

Персонализированные биомеханические модели коленного сустава

Тягунова А.И. (Сеченовский унив., унив. “Сириус”), Калинин Е.Б.
(Сеченовский унив.),
Юрова А.С. (ИВМ РАН).



Патологии коленного сустава

- Гонартроз — хроническое заболевание, в основе которого лежат дегенеративно-дистрофические процессы, затрагивающие хрящ, а также другие структуры сустава.
- Синдром латеральной гиперпрессии надколенника - заболевание пателло-феморального сустава, выражается смещением надколенника к латеральной его части.



гонартроз



синдром латеральной гиперпрессии надколенника



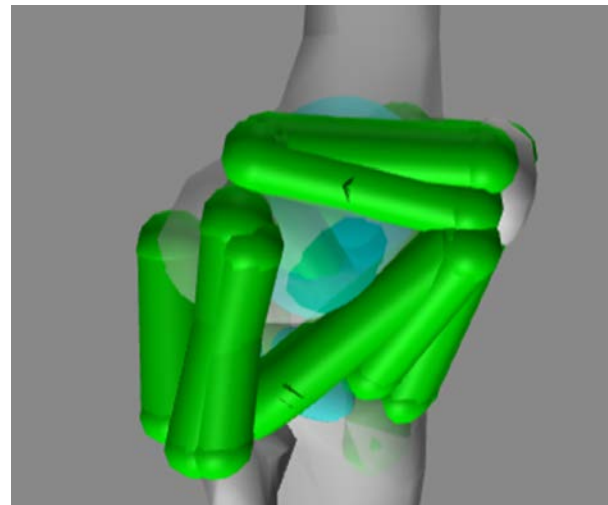
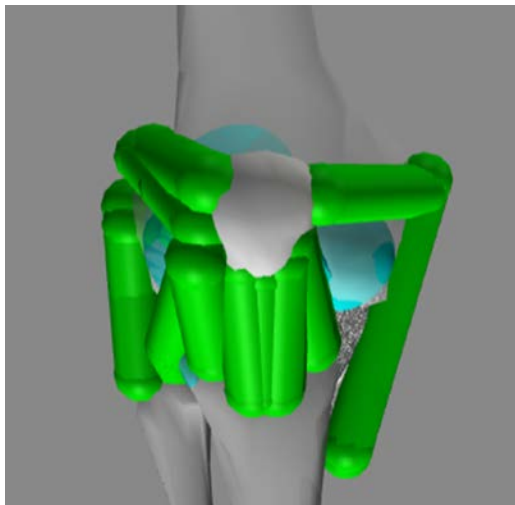
Биомеханическая модель коленного сустава

- Твердые тела (бедренная кость, надколенник, берцовая кость);
- Суставы (пателло-фemorальный, тибio-фemorальный);
- Силы;
- Ограничивающие тела.

Базовая модель коленного сустава

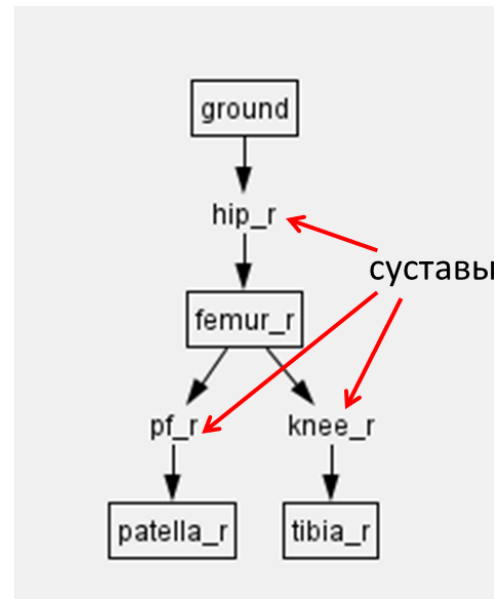
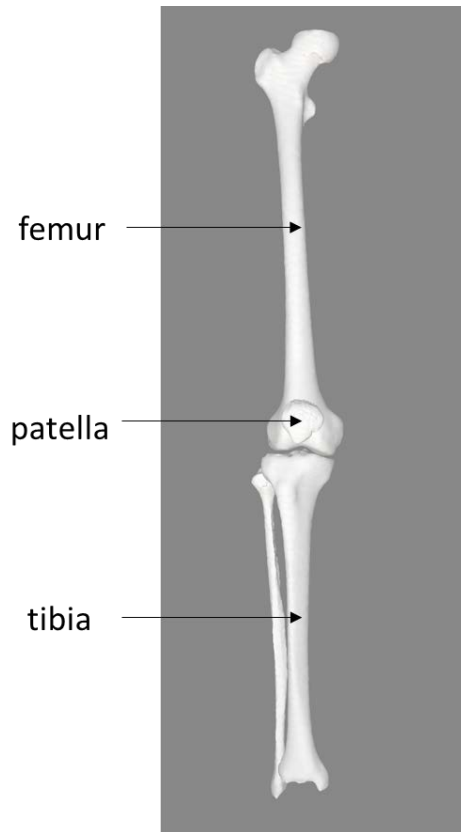


Сетки костных структур созданы на основе КТ снимков разных пациентов, что приводит к проблематичности локального взаимодействия.



