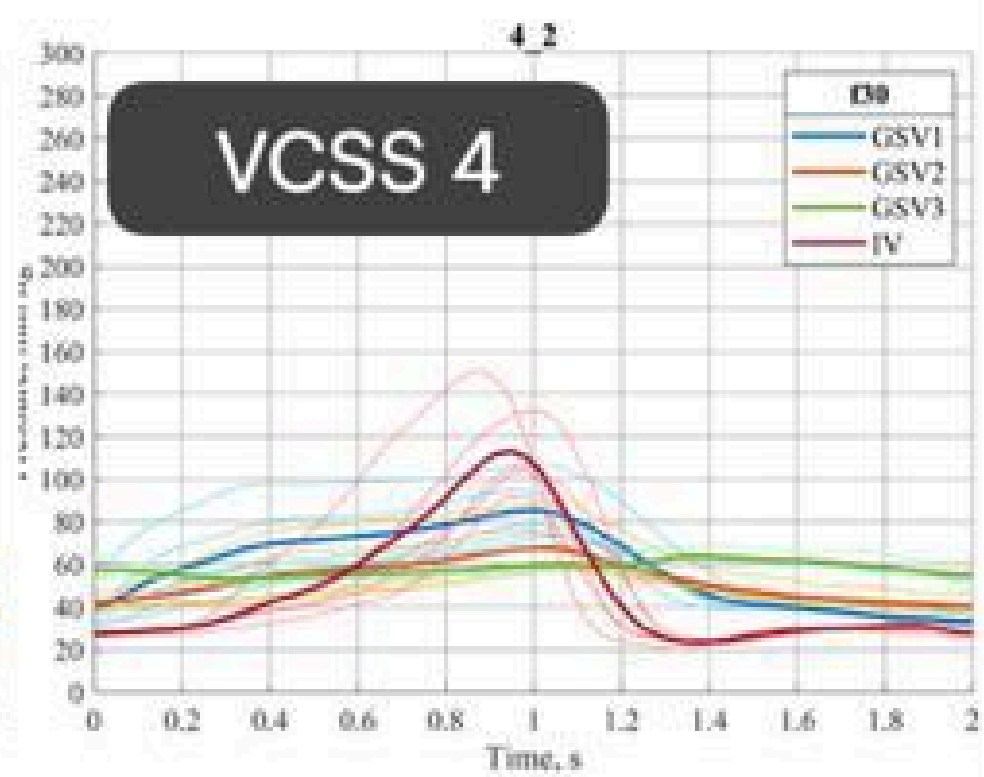
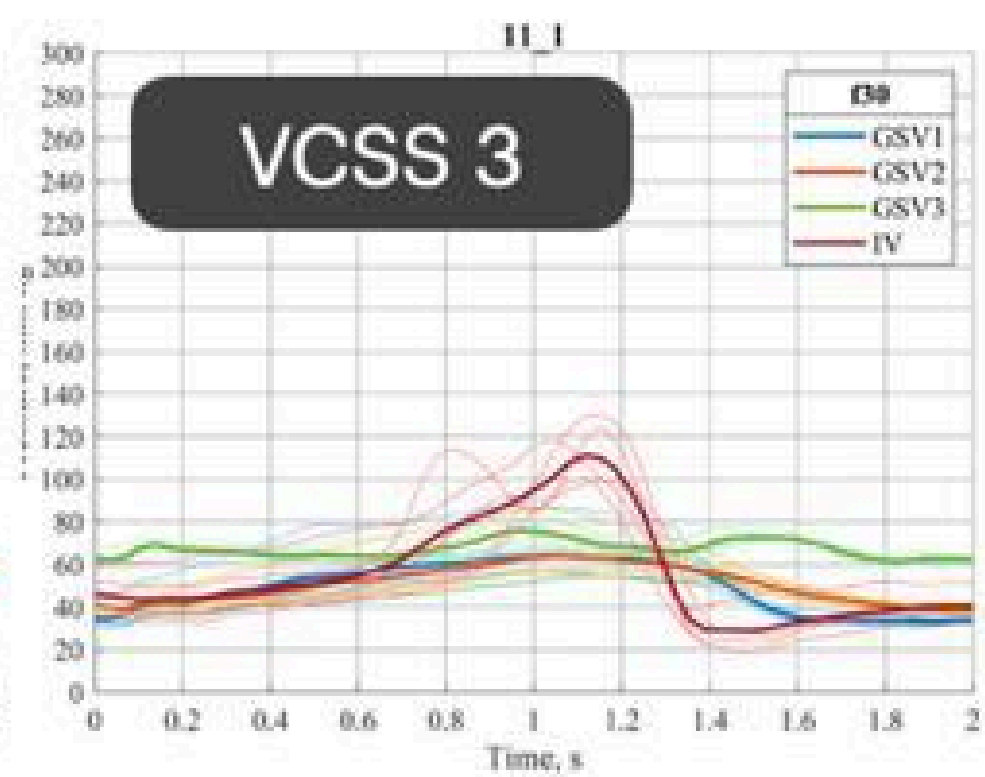
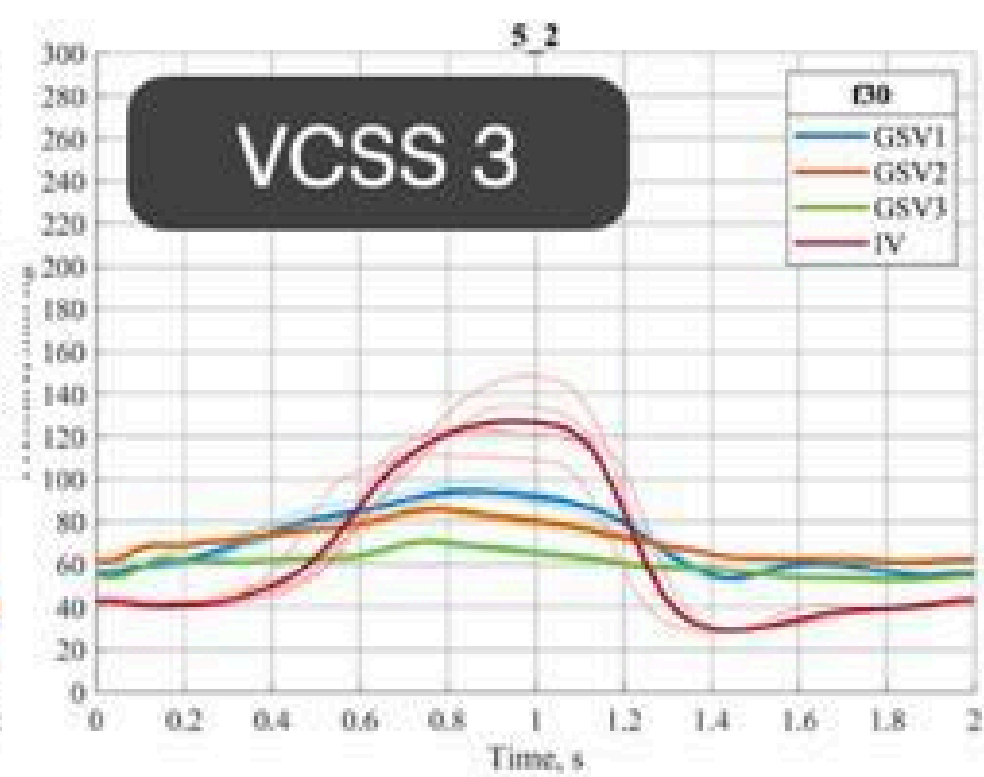
