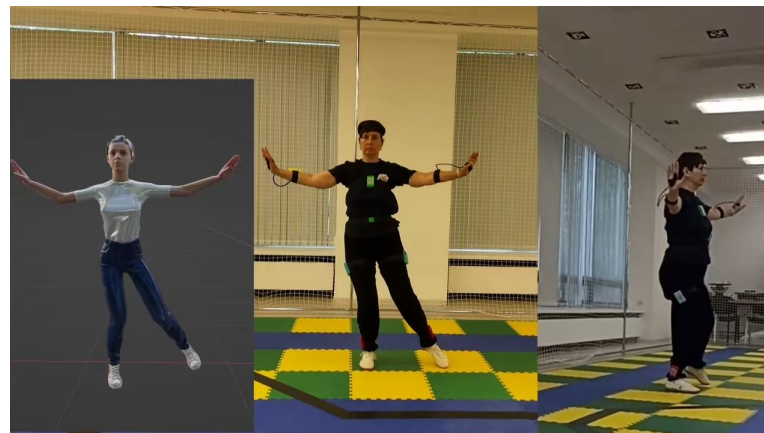


# Задачи в лаб.11



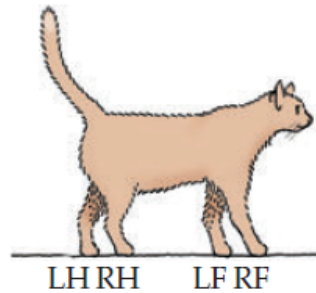
## 1. Биологические методы управления движением

- модели центральных генераторов паттернов
- нейромодуляция и обучение с подкреплением

## 2. Анализ движений по показаниям IMU датчиков

- сбор, пост-обработка и анализ данных
- перенос на скелетно-мышечные модели
- обратное обучение с подкреплением

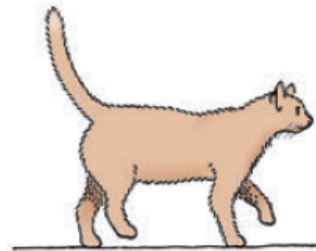
# Локомоторные паттерны



Walk



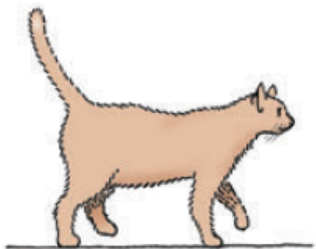
Limbs move  
in sequence  
LH → LF → RH → RF



Trot



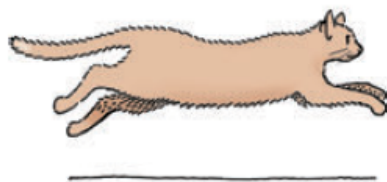
Two opposite legs  
on ground (LH, RF)  
and off ground  
(LF, RH)