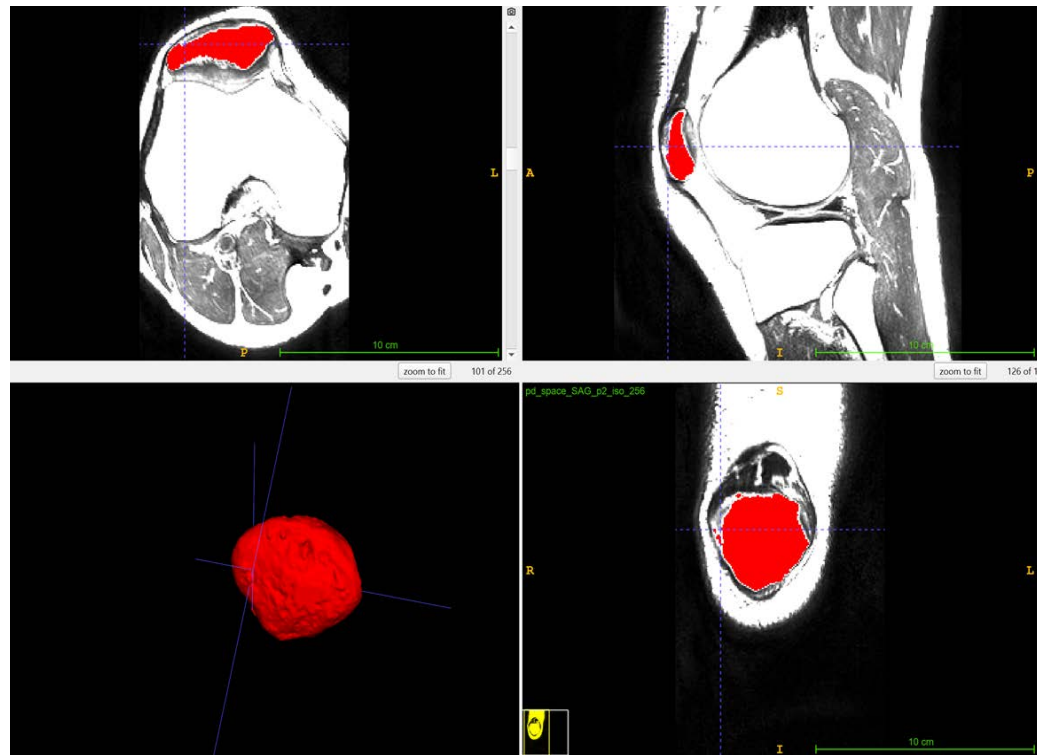
Костная структура модели

- Таз (pelvis)
- Бедренная кость (femur)
- Надколенник (patella)
- Берцовые кости (tibia)



Построение персонализированной модели. Костная структура

1. Сегментация;
2. Изменение параметров сеток;
3. Внедрение сеток в модель коленного сустава в качестве твердых тел.



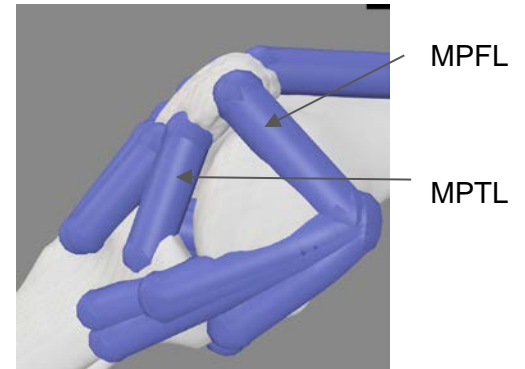
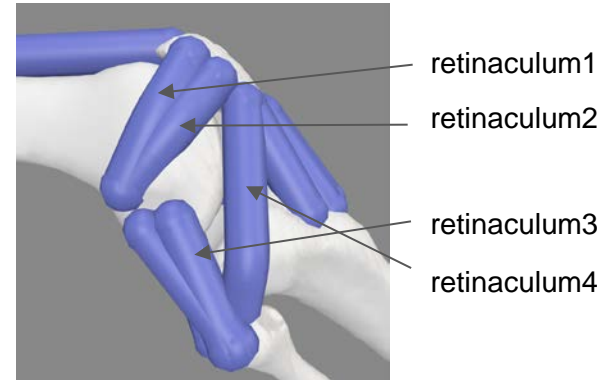
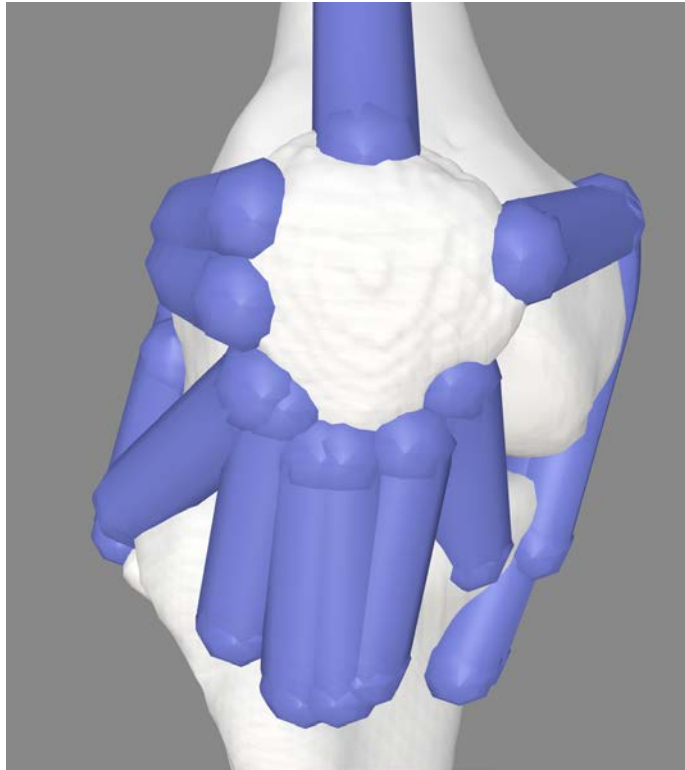
сегментация надколенника

Связочный аппарат

Связки – один из видов сил доступных в OpenSim, представлены как тонкие нити с двумя точками крепления.

В модели 24 связки:

- ACL (2),
- PCL (2),
- MCL (5),
- LCL (1),
- PFL (1),
- posterior capsule (4),
- patellar tendon (3) ,
- MPFL,
- MPTL,
- retinaculum (4)