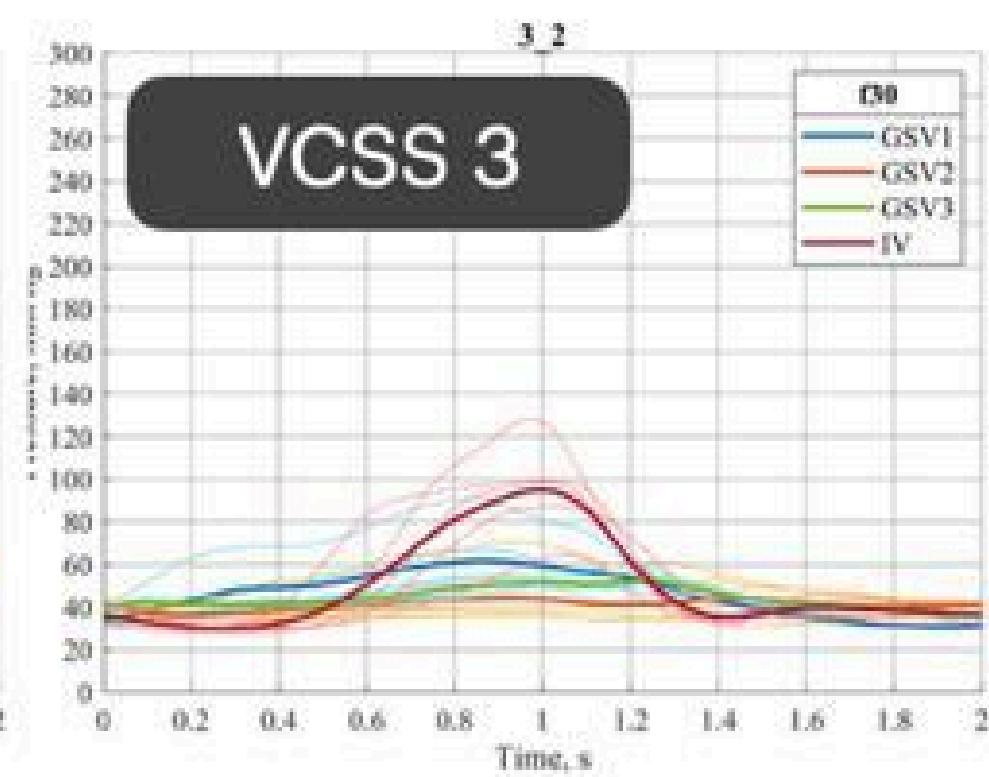
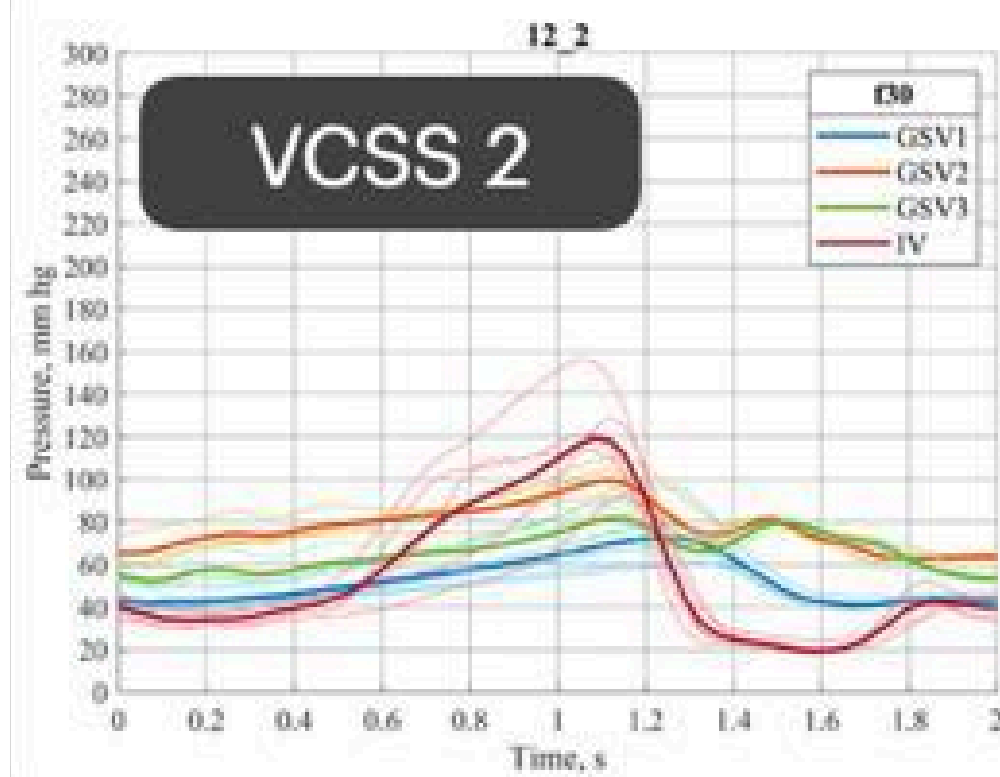
# ФИЗИОЛОГИЯ ЗДОРОВЫХ ↓