Pace



Both legs on same  
side on ground  
or off ground



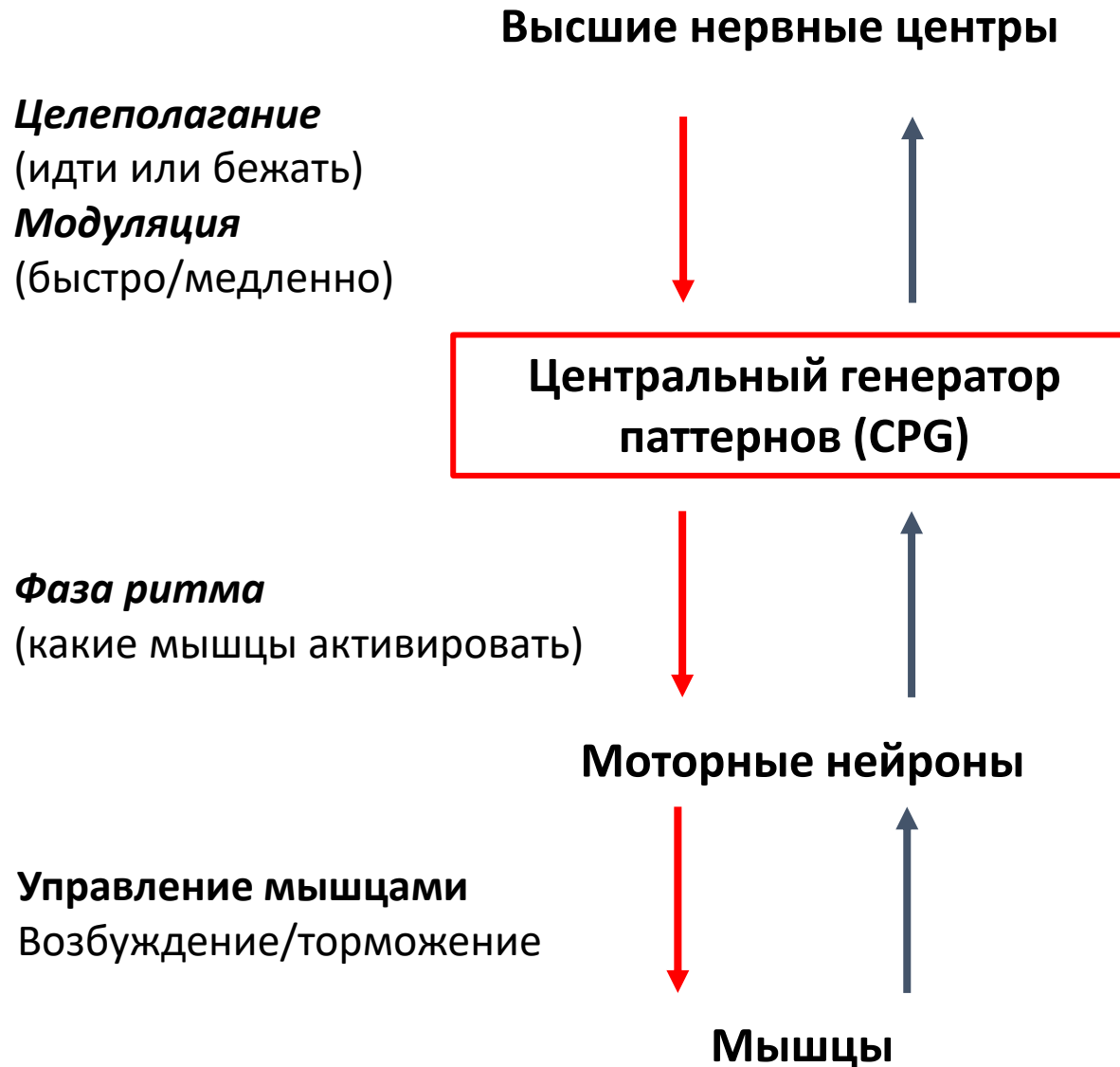
Gallop



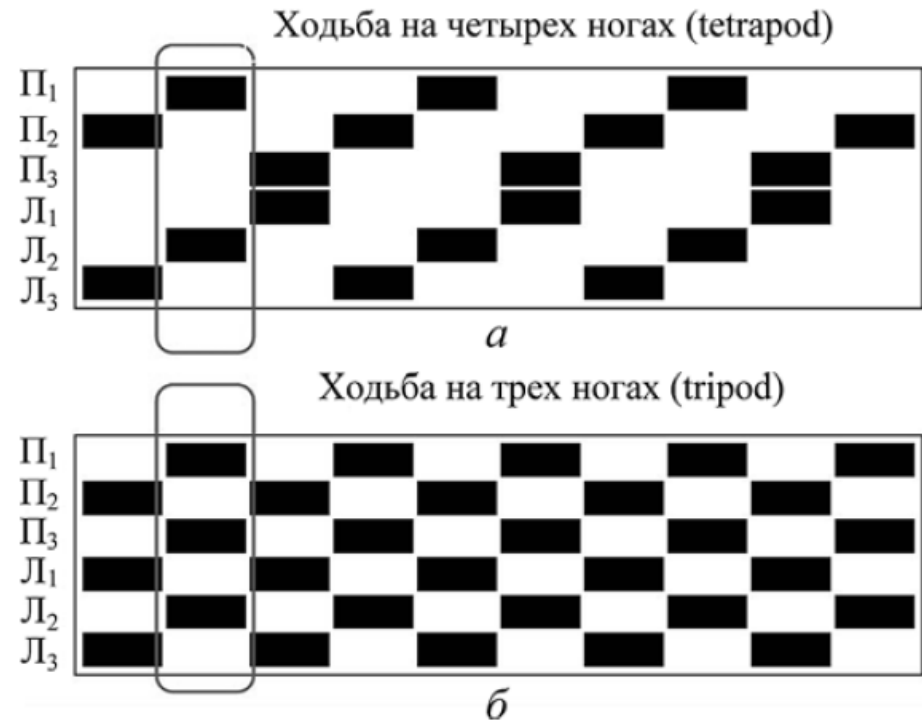