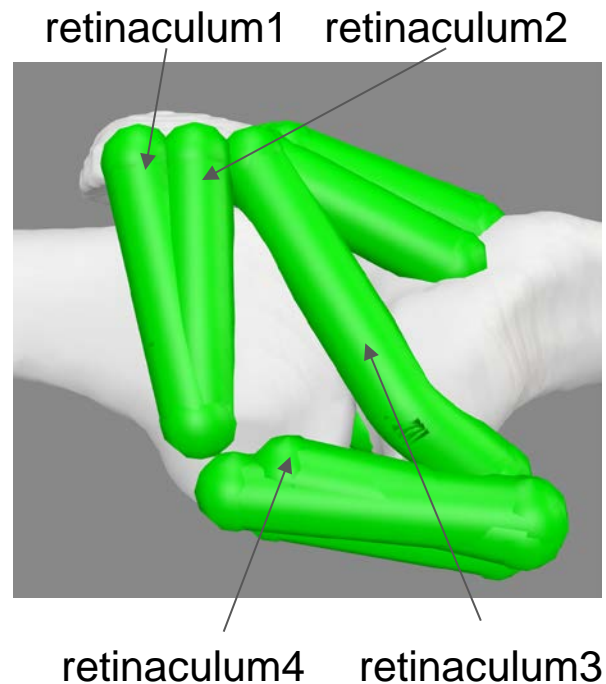
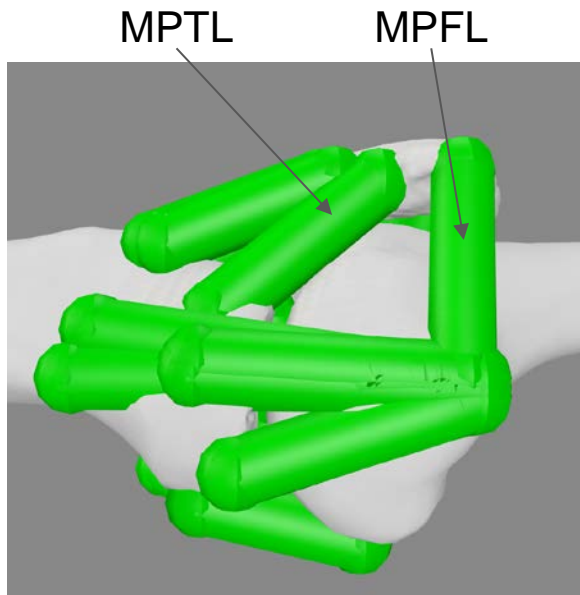


Построение персонализированной модели. Связочный аппарат

MPFL - медиальная пателло-фemorальная связка.

MPTL - медиальная пателло-тибиальная связка.

retinaculum (1, 2, 3, 4) -
медиальная
поддерживающая связка
надколенника.

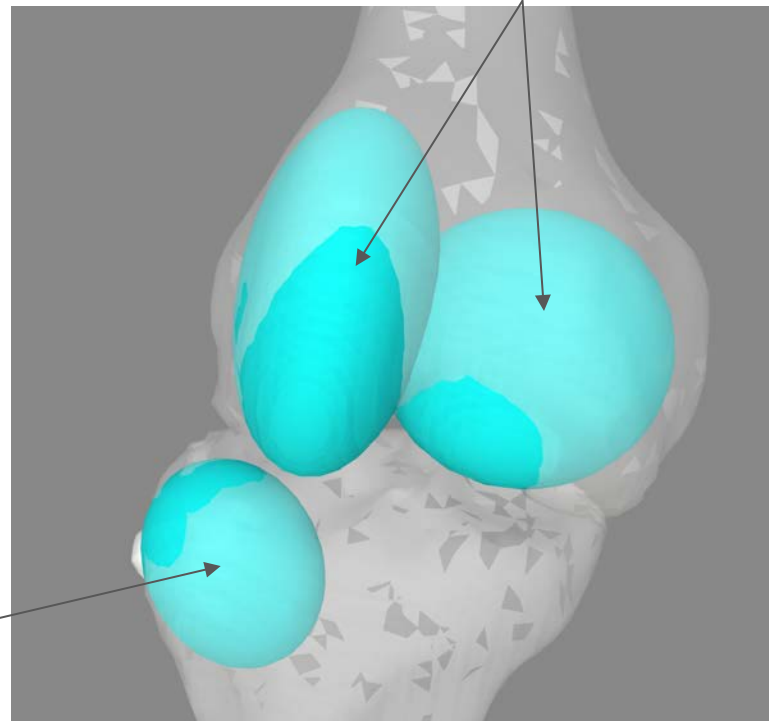


Ограничивающие тела

Необходимы для предотвращения прохождения связок через костные структуры.

