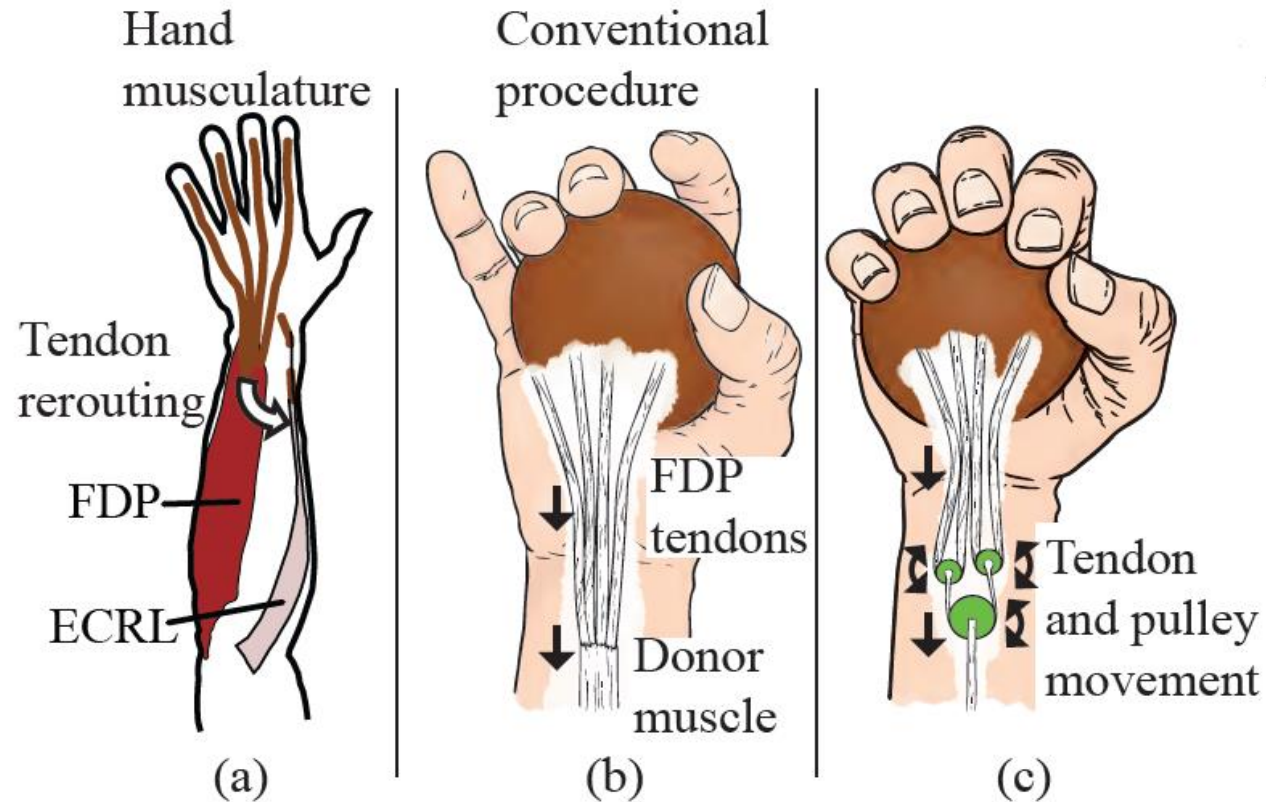


Образовательный модуль
«Матричные методы и моделирование в науках о жизни
и Земле»
6-19 августа 2022 г.

Моделирование операции по восстановлению функции
сухожилий сгибателей пальцев после различных травм



Выполнили:

Логинов Ф.Б.

Пивоваров Б.Д.

Попова К.Р.

Тихвинский Д.В.

Тягунова А.И.

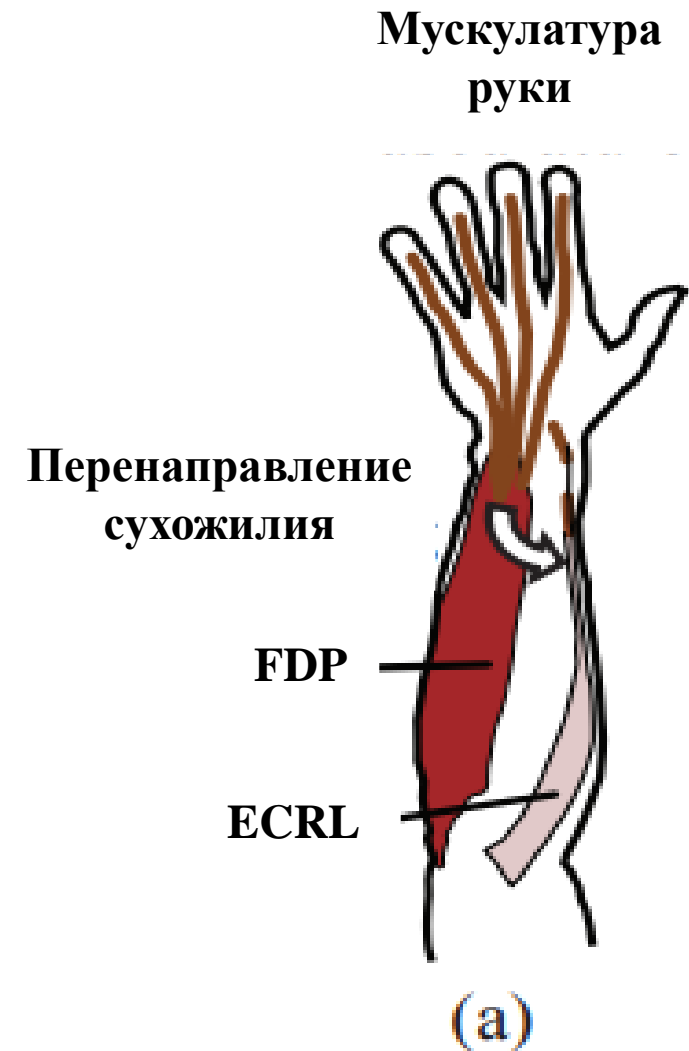
Руководители:

Юрова А.С.

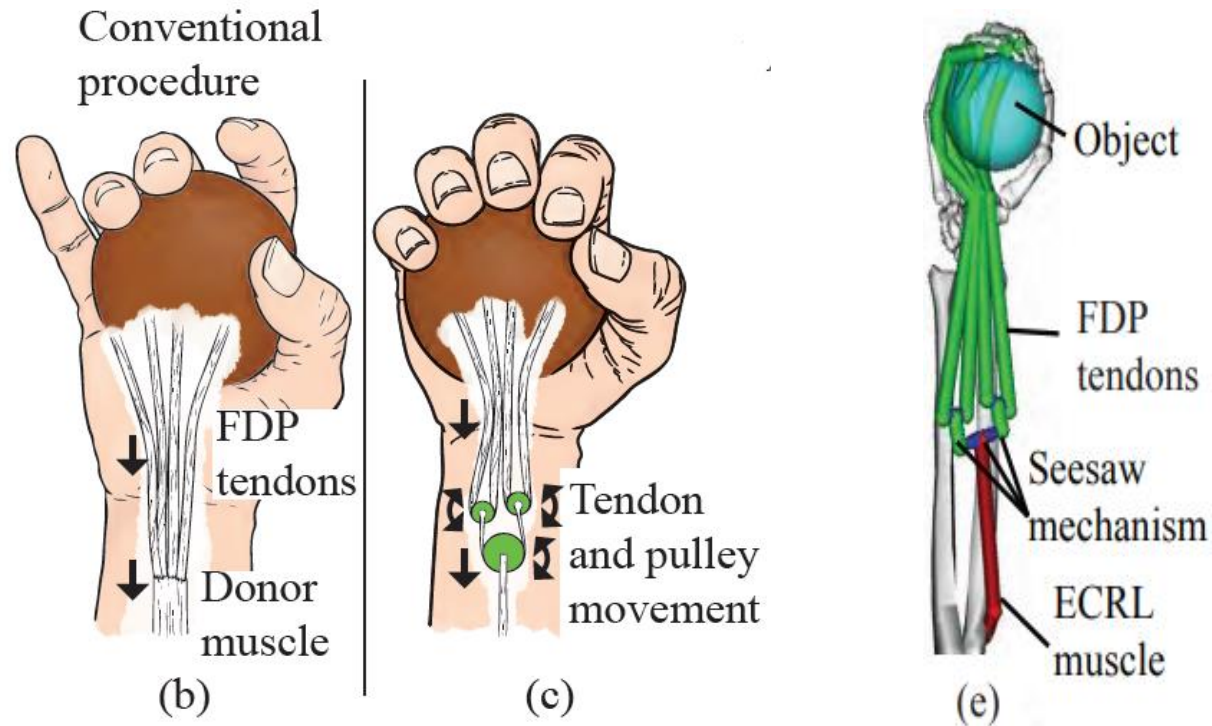
Саламатова В.Ю.

Мотивация

Для восстановления способности сгибания пальцев хирургическая процедура заключается в непосредственном наложении швов на сухожилия глубокого сгибателя пальцев (FDP) всех четырех пальцев к функционирующей донорской мышце, такой как длинный лучевой разгибатель запястья (ECRL). Метод прямого сшивания приводит к недостаточной силе/хватательной способности нескольких пальцев.