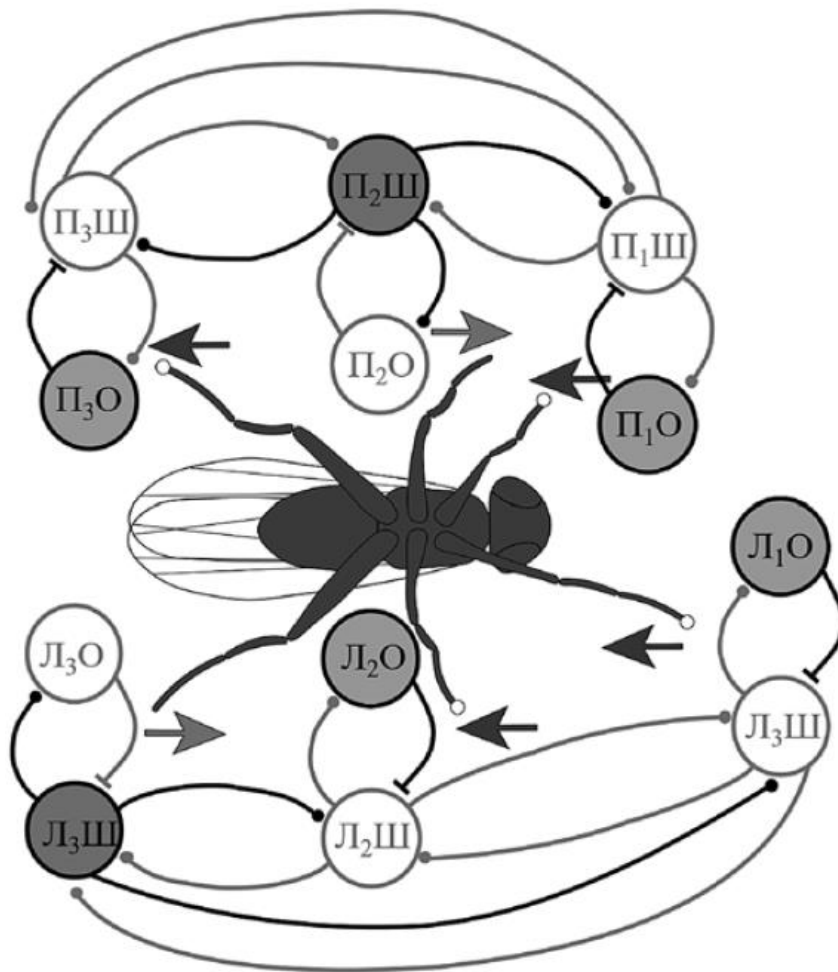
Both hind legs or  
both front legs off  
ground, or all  
four legs briefly