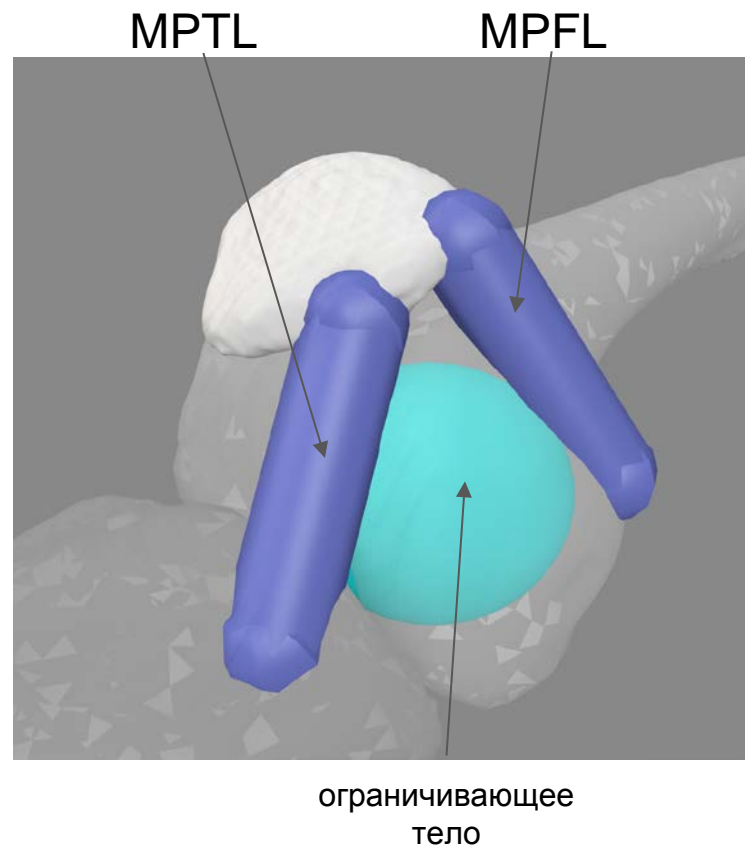
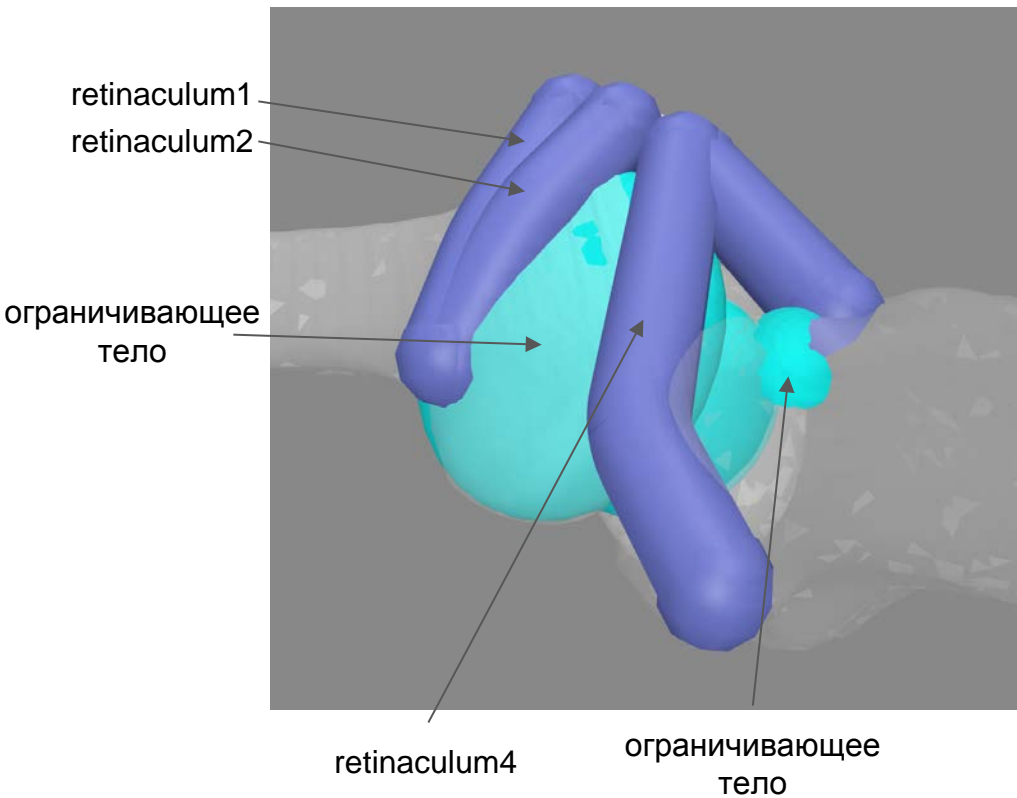
- Сфера в латеральной части головки бедренной кости;
- Сфера в медиальной части головки бедренной кости;
- Сфера в латеральной головке берцовой кости;
- Цилиндр для изгиба мышцы.

ограничивающие тела в
головке бедренной кости



ограничивающее тело
в головке берцовой кости

Построение персонализированной модели. Ограничивающие тела

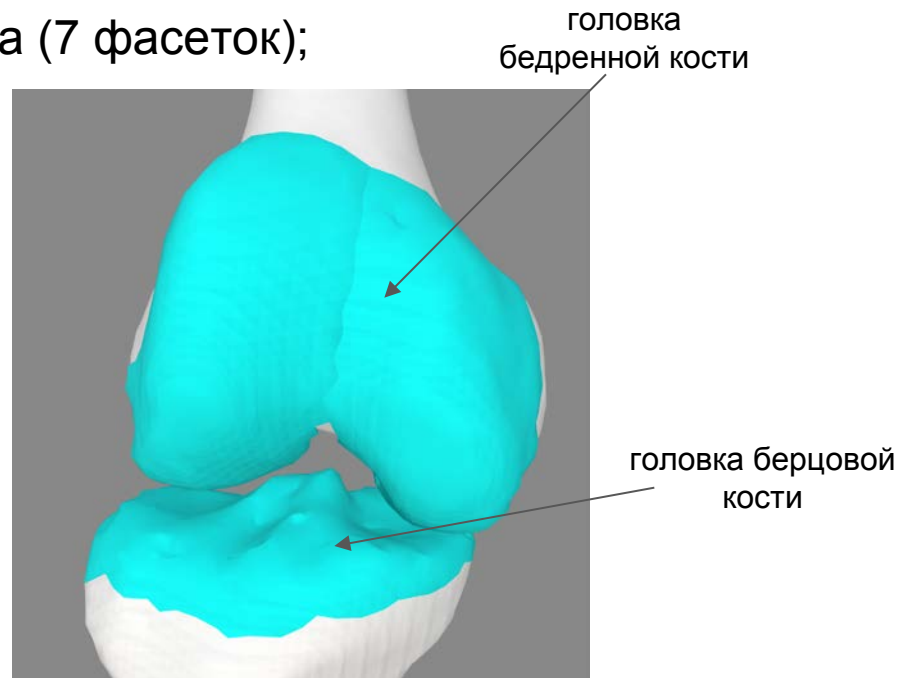


Контактные поверхности

- на латеральной части головки бедренной кости;
- на медиальной части головки бедренной кости;
- на внутренней стороне надколенника (7 фасеток);
- на головке берцовой кости.