**RLVH**  
RESEARCH LABORATORY OF  
VENOUS HEMODYNAMICS



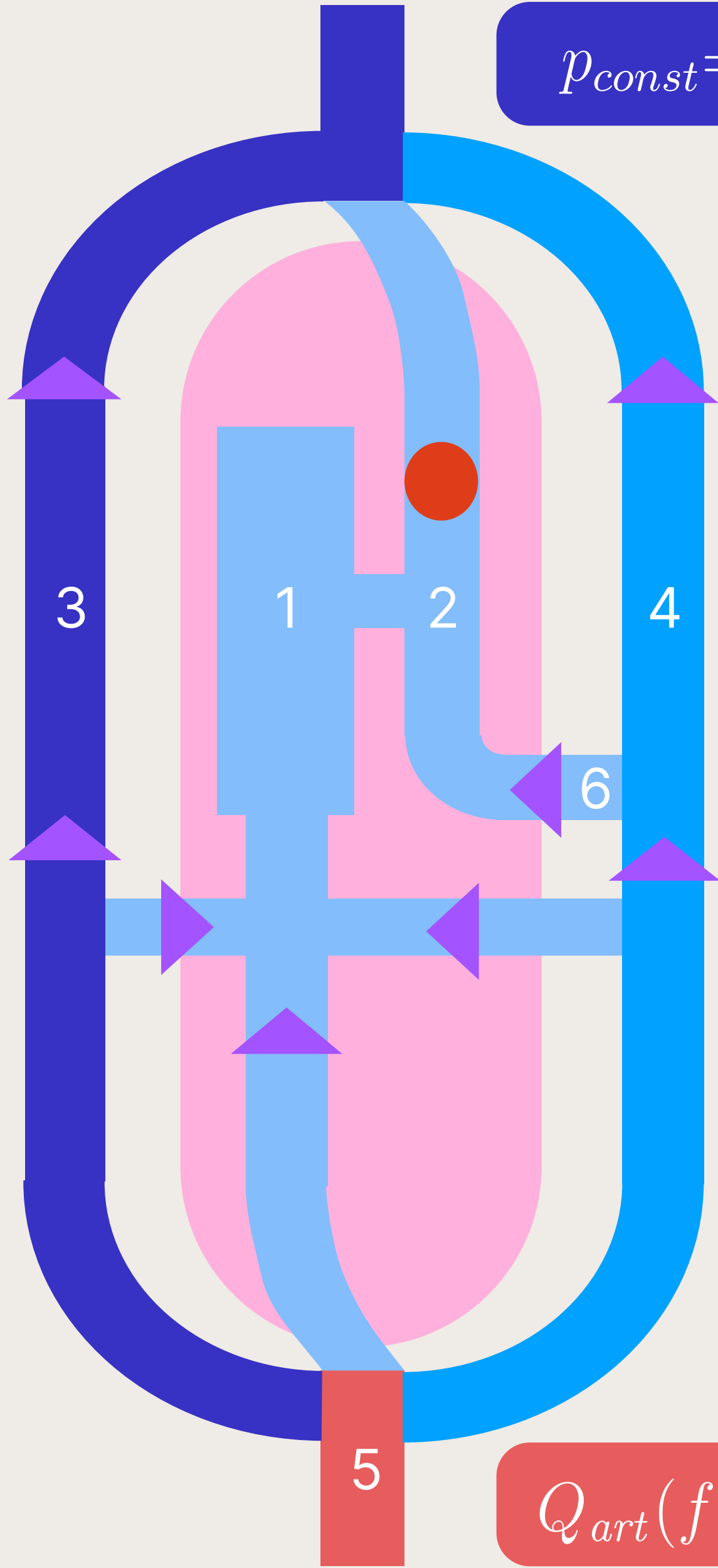






$p_{const} = 15 \text{ mm Hg}$

# 1D МОДЕЛЬ КРОВОТОКА



$Q_{art}(f) = 0.3e^{0.0328f}$