Time →

# Управление локомоцией

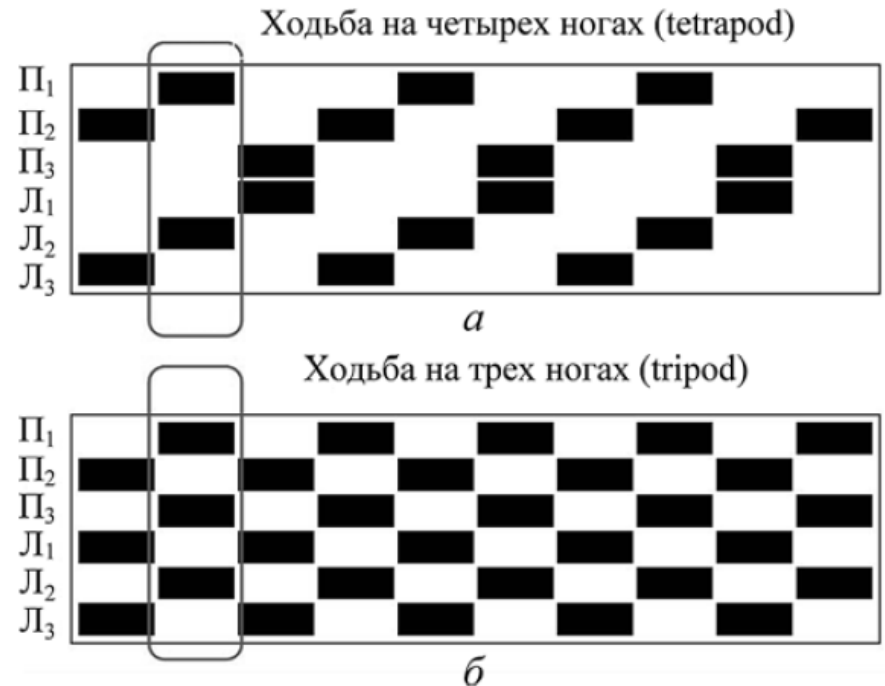
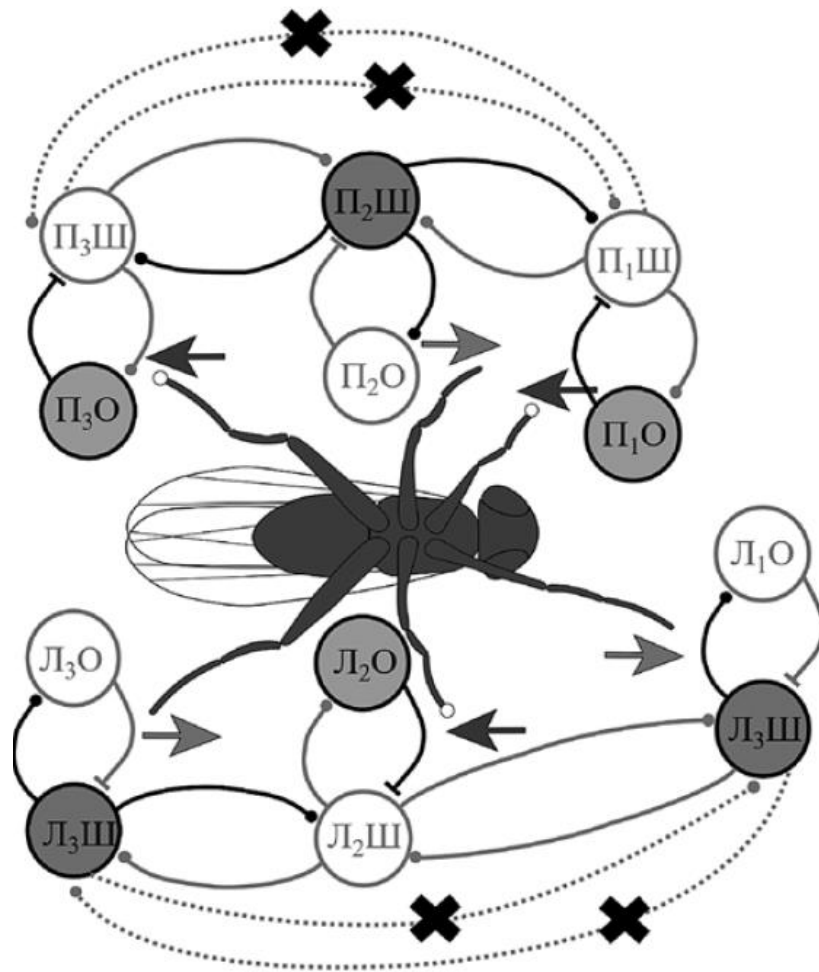


# Центральные генераторы паттернов



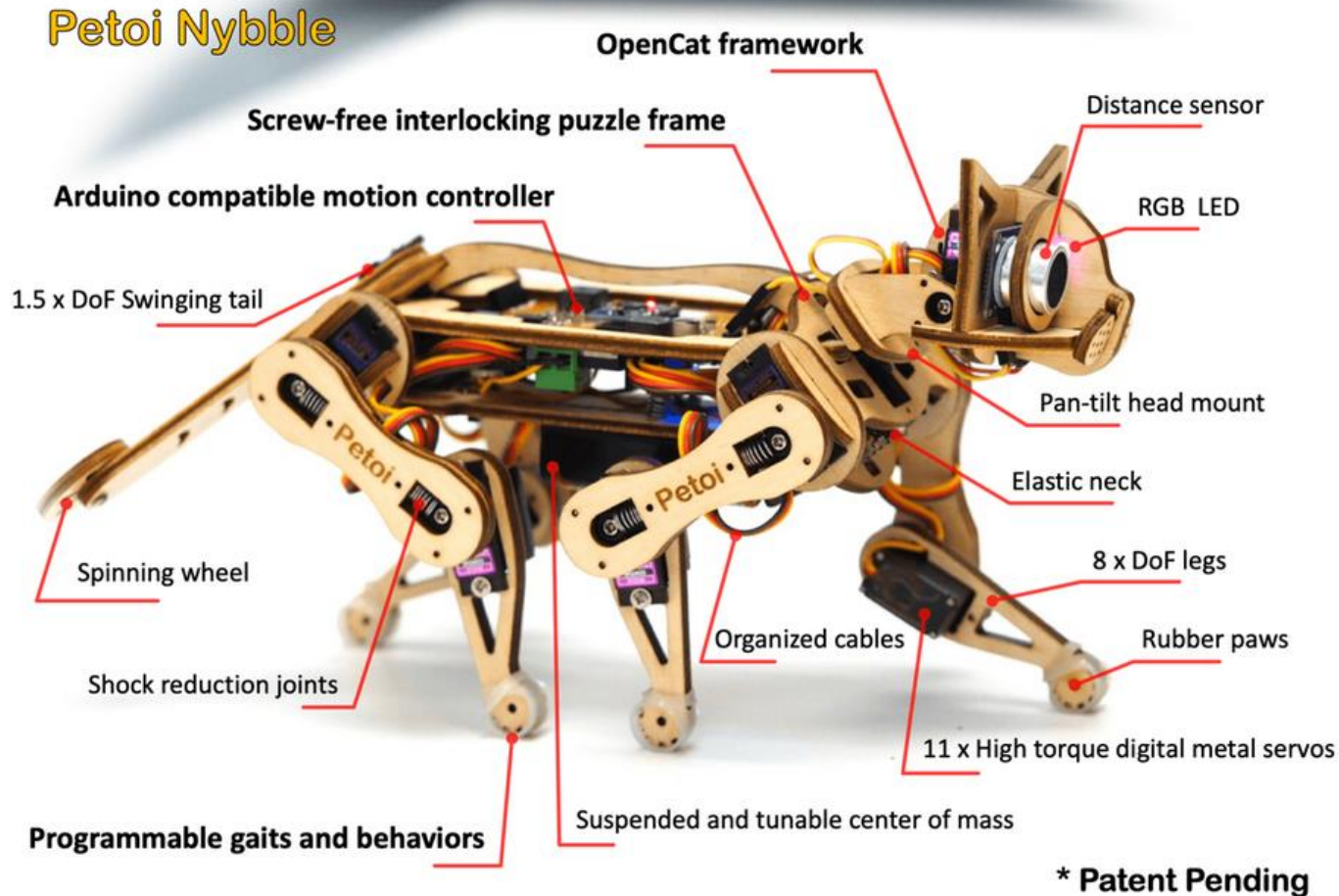
Болдышев, Б. А., & Жиликова, Л. Ю. (2021). Нейромодуляция как инструмент управления нейронными ансамблями. *Проблемы управления*, 2(0), 76-84.