фасетки надколенника

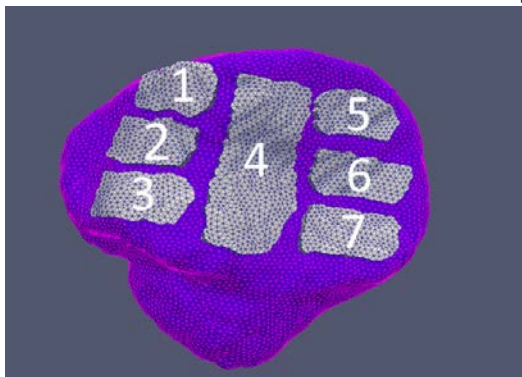


голова
бедренной кости

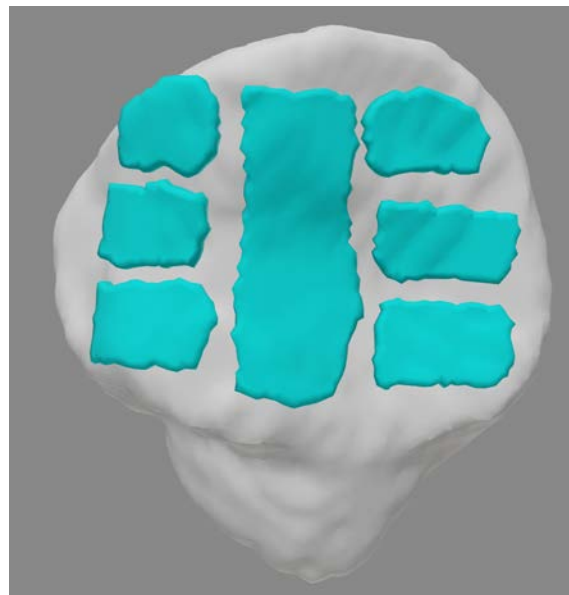
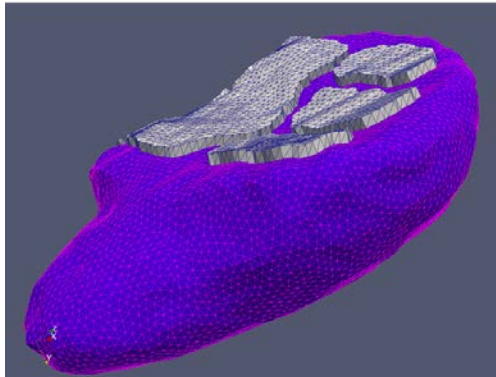
голова берцовой
кости

Построение персонализированной модели. Контактных поверхностей

1. Выделение поверхности;
2. Построения надстроек;
3. Изменение параметров сеток;
4. Внедрение сетки в модель коленного сустава в качестве контактных поверхностей.

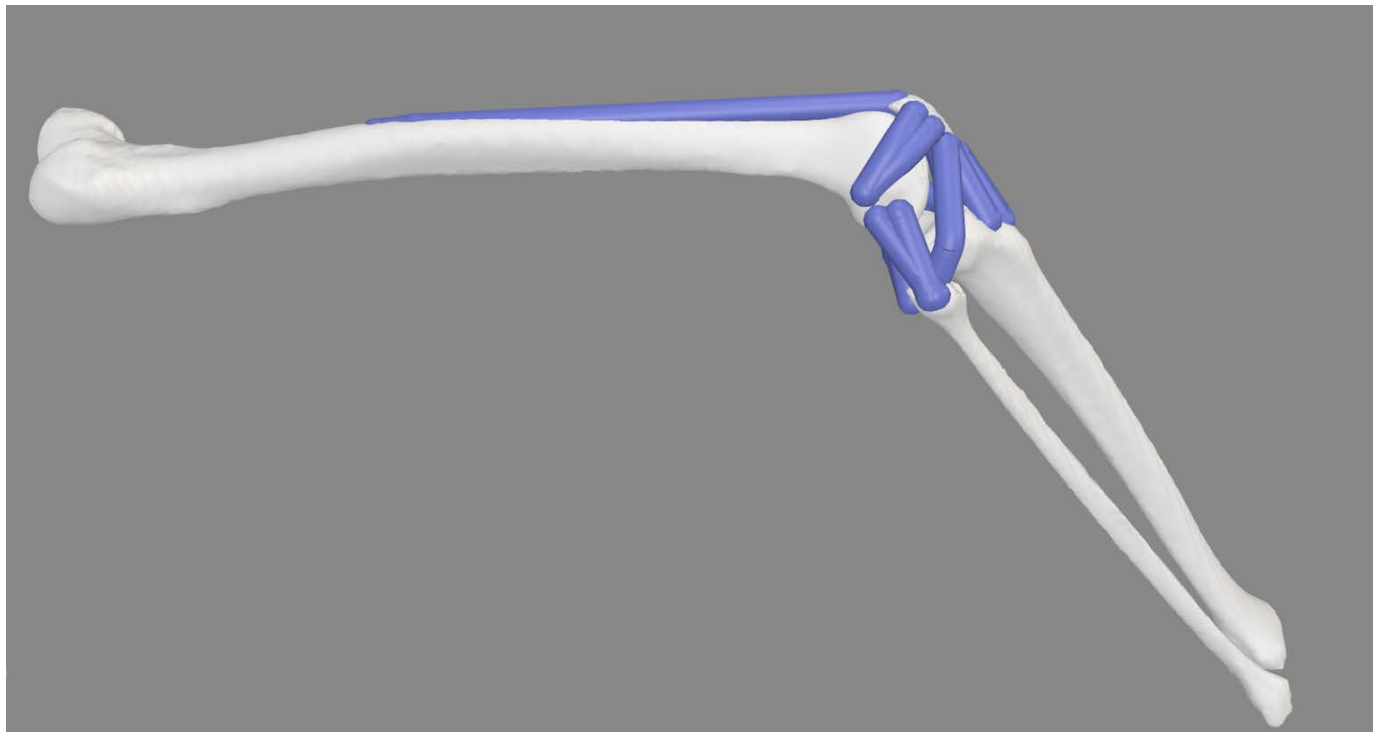


сетки фасеток надколенника



контактные поверхности в модели

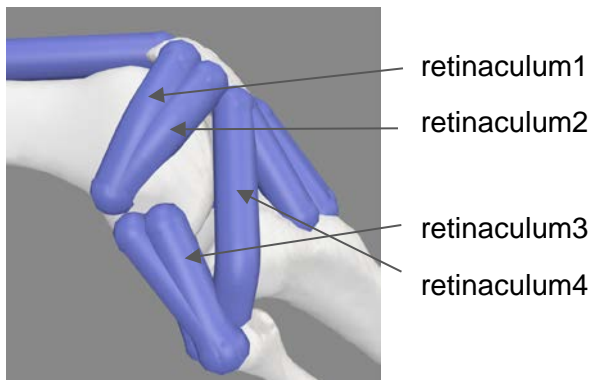
Персонализированная модель коленного сустава в физиологической норме



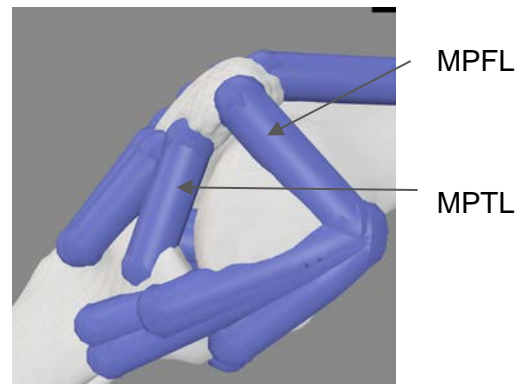
модель коленного сустава

Тесты

- Все связки включены
- Отключена связка MPFL (медиальная пателло-фemorальная связка);
- Отключена связка MPTL (медиальная пателло-тибиальная связка);
- Отключена связка retinaculum 1, 2;
- Отключена связка retinaculum 3, 4.