Возможное решение проблемы



Montgomery J., Balasubramanian R. et. Al. New tendon-transfer surgery for ulnar-median nerve palsy using embedded adaptive engineering mechanism. *Proceedings of the 11th International Symposium, Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering April 3 - 7, 2013, Salt Lake City, Utah, USA*

Постановка задачи

Цель:

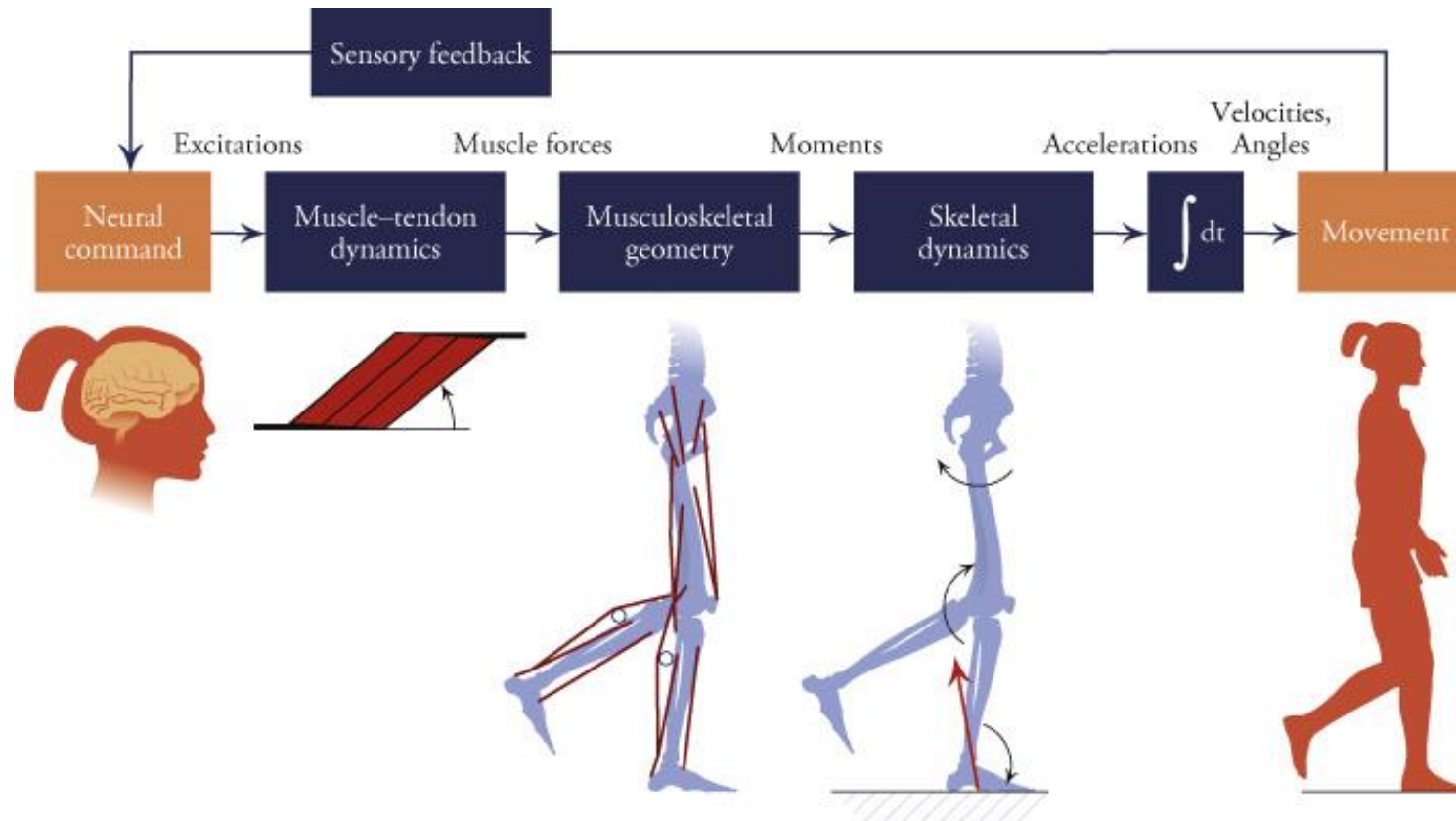
- Воспроизвести стандартный протокол операции по восстановлению функции сухожилий для дальнейших модификаций

Задачи:

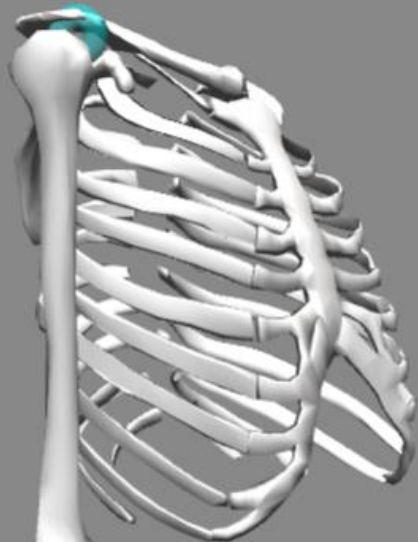
- Подготовить модель костных и мышечных структур руки, используя известные модели
- Создать модель сгибания пальцев при обхвате мячика
- Сравнить полученные зависимости величины сгибания от времени с данными из статьи

OpenSim

Прямое моделирование:
Задаем активацию одной/нескольких мышц -> Предсказываем
соответствующее движение



Исходные данные: Модель 1

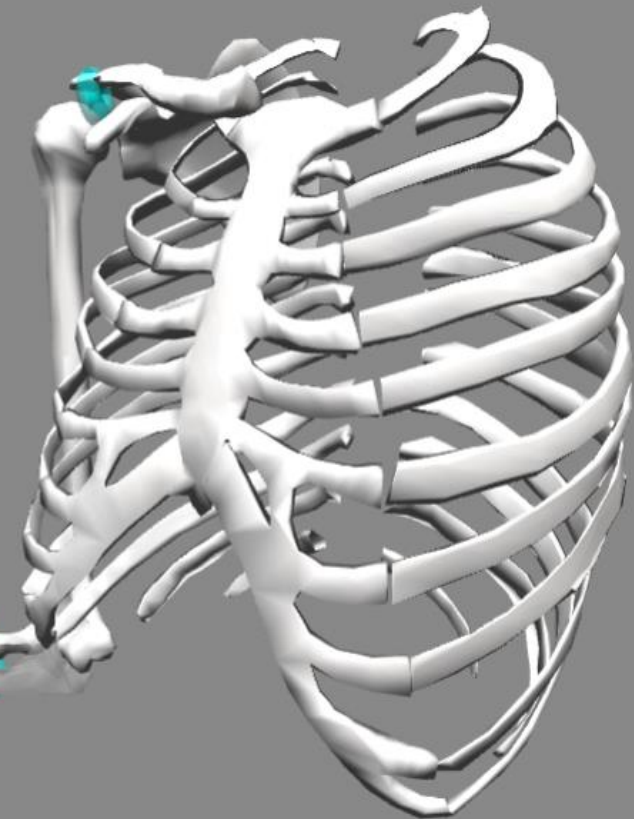
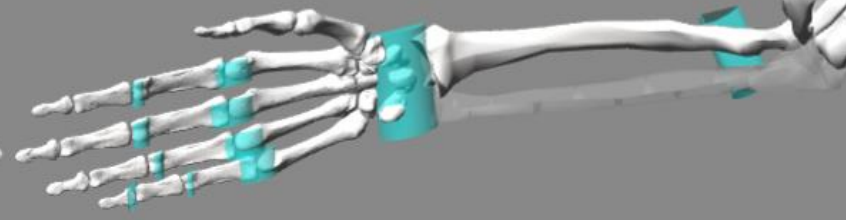
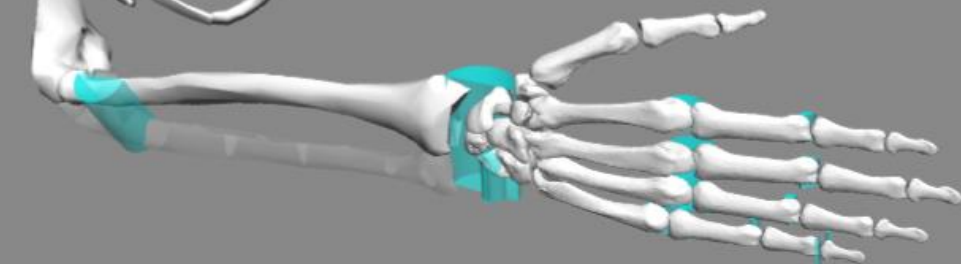


Достоинство:

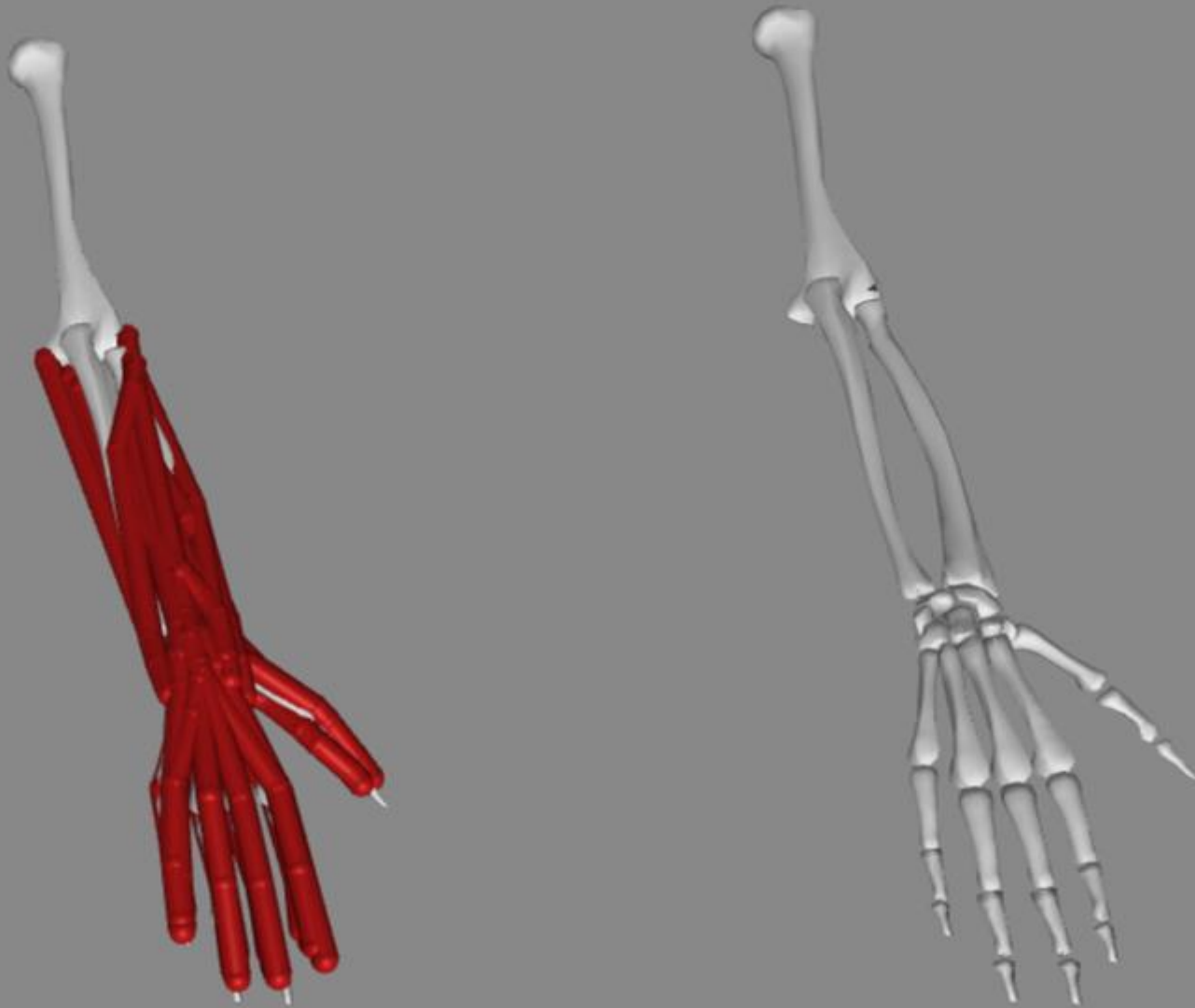
- Известны массы, моменты инерций и центры масс тел

Недостатки:

- Наличие тел с нулевой массой, которые трудно удалить из топологии
- Пясть и запястье объединены в одно тело



Исходные данные: Модель 2



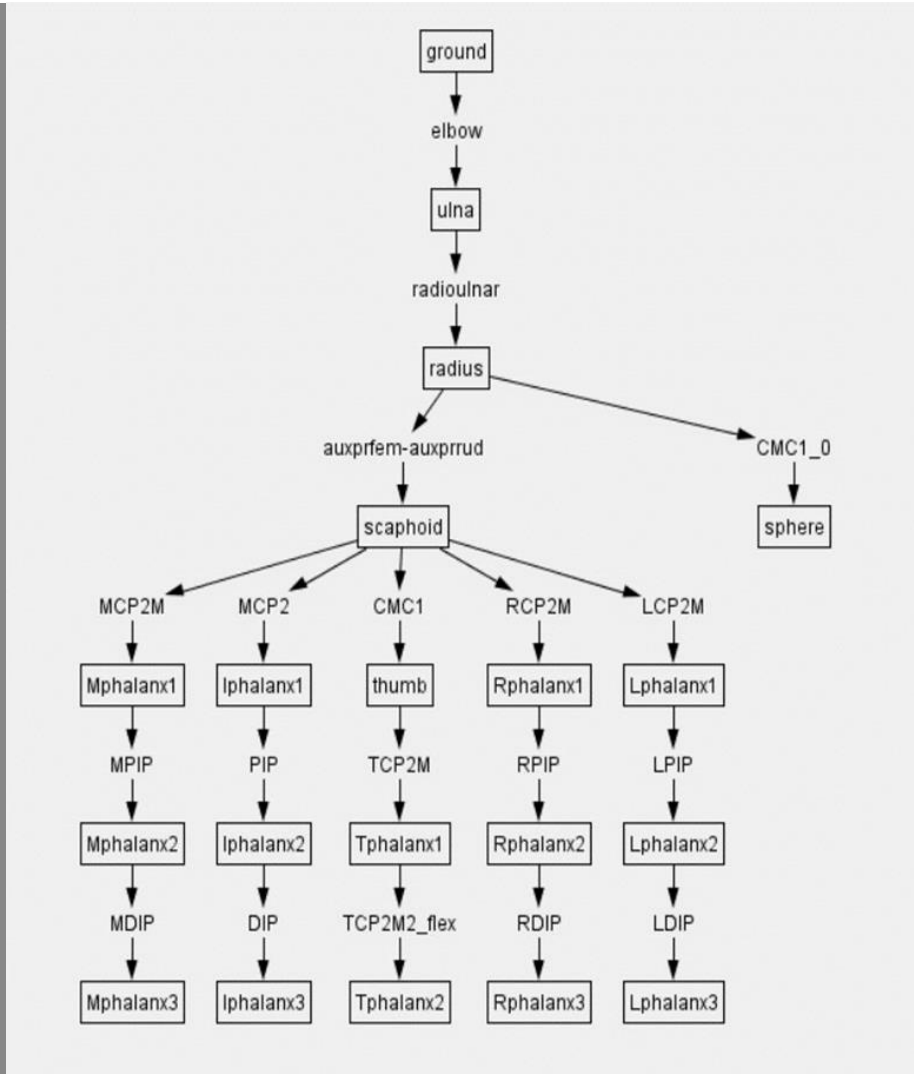
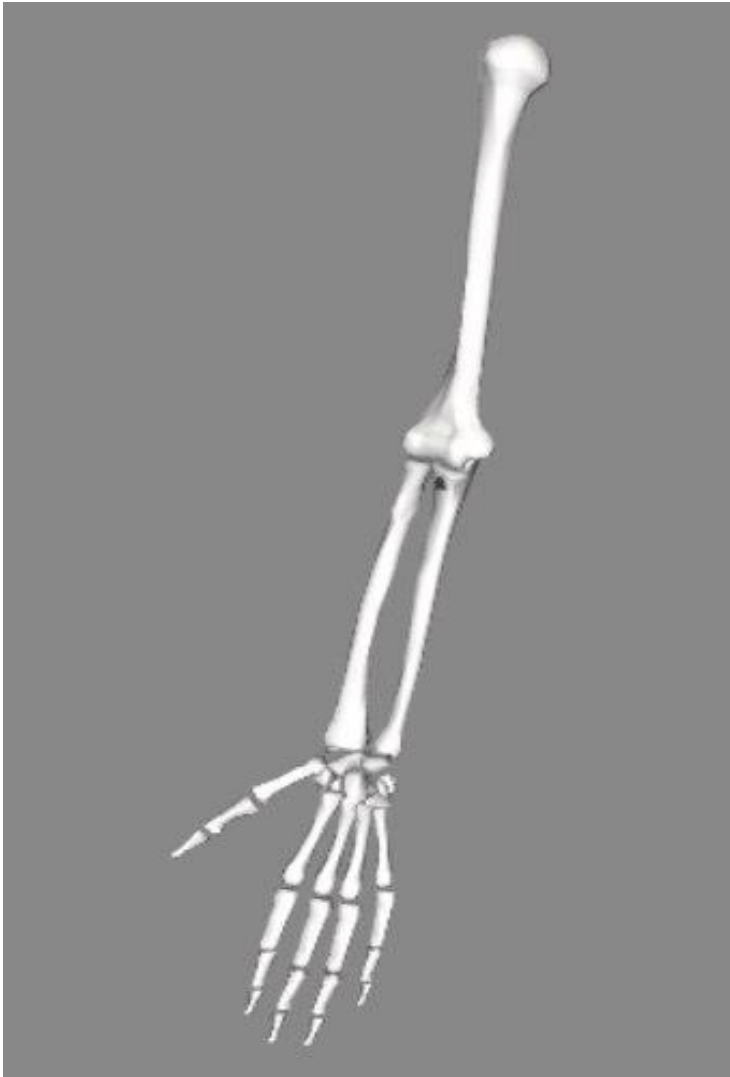
Достоинство:

- Модель руки с нужной функциональностью

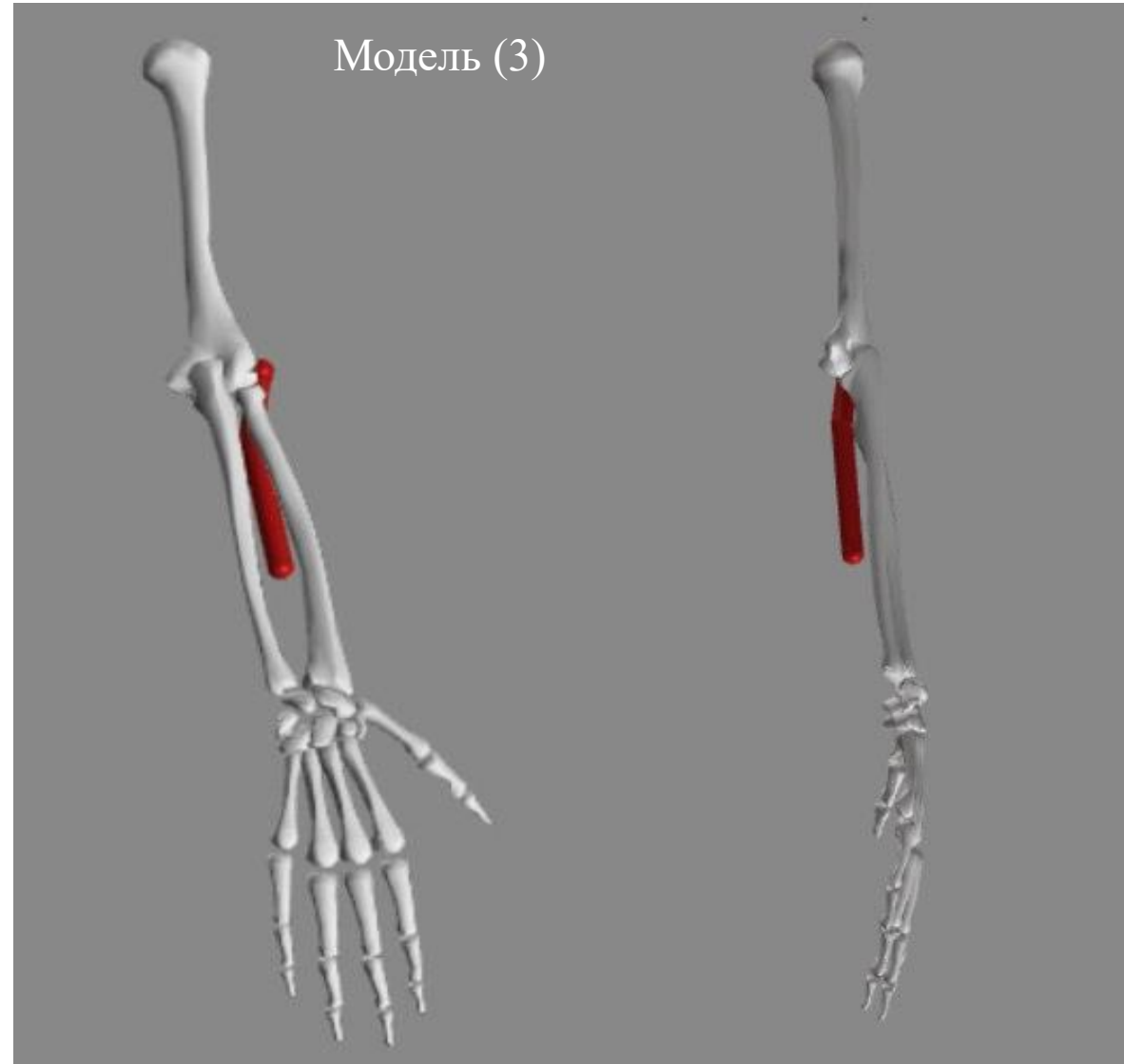
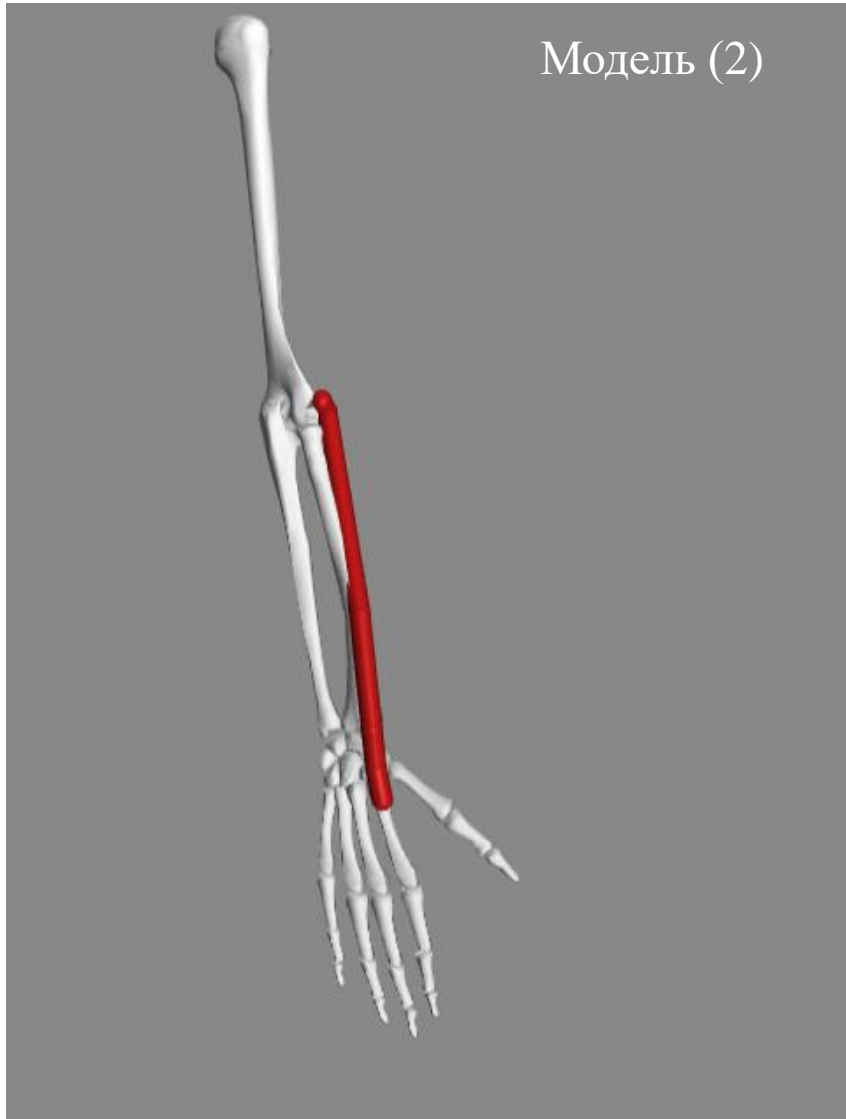
Недостаток:

- Неизвестны масса, центр масс и момент инерции тел
- Наличие тел с нулевой массой, которые трудно удалить из топологии

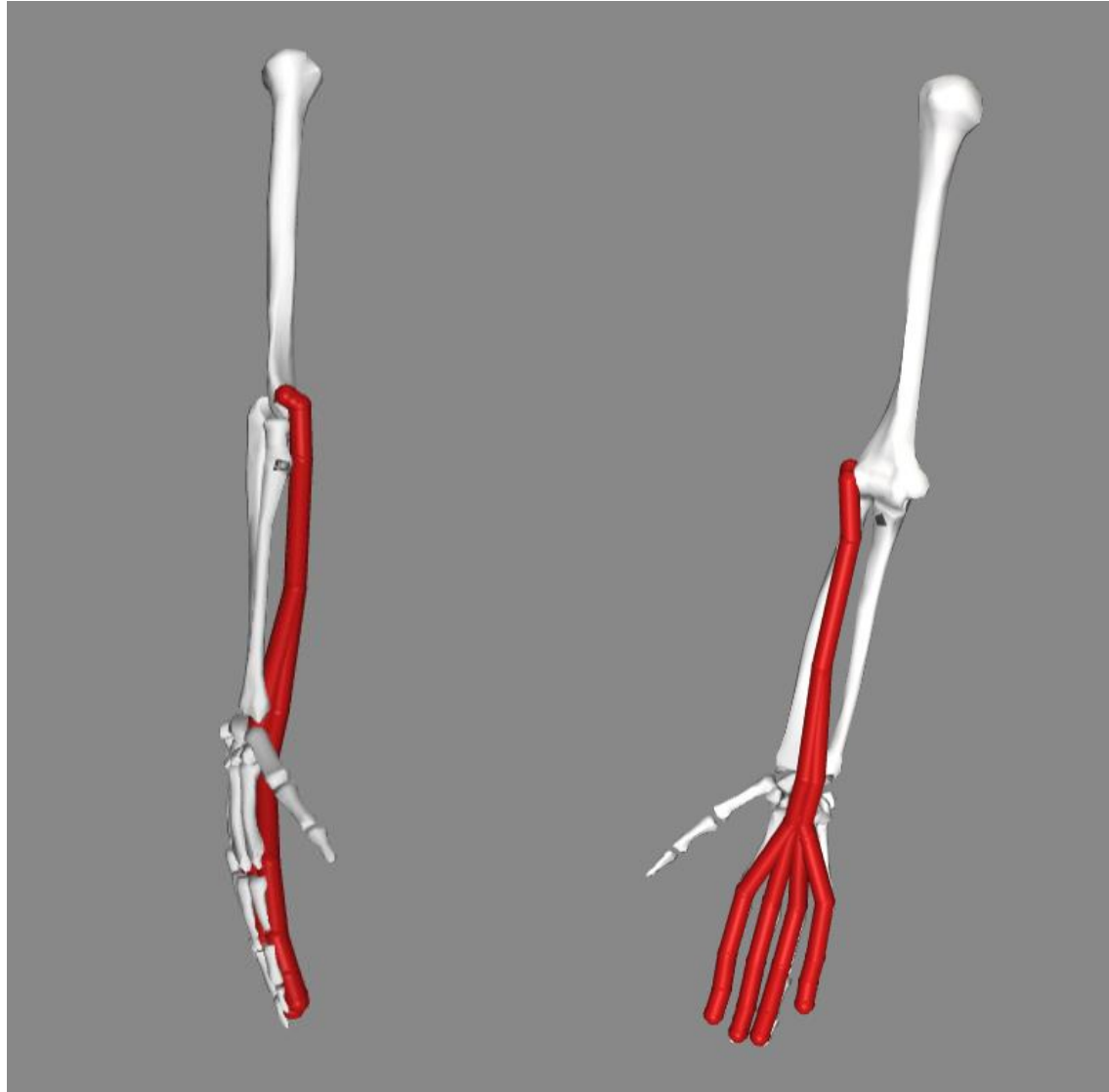
Этап 1. Создание модели костных структур