# Переключение ритма



Болдышев, Б. А., & Жиякова, Л. Ю. (2021). Нейромодуляция как инструмент управления нейронными ансамблями. *Проблемы управления*, 2(0), 76-84.

# Робот-кошка (совместно с лаб.80)



<https://nybble.petoi.com/>

<https://github.com/PetoiCamp/OpenCat>

# Задачи для курсовой/диплома

## Инженерные

- освоить управление роботом OpenCat
- научиться программировать простые движения
- добавить показания датчиков: IMU
- добавить сложные навыки и элементы ИИ: зрение, слух

## Научные

- модель локомоторного генератора для базовой походки
- переключение между несколькими ритмами: походка, приседание, бег (?)
- обучение с подкреплением: новое движение с нуля, адаптация к изменениям (повреждения)
- нейромодуляция: управление ритмами
- имитация поведения реальной кошки: общение, «питание», игра

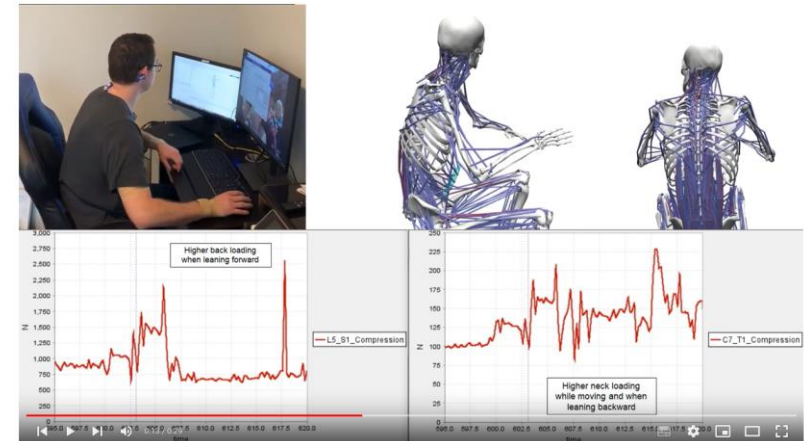
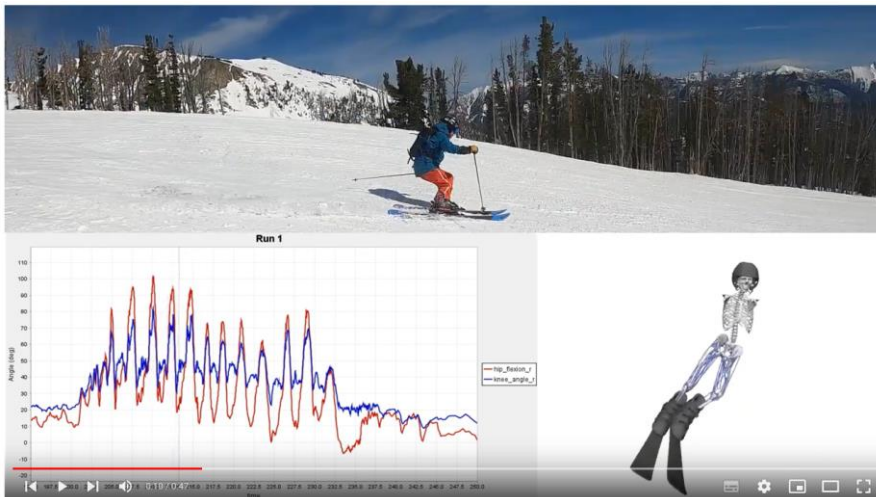
# Моделирование движений человека