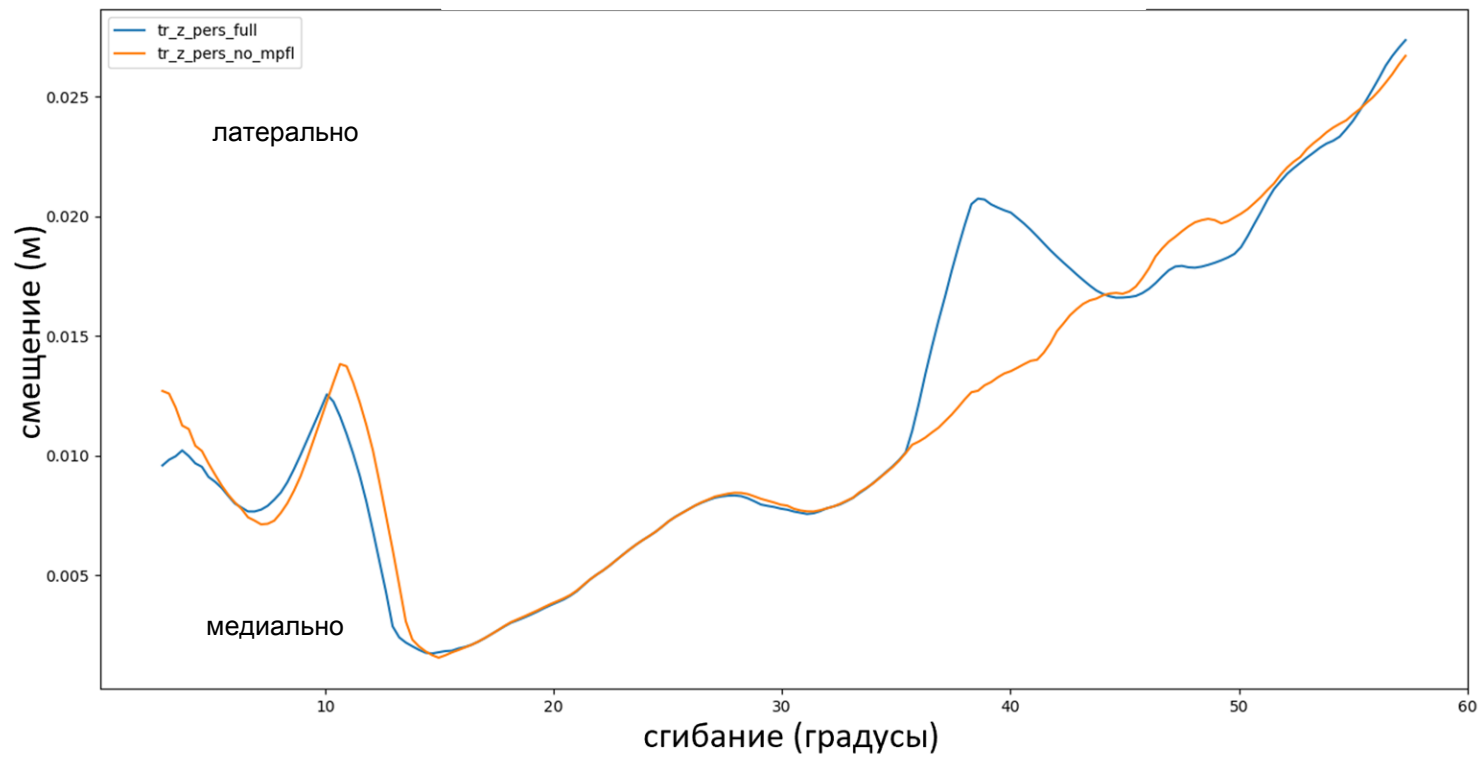
латеральная сторона коленного сустава



медиальная сторона модели коленного сустава

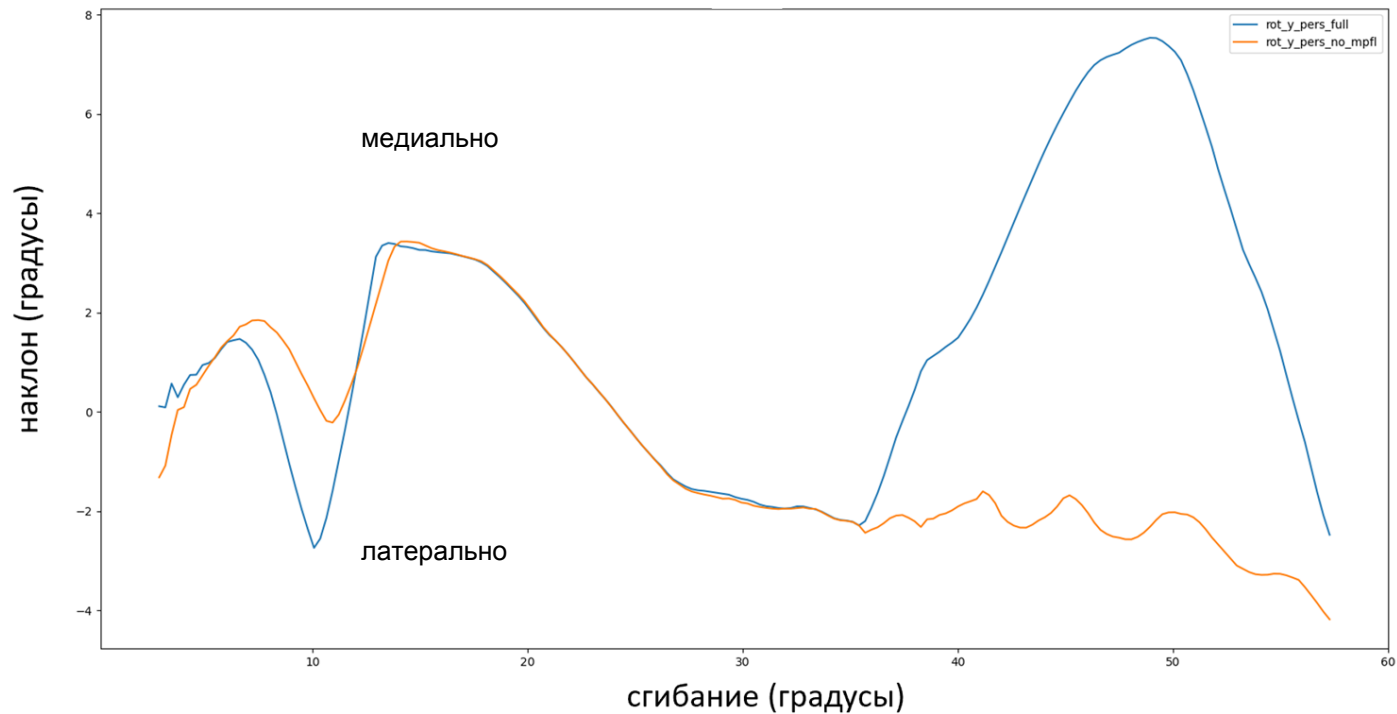