Этап 2. Работа с собственной моделью. Воспроизведение операции.
2.1. Добавление мышцы ECRL и изменение её длины

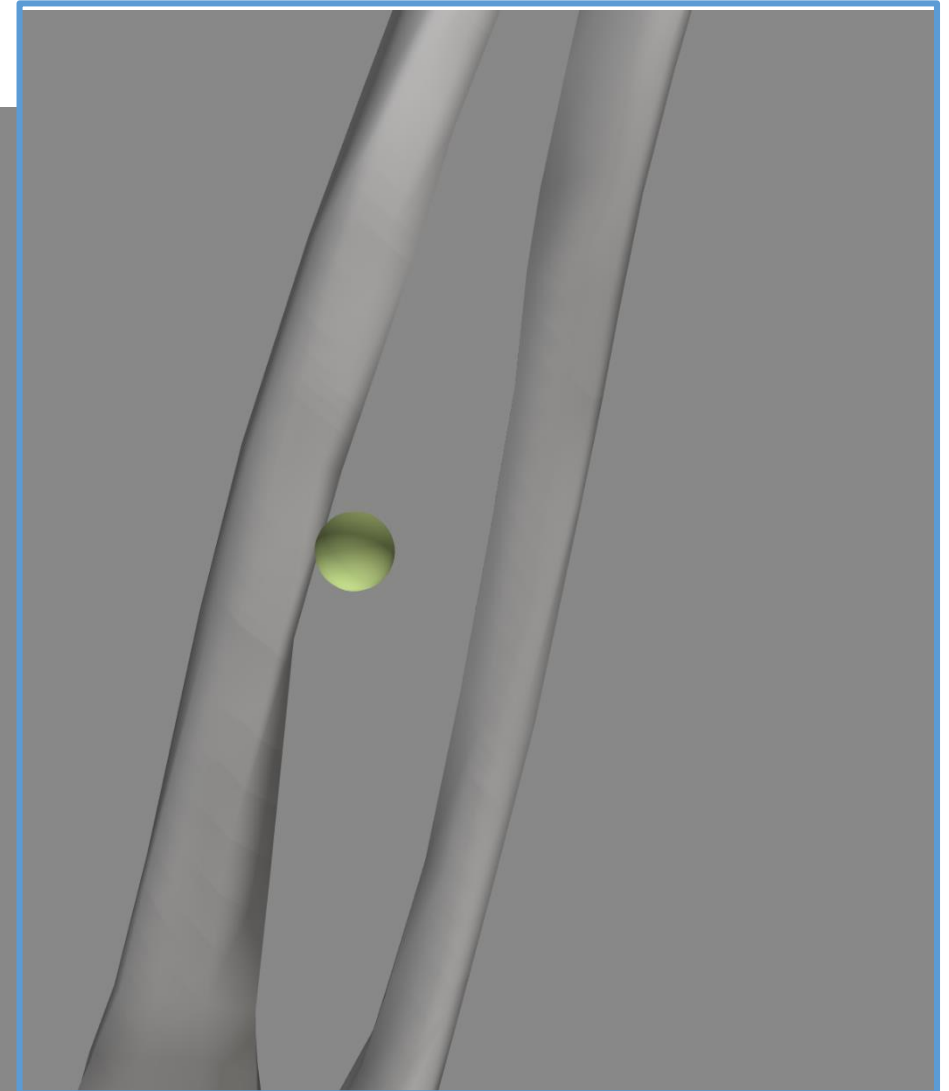
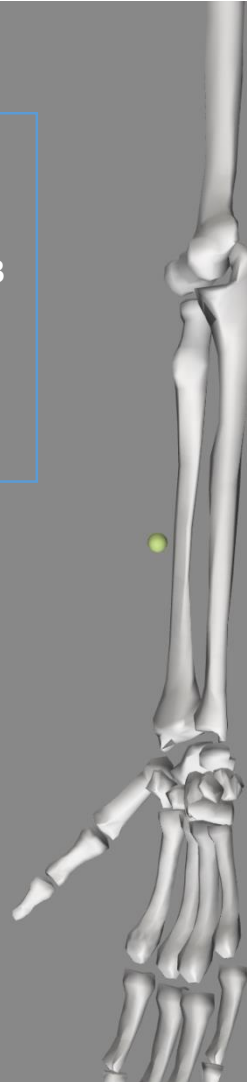


Этап 2.2: Работа с собственной моделью. Добавление мышцы FDP

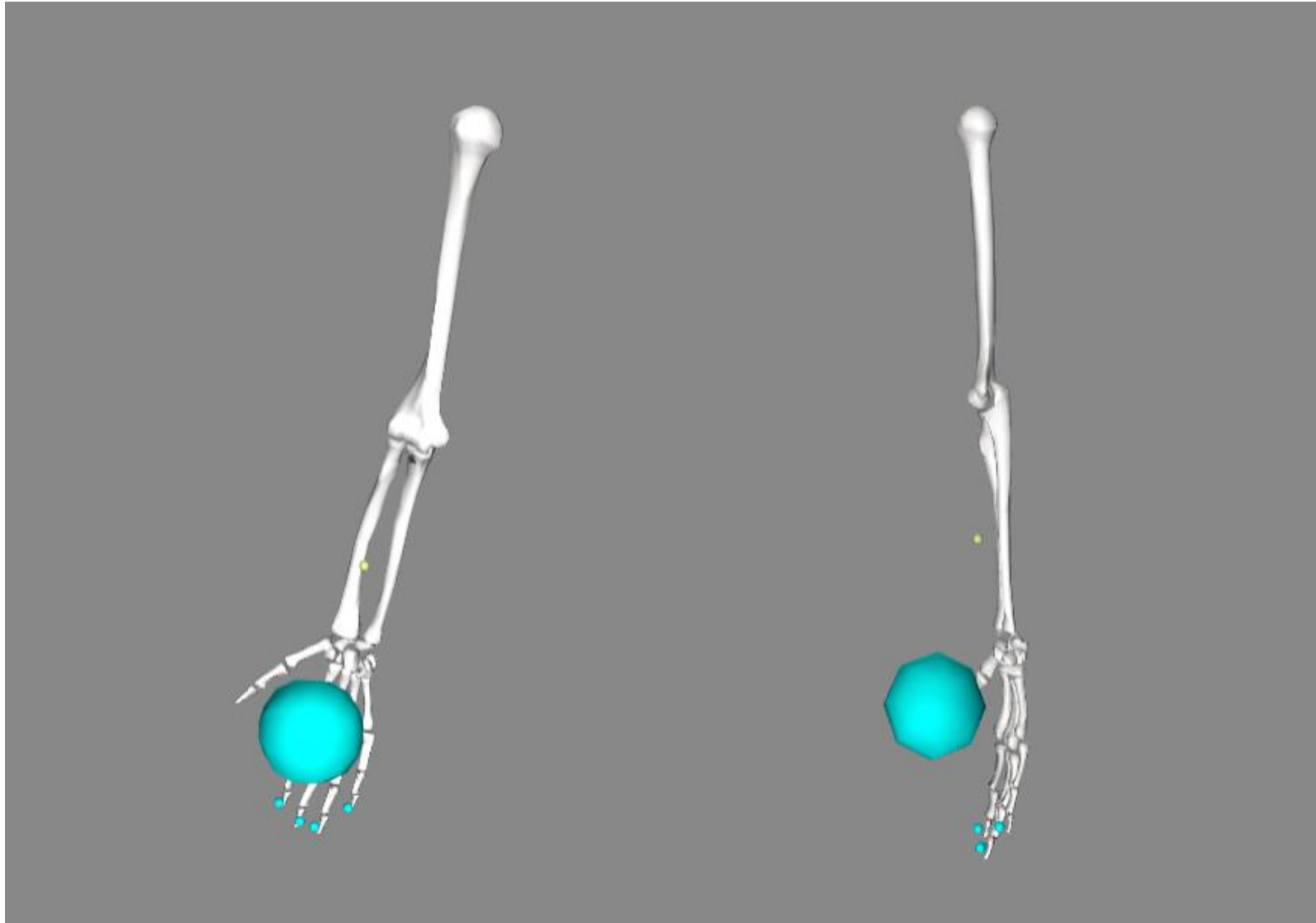


Этап 2.3. Добавление шарика для соединения мышц

- $r = 2$ мм
- $m = 100$ г
- 6 степеней свободы (не ограничен в своём движении)
- Связан с лучевой костью



Этап 2.4: Работа с собственной моделью. Добавление контактных поверхностей



Этап 3.1. Моделирование сгибания пальцев

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial T}{\partial q_i} = Q_i, \quad i = 1, \dots, n - \text{уравнение Лагранжа 2 рода}$$

$$M(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}} + C(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}} + R(\mathbf{q})F^{MT} + E(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) = 0$$

$\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}, \ddot{\mathbf{q}}$ – вектор обобщенных координат, скоростей, ускорений соотв.