**Локальная цель – создание моделей конкретных видов активности**

- Удаленная диагностика и контроль при обучении или реабилитации
- Искусственные ассистенты для спортсменов или пациентов
- Поиск более эффективных вариантов выполнения движений

**Глобальная цель - создание персональных цифровых двойников двигательной активности для конкретных людей**

- Механическая модель опорно-двигательного аппарата (есть готовые)
- Поведенческая модель управления движением конкретного человека



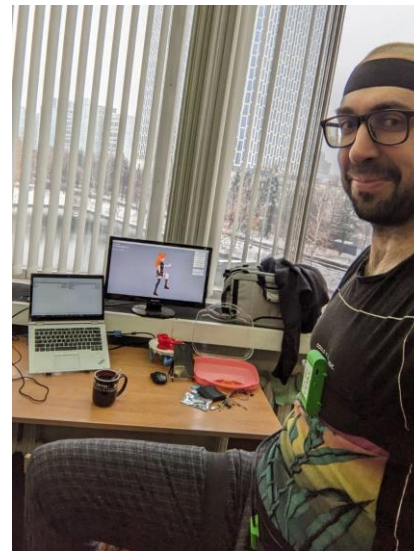
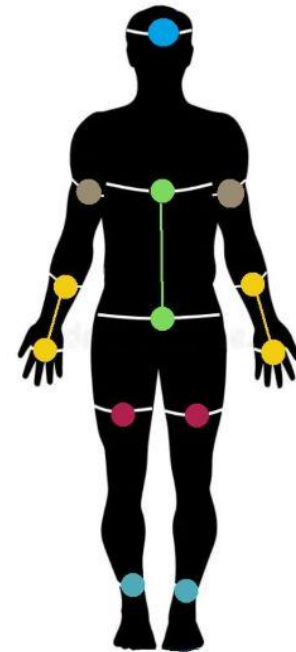
<https://www.youtube.com/@jonmortensen7642>

# Анализ движений по показаниям IMU датчиков

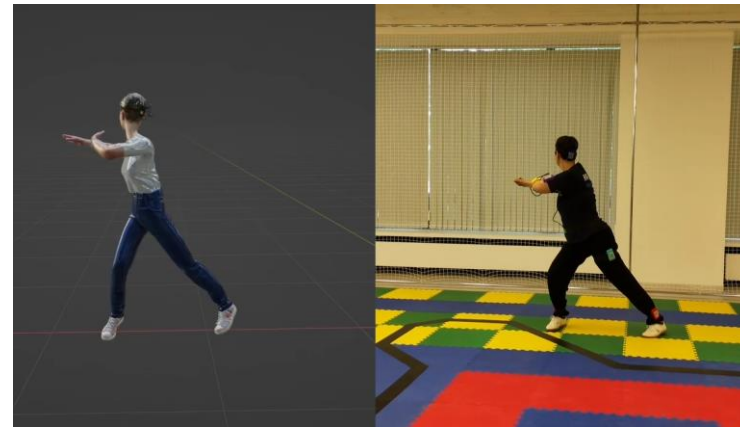
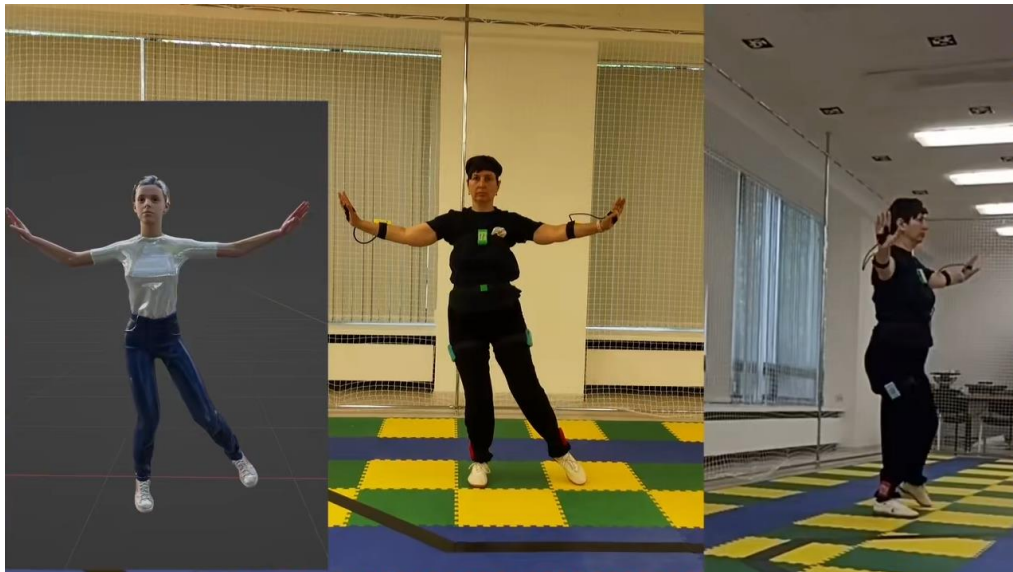
Комплект из 13 датчиков, созданных для системы виртуальной реальности SlimeVR.