Смещение надколенника без MPFL

Смещение надколенника



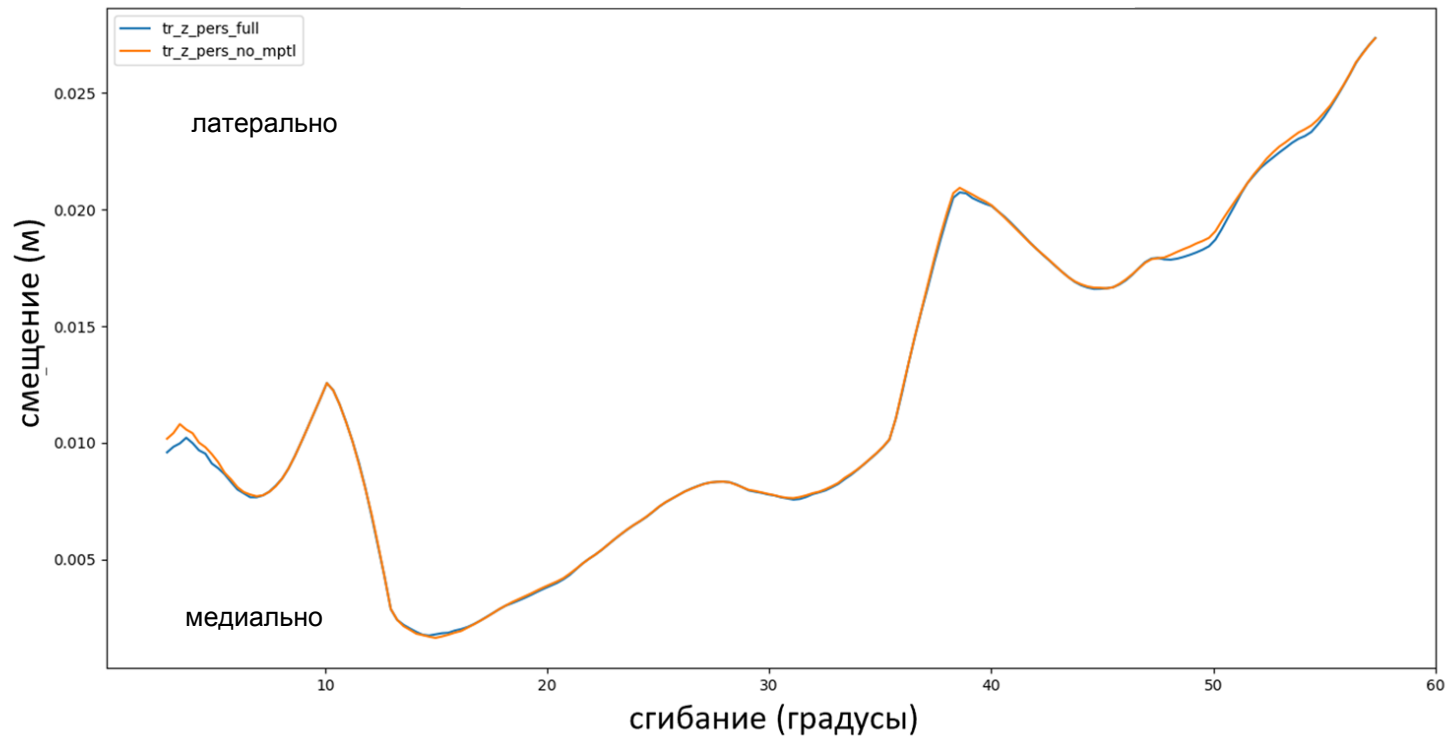
Наклон надколенника без MPFL

Наклон надколенника



Смещение надколенника без MPTL