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

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

## Г.У. И Н.У.

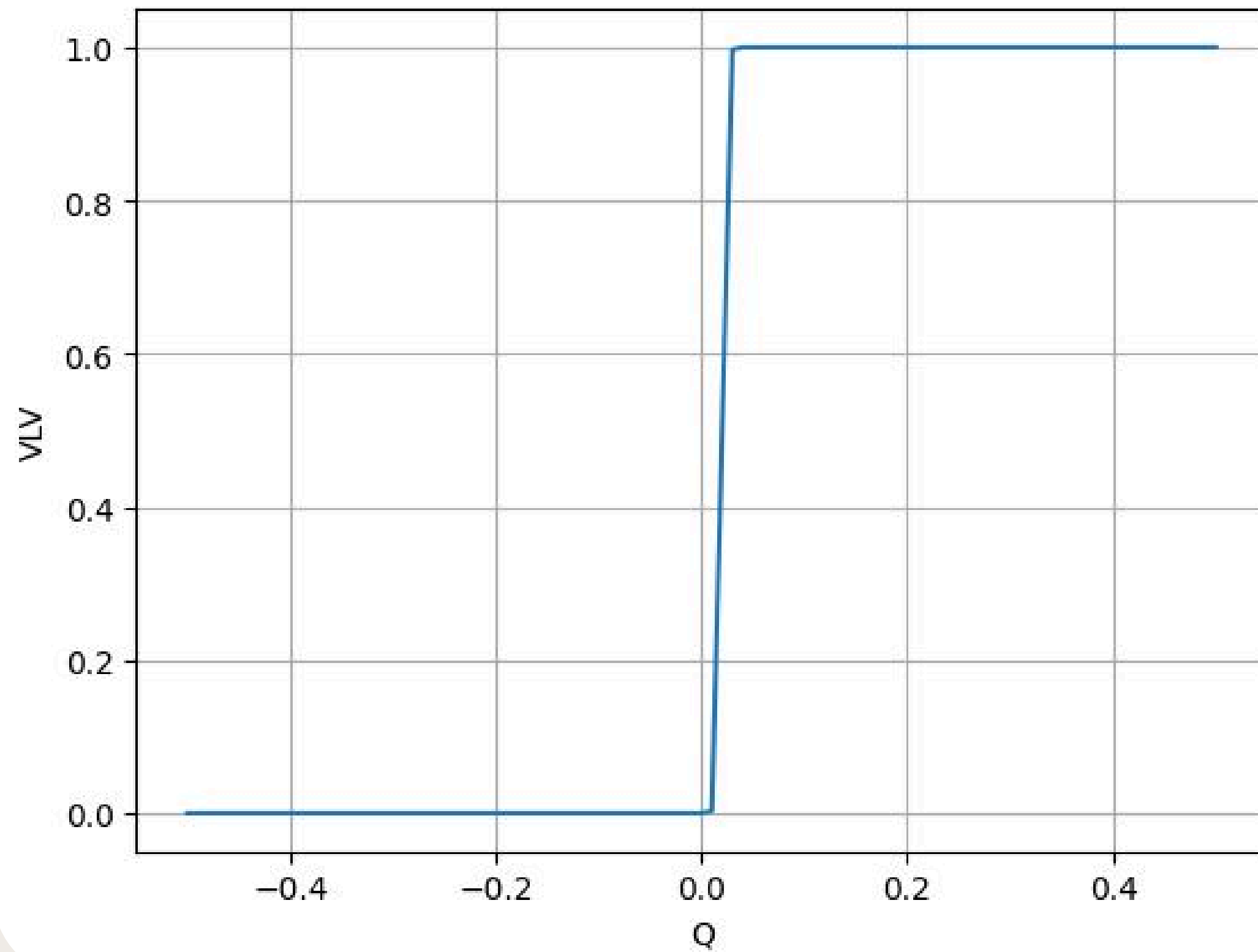
$$\sum_k \varepsilon_k S_k(t, \tilde{x}_k) u_k(t, \tilde{x}_k) = 0$$