$M(\mathbf{q})$ – матрица масс

$E(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})$ – вектор приложенных внешних сил и моментов

F^{MT} – вектор мышечных сил

$R(\mathbf{q})$ – матрица плеч мышечных сил

$\dot{F}^{MT} = \mathbf{f}(F^{MT}, l^{MT}, v^{MT}, a_m)$ – учитывает кривые (сила — длина мышцы, сила — скорость сокращения)

$a_m = a(t)$ – функция активации возбуждения, характеризующая наличие кальция в межклеточном пространстве

Q_i – обобщенные силы

Этап 3.1. Воспроизведение функции активации возбуждения $a(t)$

– функция активации возбуждения, характеризующая наличие кальция в межклеточном пространстве

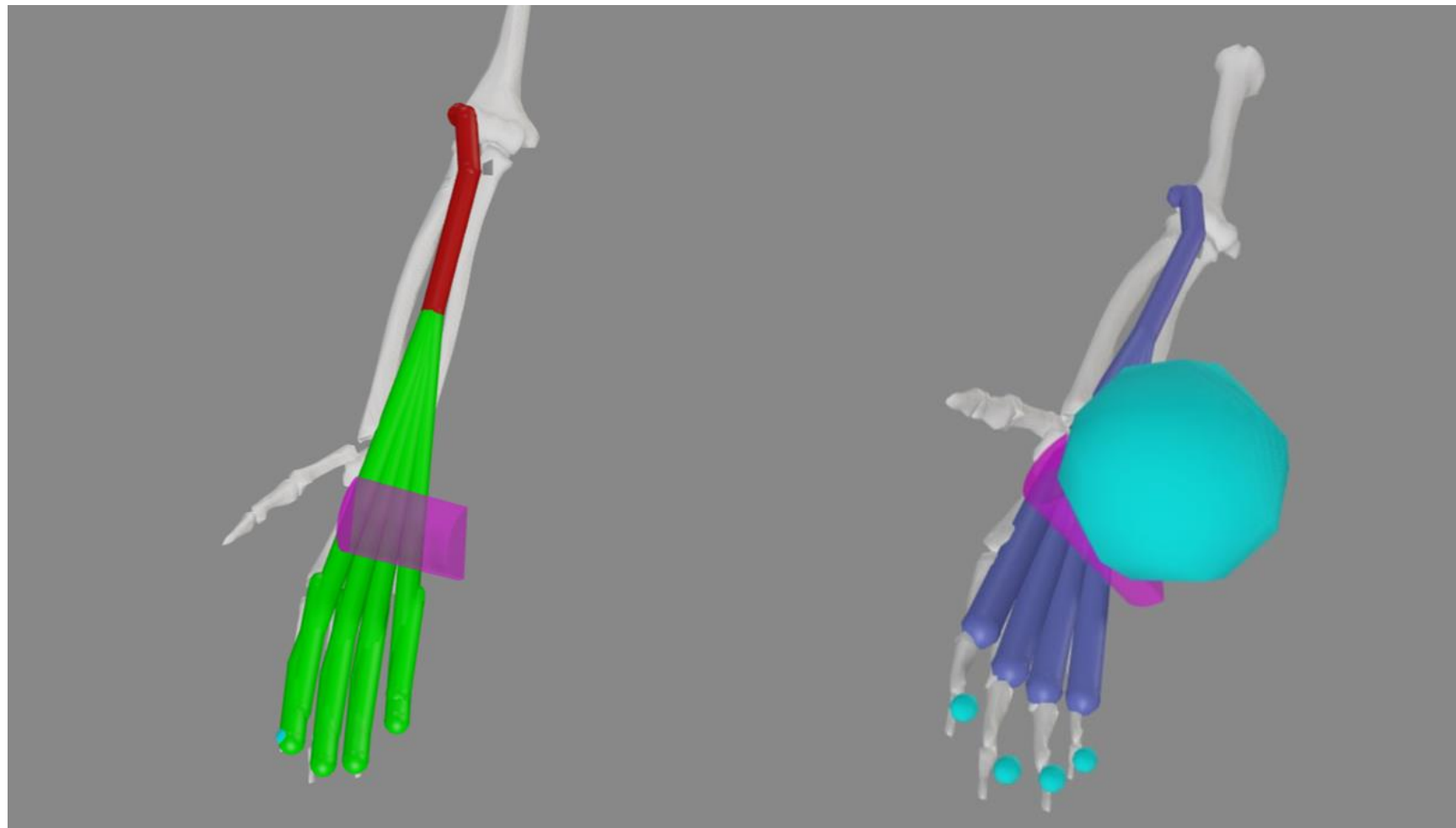


$$a(t) = \begin{cases} \frac{19}{35}t + 0.05, & t \in [0, 1.75] \\ 1, & t \in [1.75, 2.25] \end{cases}$$

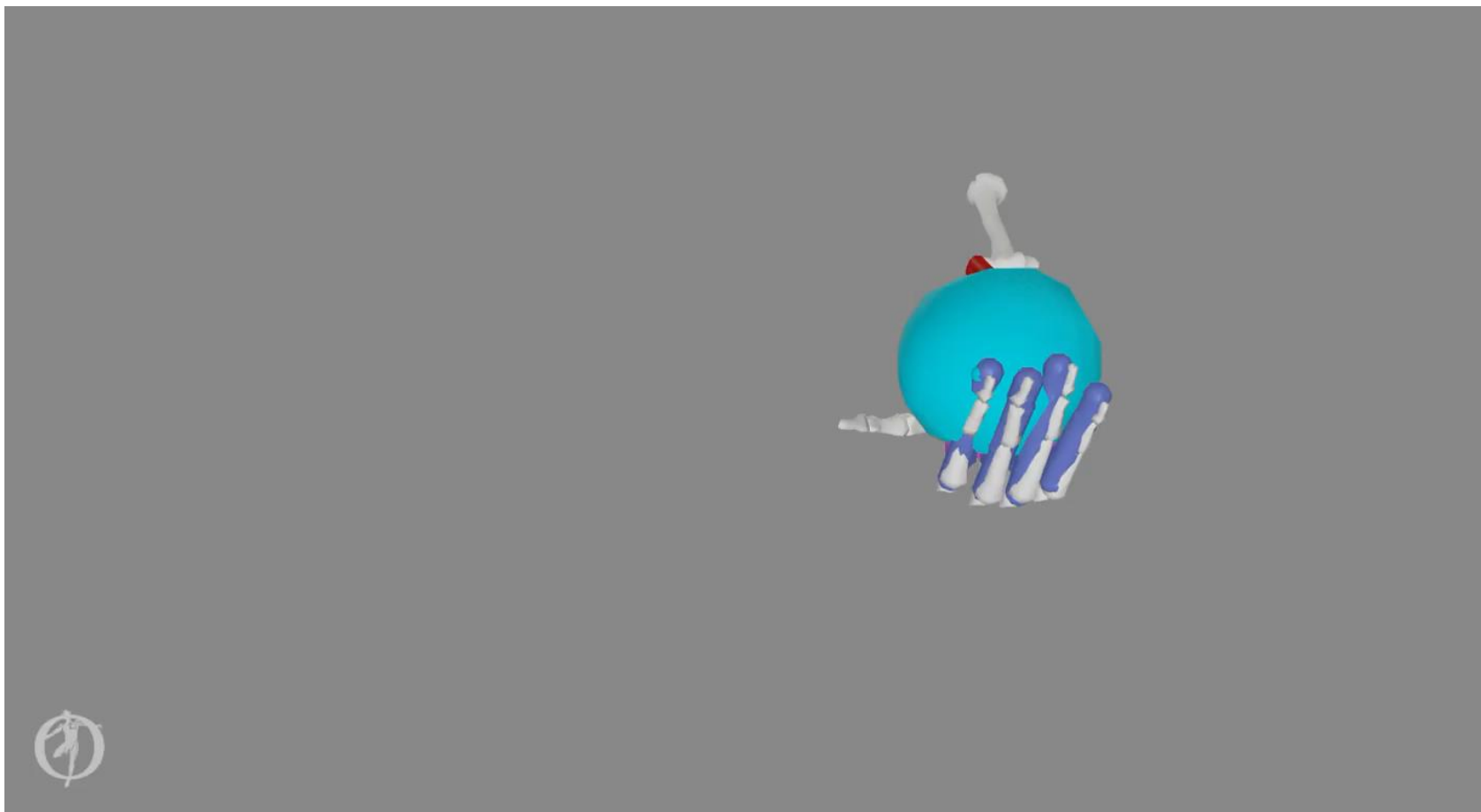
$$M(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}} + C(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}} + R(\mathbf{q})F^{MT} + E(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) = 0$$