## Состав датчика

- Инерциальный 6-осевой датчик BMI160
- Wi-Fi-модуль Lolin D1 mini
- Аккумулятор с контролем заряда 804040 Li-Po



# Примеры реконструкции



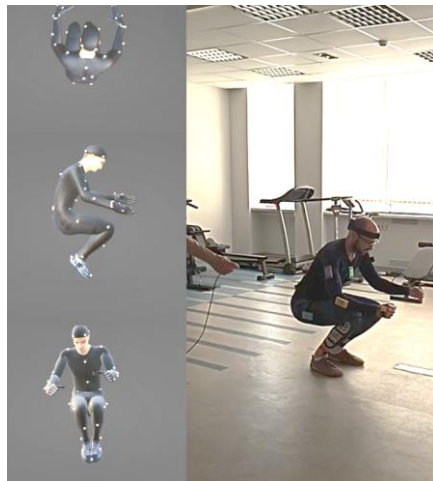
# Анализ упражнений

## Реконструкция позы

Правильно



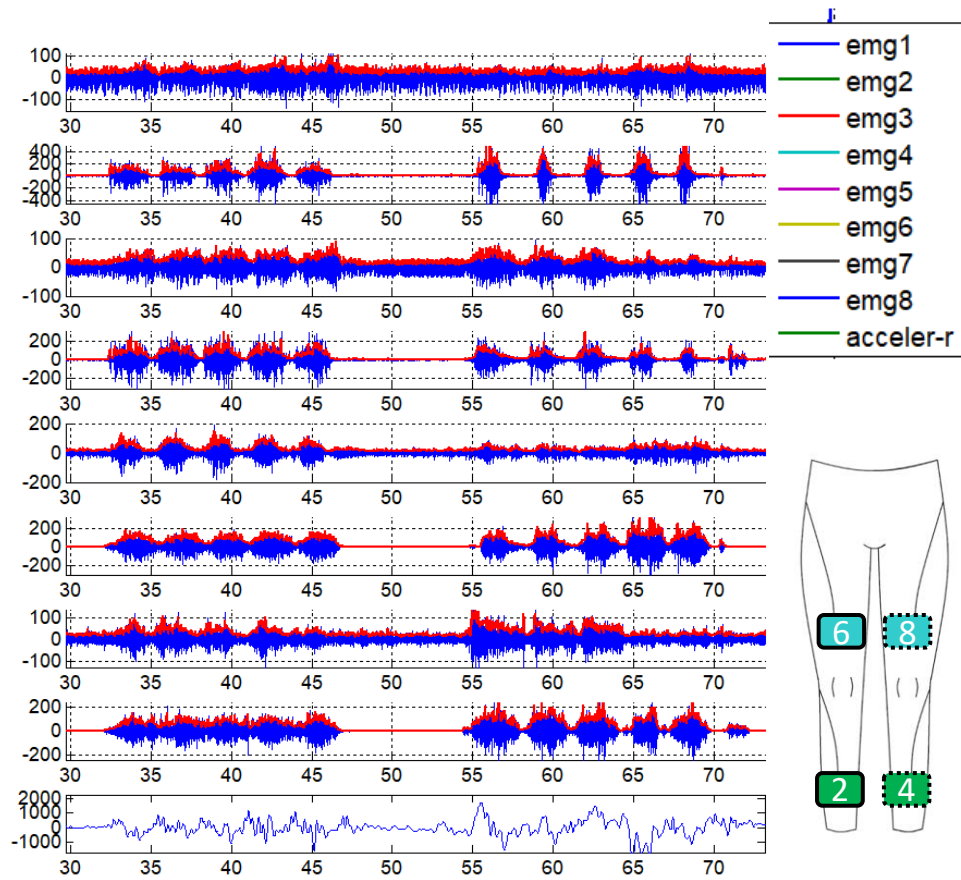
Ошибки



## Мышечная активность (ЭМГ)

Правильно

Ошибки



30 – 50 сек

55– 70 сек

# Скелетно-мышечные модели

1. **Скелет** - состоит из связанных твердых элементов
2. **Мышечно-связочные комплексы (MTU)**. Состоят из активных (мышцы) и пассивных (связки) пружин
3. **Силы реакции опоры (GRF)** – упругие элементы
4. **Активация мышц** – управляющие воздействия