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

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



# КЛАПАН

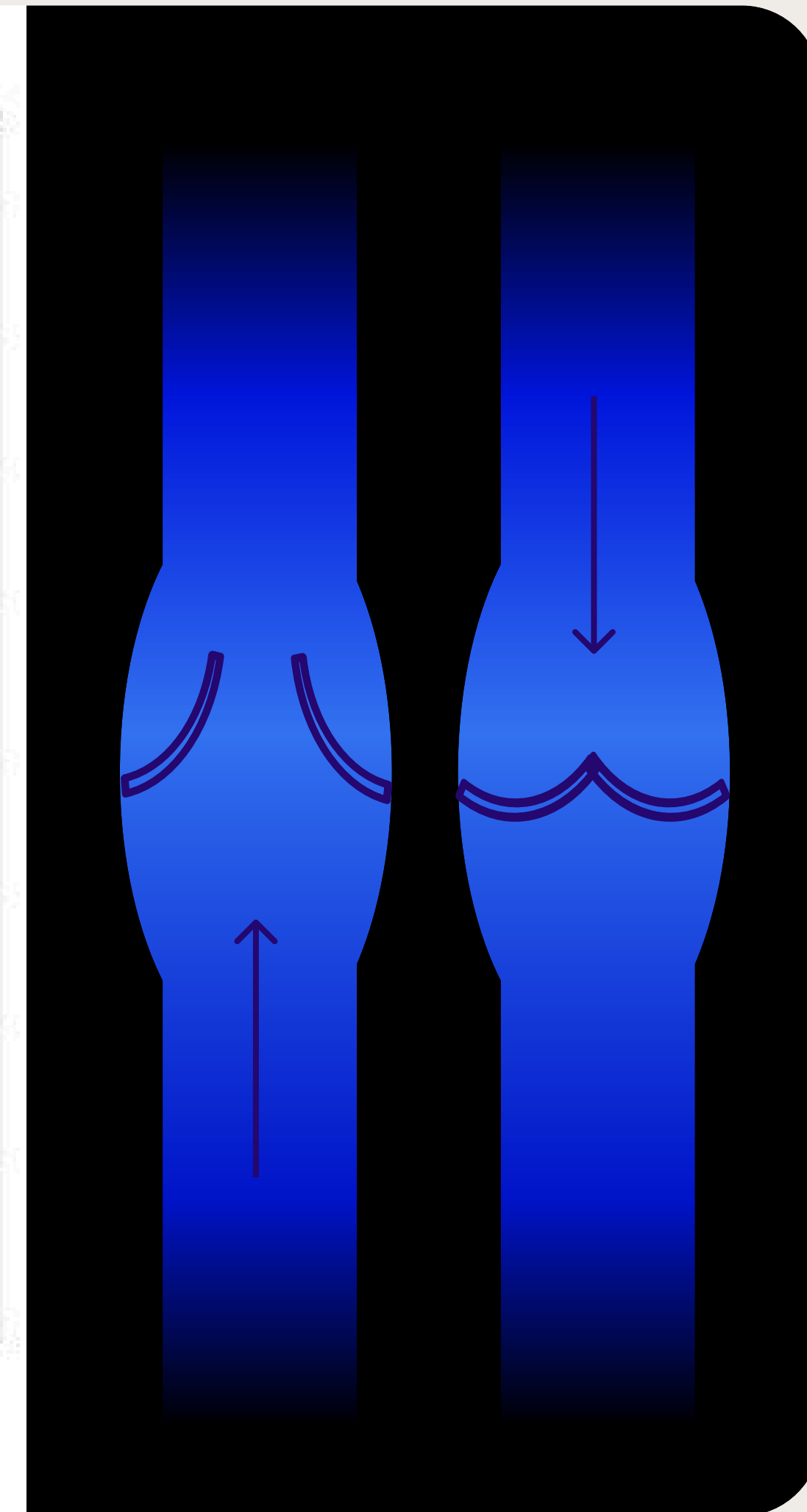
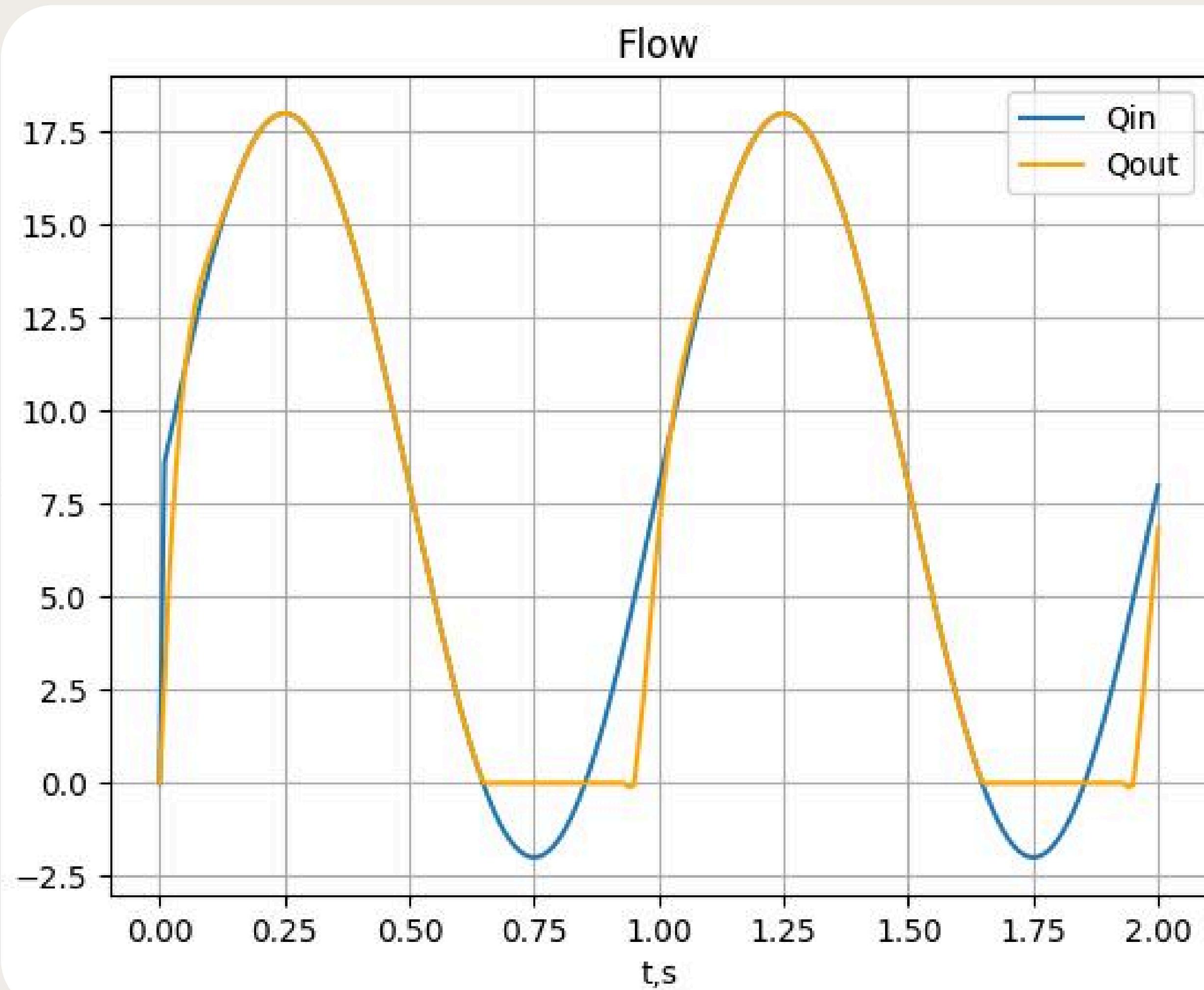