I подход

- Замена мышц FDP на связки

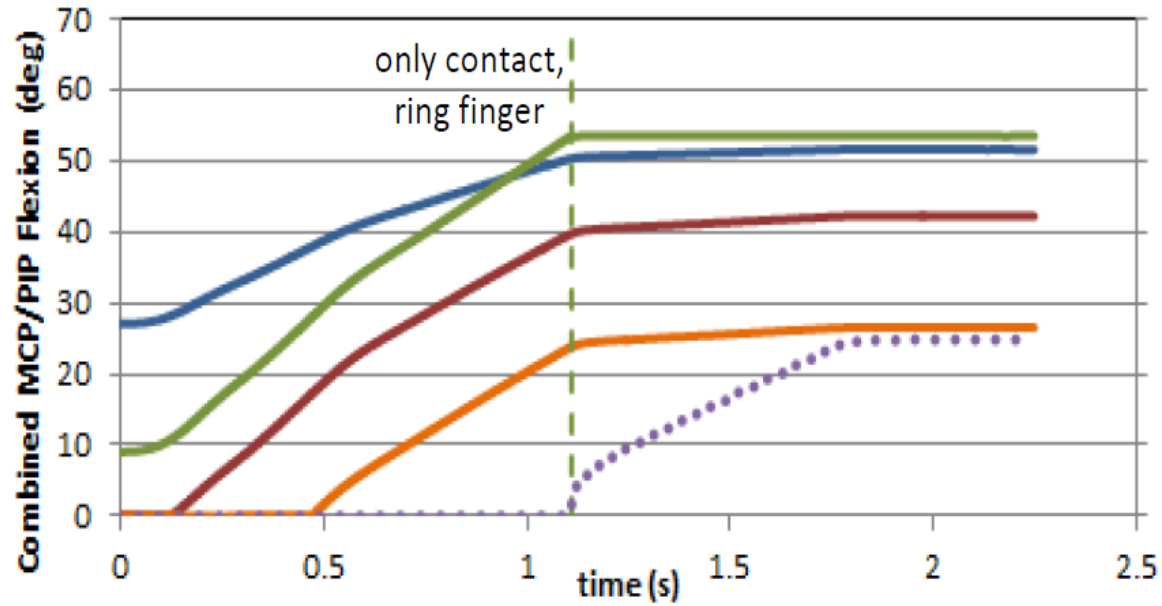


Результаты(I)



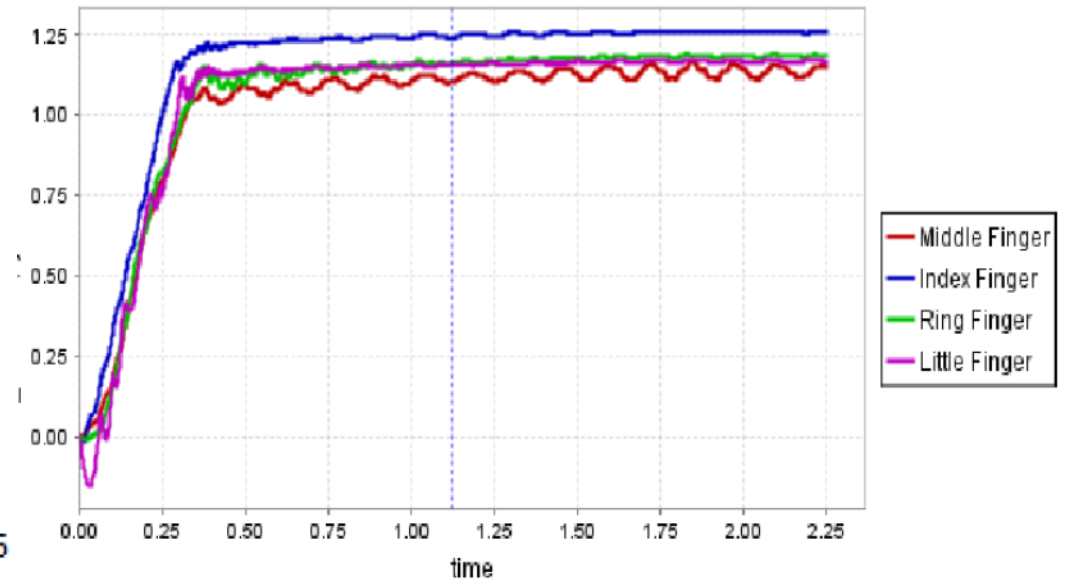
Сравнение(І):

Traditional Model



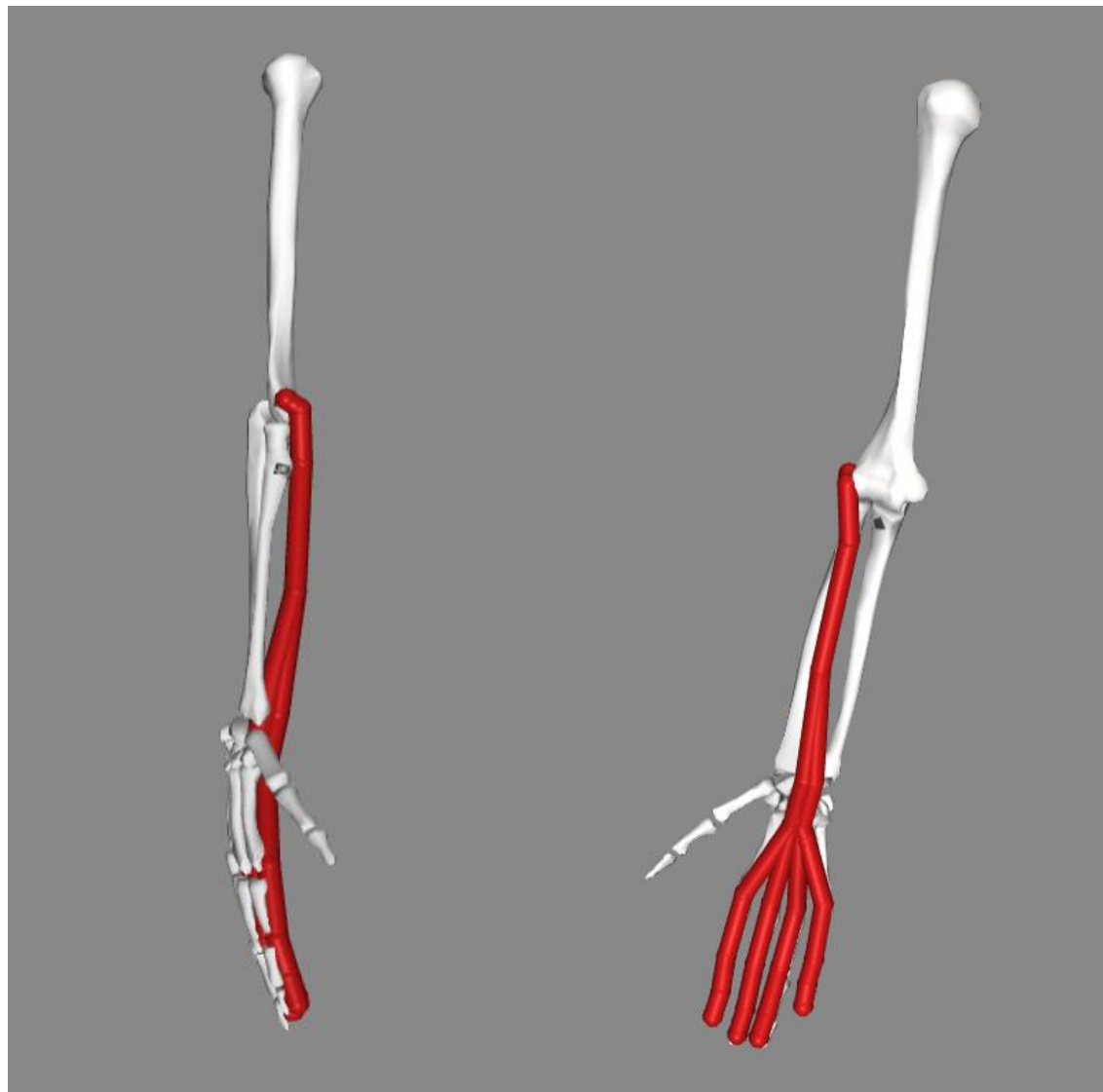
— Index Finger — Middle Finger — Ring Finger — Little Finger - - Point of Contact * * Contact Force