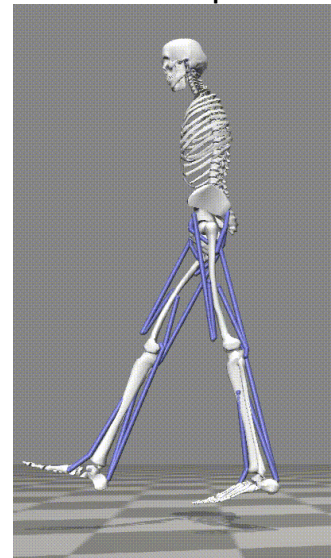
Симулятор OSIM:  
<https://opensim.stanford.edu>

Модели, доступные в среде OpenSim

## **Gait10dof18**

10 DoF

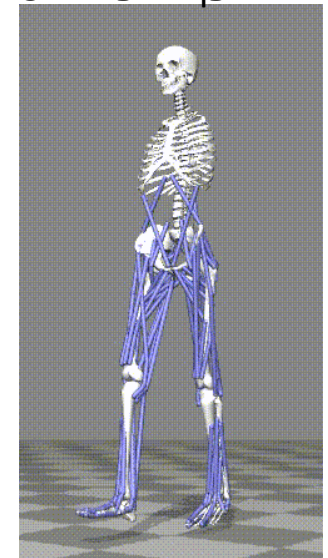
18 мышцы



## **Gait2392**

23 DoF

92 мышцы



# Обратное моделирование

## Повторение траектории

Найти **управление**, при котором **модельная** траектория минимально отличается от **наблюдаемой**

## Оптимальное управление

Найти закон **активации мышц**, чтобы получить нужное **движение**, минимизировав стоимость **целевую функцию**

## Обратное оптимальное управление

По наблюдаемым данным определить **параметры функции стоимости**, при которых **модельная** траектория минимально отличается от **наблюдаемой**

## Пример целевой функции

$$\begin{aligned} J = & \frac{10}{t_f} \sum_{i=1}^q \int_0^{t_f} a_i^3(t) dt && \text{мышечные} \\ & && \text{усилия} \\ & + w_1 \frac{10^{-1}}{t_f} \int_0^{t_f} (CoM_x - midBoS_x)^2 dt && \text{устойчивость} \\ & + w_2 \frac{10^{-1}}{t_f} \int_0^{t_f} (head_x - midBoS_x)^2 dt \\ & + w_3 \frac{10^{-6}}{t_f} \int_0^{t_f} \left( \frac{d^3 CoM_x}{dt^3} \right)^2 dt && \text{отсутствие} \\ & + w_4 \frac{10^{-6}}{t_f} \int_0^{t_f} \left( \frac{d^3 CoM_y}{dt^3} \right)^2 dt && \text{рывков} \end{aligned}$$

Nguyen et.al. (2019) *Bilevel Optimization for Cost Function Determination in Dynamic Simulation of Human Gait*. IEEE Trans. on Neural Systems and Rehabilitation Engineering

# Задачи на курсовую/диплом

## Инженерные

- освоить работу с комплектом датчиков
- выбрать упражнение и собрать датасет с примерами правильных/неправильных движений
- преобразовать записи в формате BVH во временные ряды с траекториями ключевых точек
- пост-обработка: фильтрация выбросов, интерполяция пропусков и др.
- перенести данные на скелетно-мышечную модель в среде OpenSim

## Научные

- провести классификацию движений по собранным данным. Адаптировать для онлайн режима, с разными людьми
- сравнить построение позы по IMU датчикам и видеопотоку
- обучить искусственного агента копировать движения человека, управляя скелетно-мышечной моделью

**Спасибо за внимание!**

зав. лаб. 11 **Жилякова Людмила Юрьевна**  
[zhilyakova.ludmila@gmail.com](mailto:zhilyakova.ludmila@gmail.com)

с.н.с. лаб.11 **Николай Ильич Базенков**  
[@nbazenkov](mailto:nbazenkov), [n.bazenkov@yandex.ru](mailto:n.bazenkov@yandex.ru)