$$VLV(U)\Delta P = RQ$$
$$VLV(U) = 1/(1 + e^{(-C_1*(U-C_2))})$$

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



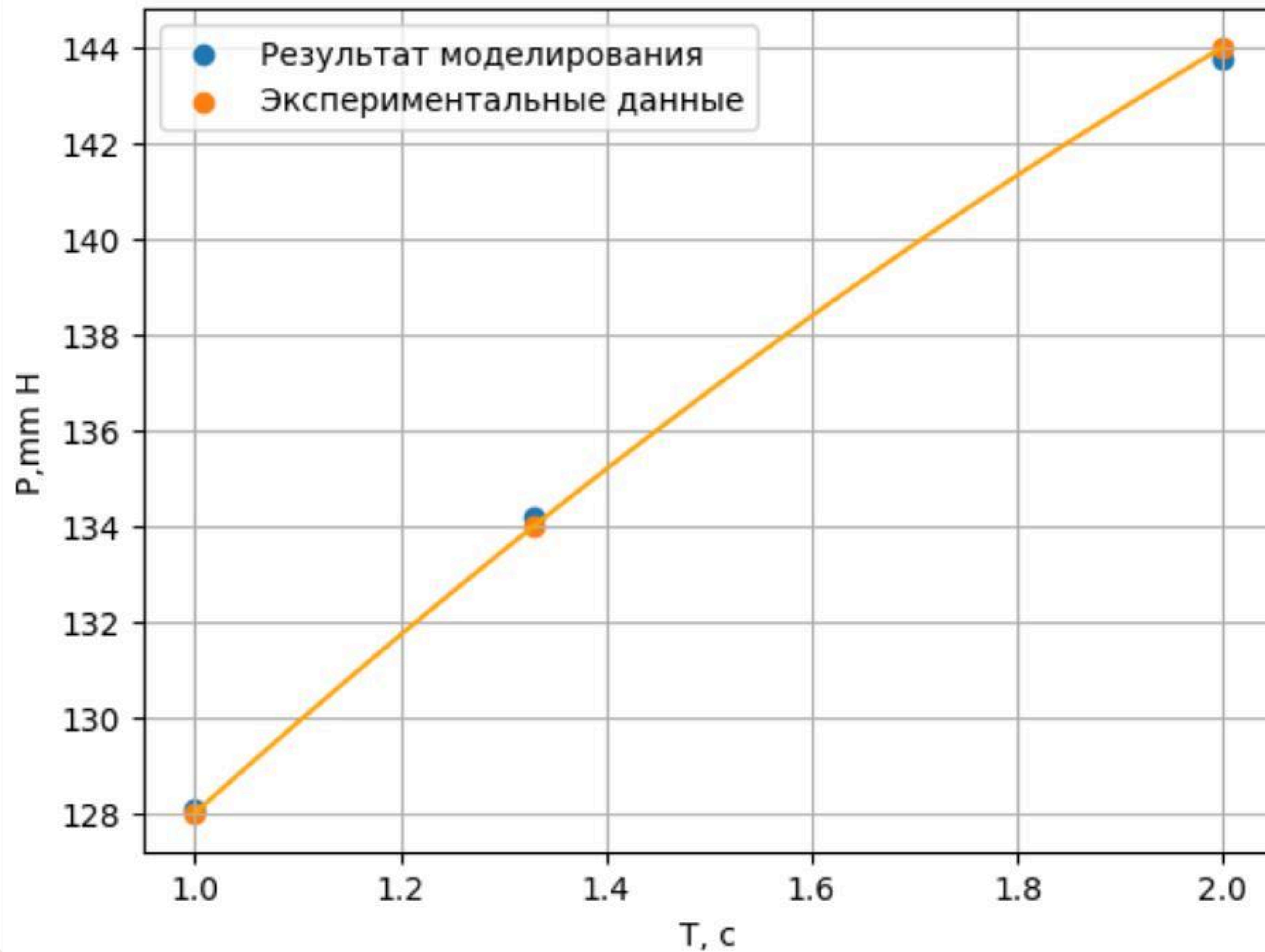
# КЛАПАН





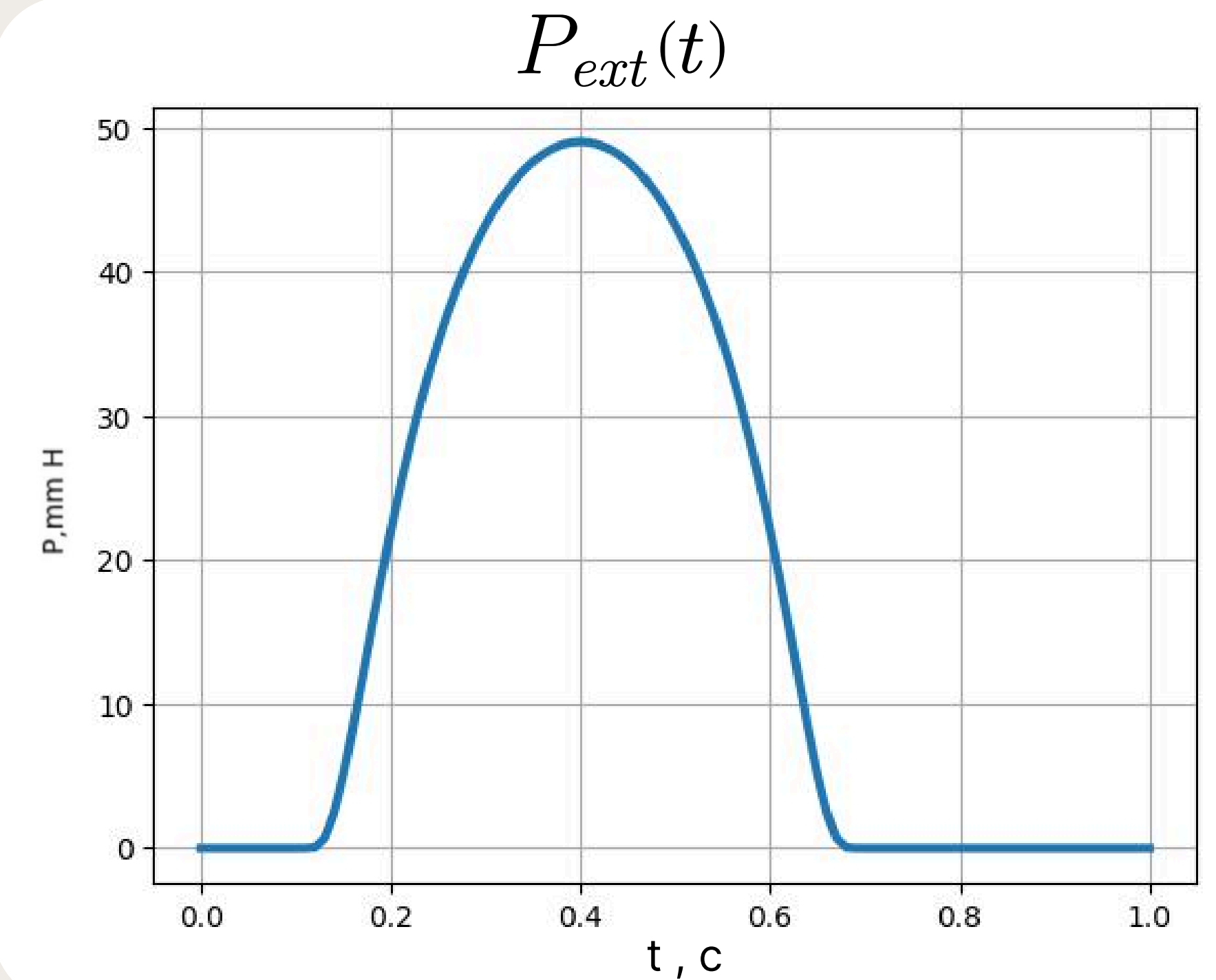
# МЫШЦЫ ↓

Амплитуда давления в зависимости от периода шага