MCP Flexion

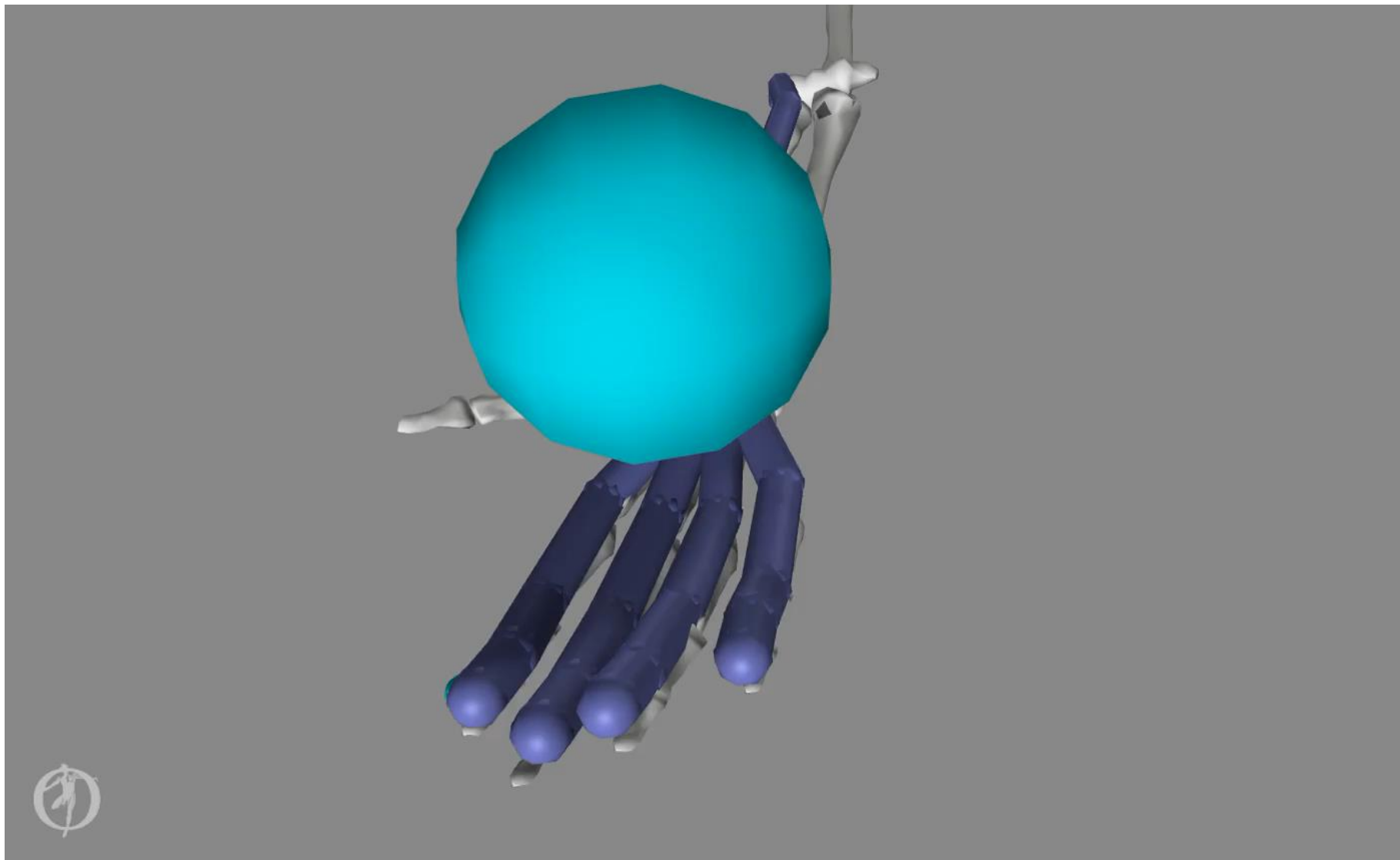


— Middle Finger
— Index Finger
— Ring Finger
— Little Finger

II подход

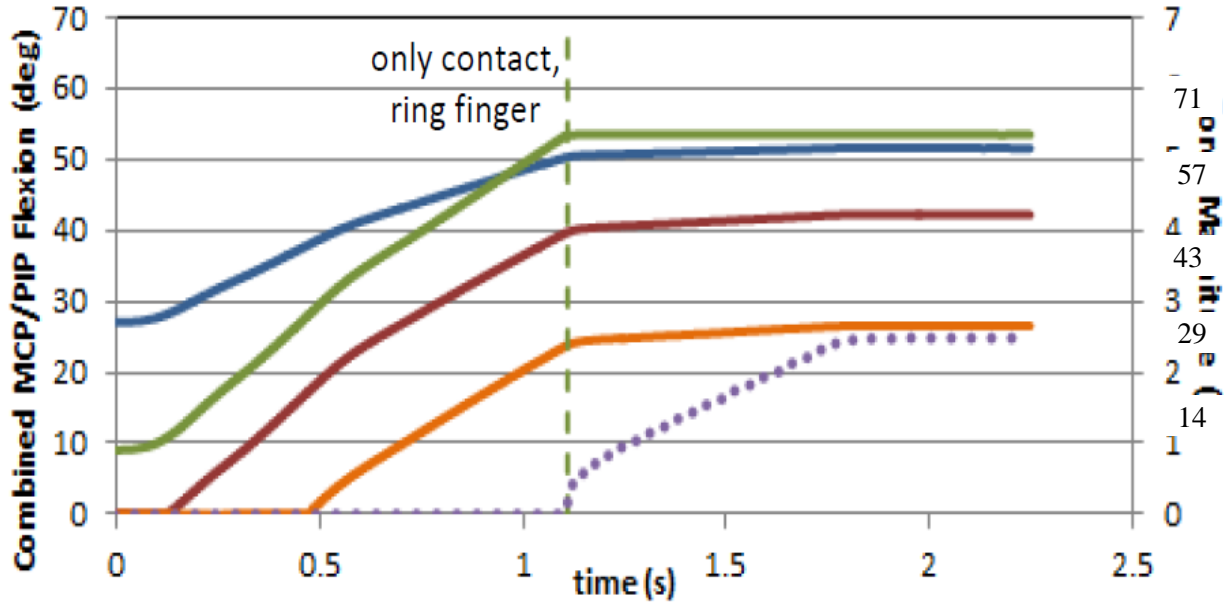


Результаты(II)

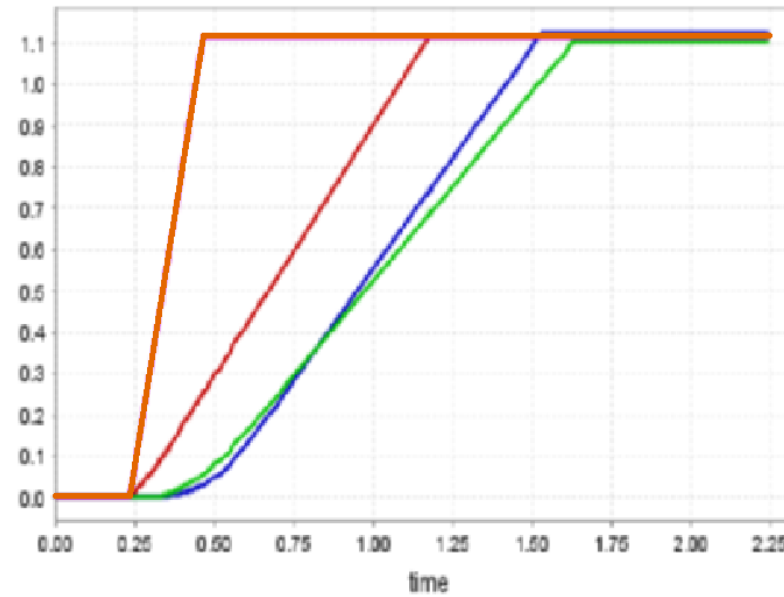


Сравнение(II):

Traditional Model



MCP flexion



— Index Finger — Middle Finger — Ring Finger — Little Finger - - Point of Contact • • Contact Force

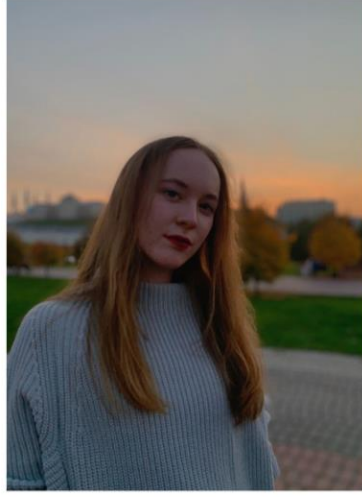
Выводы

- ❑ Построена модель стандартного протокола операции при травме руки. На ее основе можно реализовать различные варианты операции, в том числе и изобрести новые.
- ❑ Рассмотрены два подхода к моделированию сухожилий FDP: через мышцы и связки. В ходе работы выяснено, что замена мышц FDP на связки перспективна, но требует доработки. Пальцы касаются мячика приблизительно одновременно. Оставляя мышцы, пришли к результату, что пальцы сгибаются под схожим углом, но в отличие от данных статьи они касаются мячика в разное время.



Тихвинский Денис

- Построение модели мизинца
- Добавление мышц и связок в модель
- Подбор параметров всех мышц для второго подхода моделирования.



Тягунова Александра

- Обработка информации статей
- Объединение костей
- Построение геометрической модели
- Воспроизведение функции активации возбуждения
- Подготовка презентации



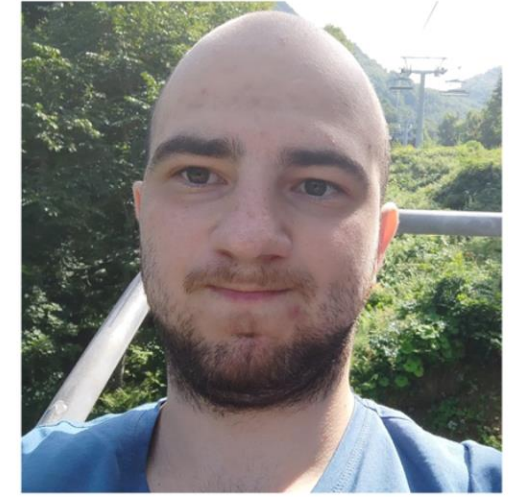
Попова Кристина

- Обработка статей
- Создание геометрии
- Добавление мышц и связок для указательного и большого пальцев
- Воспроизведение функции активации возбуждения
- Создание презентации



Логинов Фёдор

- Создание геометрии
- Добавление мышц и связок в модель
- Подбор параметров всех мышц для первого подхода моделирования



Пивоваров Богдан

- Создание геометрии
- Добавление мышц и связок в модель
- Подбор параметров всех мышц для первого подхода моделирования