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

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





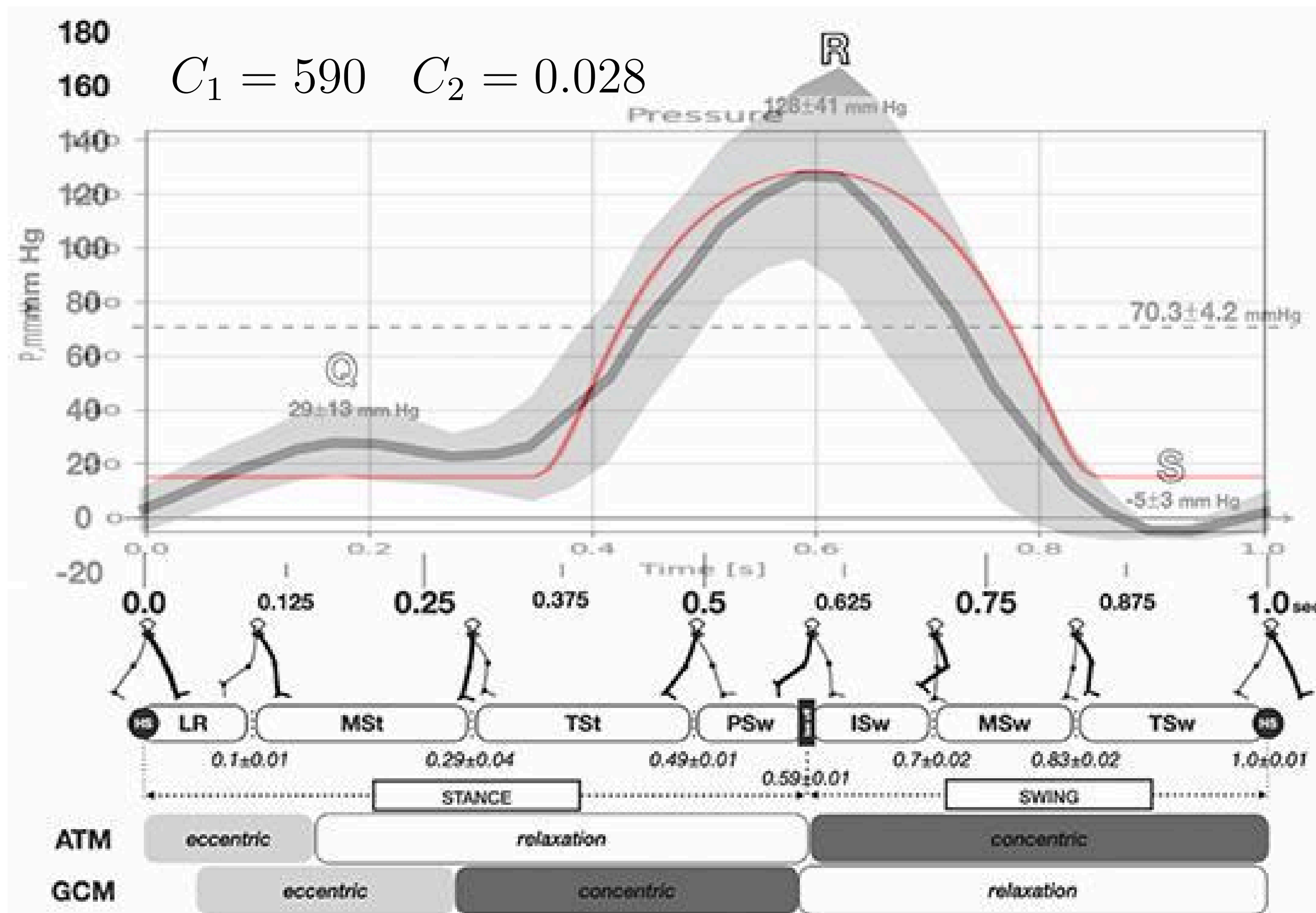
# T = 1.0 c

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.

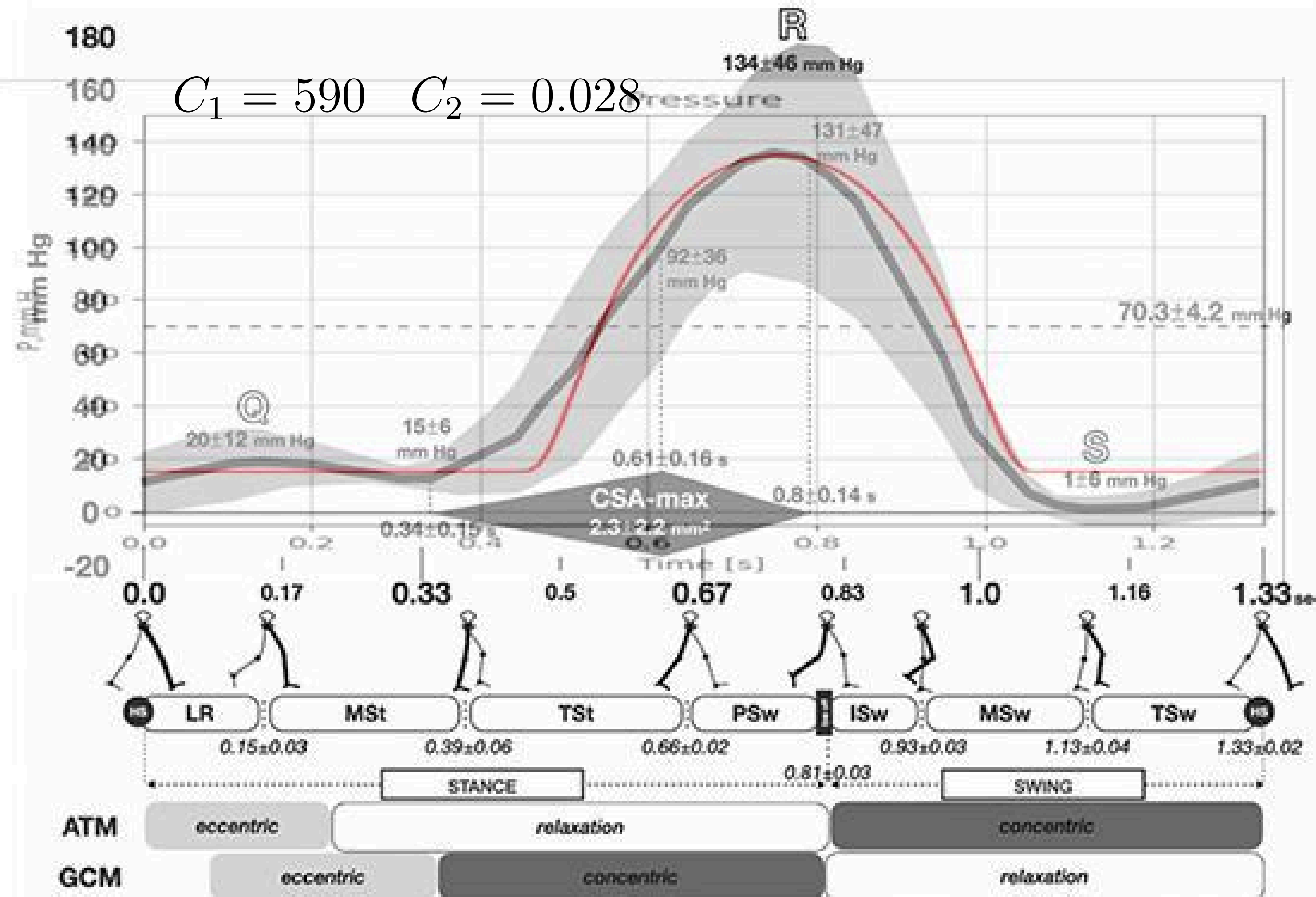
Calf muscle pump pressure-flow cycle during  
ambulation

Journal of Vascular Surgery: Venous and Lymphatic  
Disorders

2020

## Данные пациентов

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









**СПАСИБО**

**ЗА ВНИМАНИЕ!**