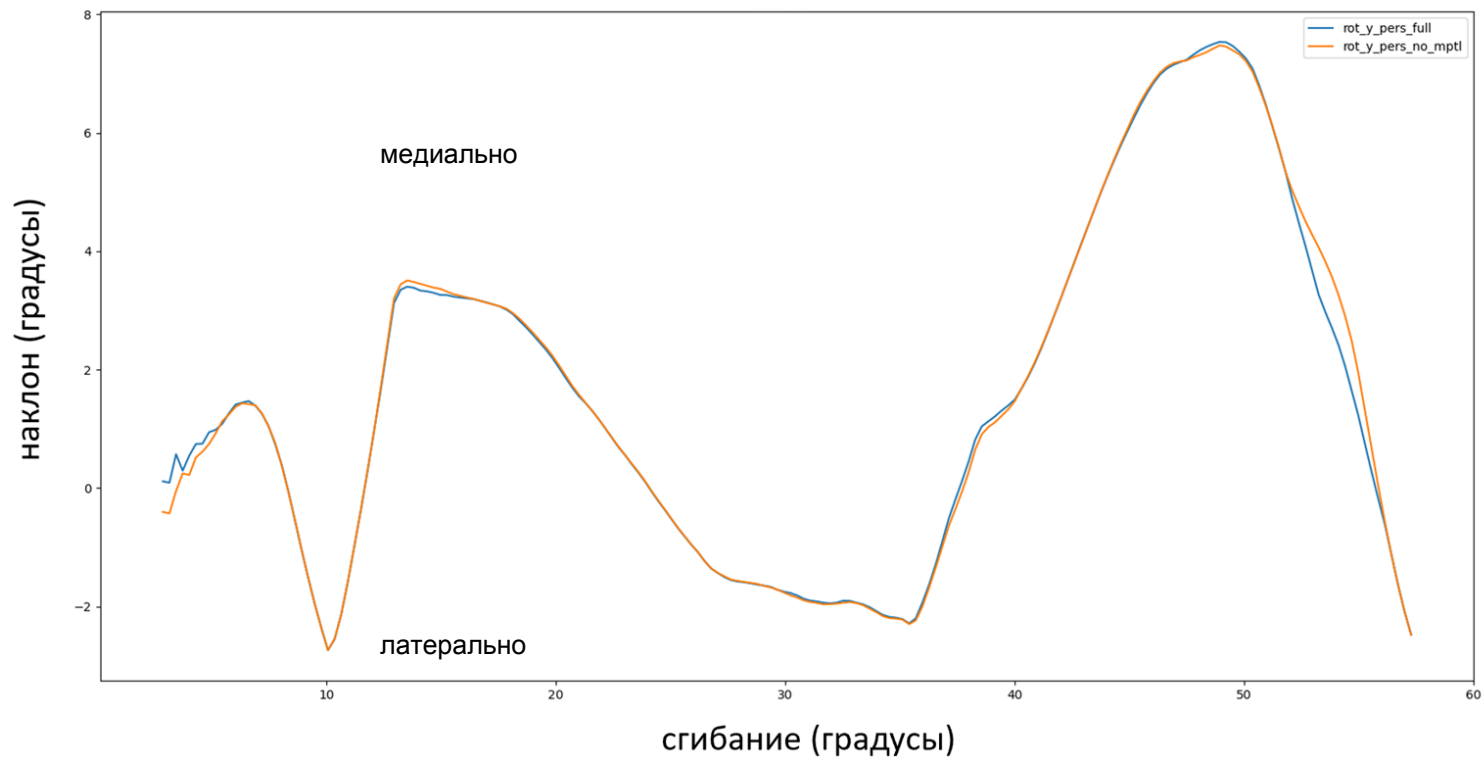
Смещение надколенника





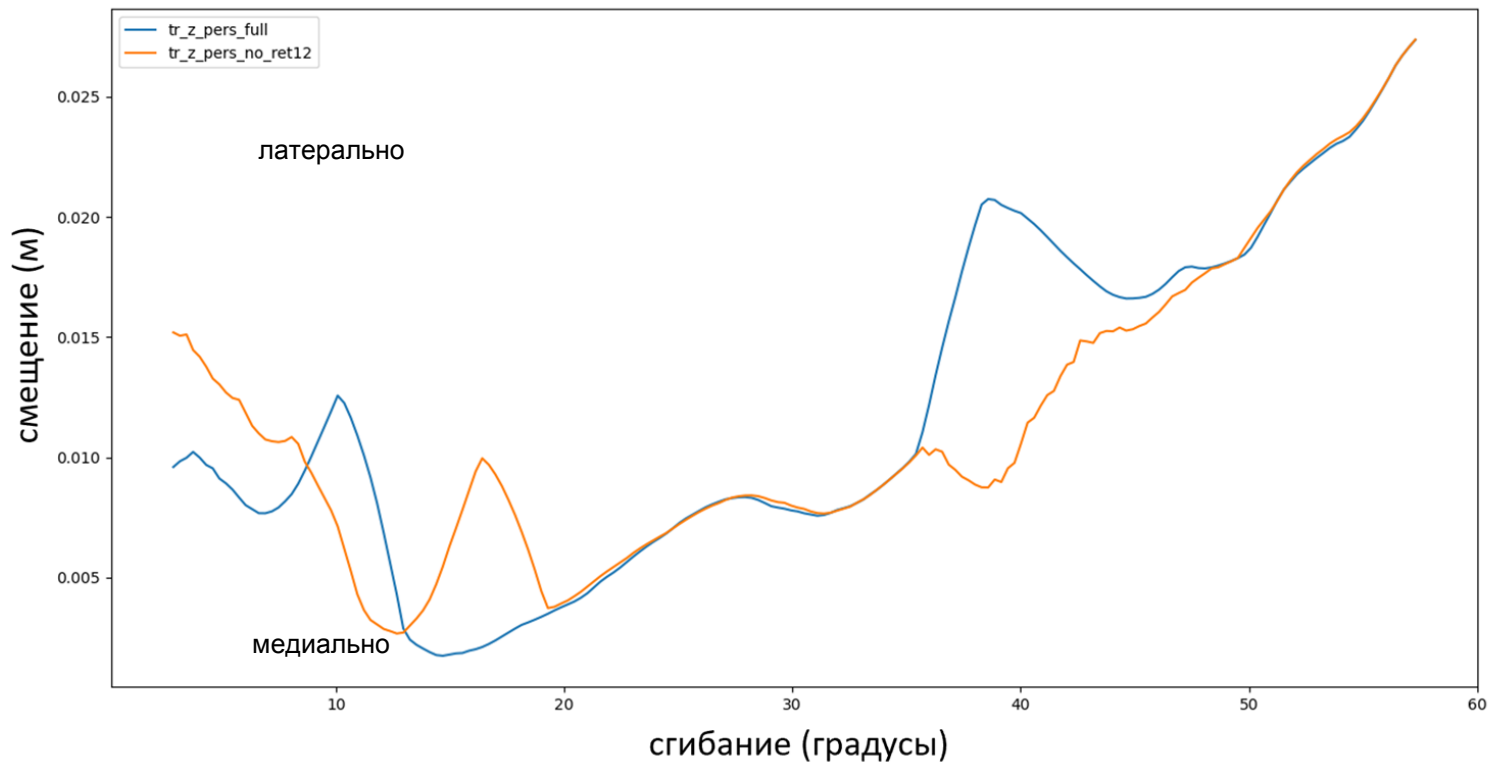
Наклон надколенника без MPTL

Наклон надколенника



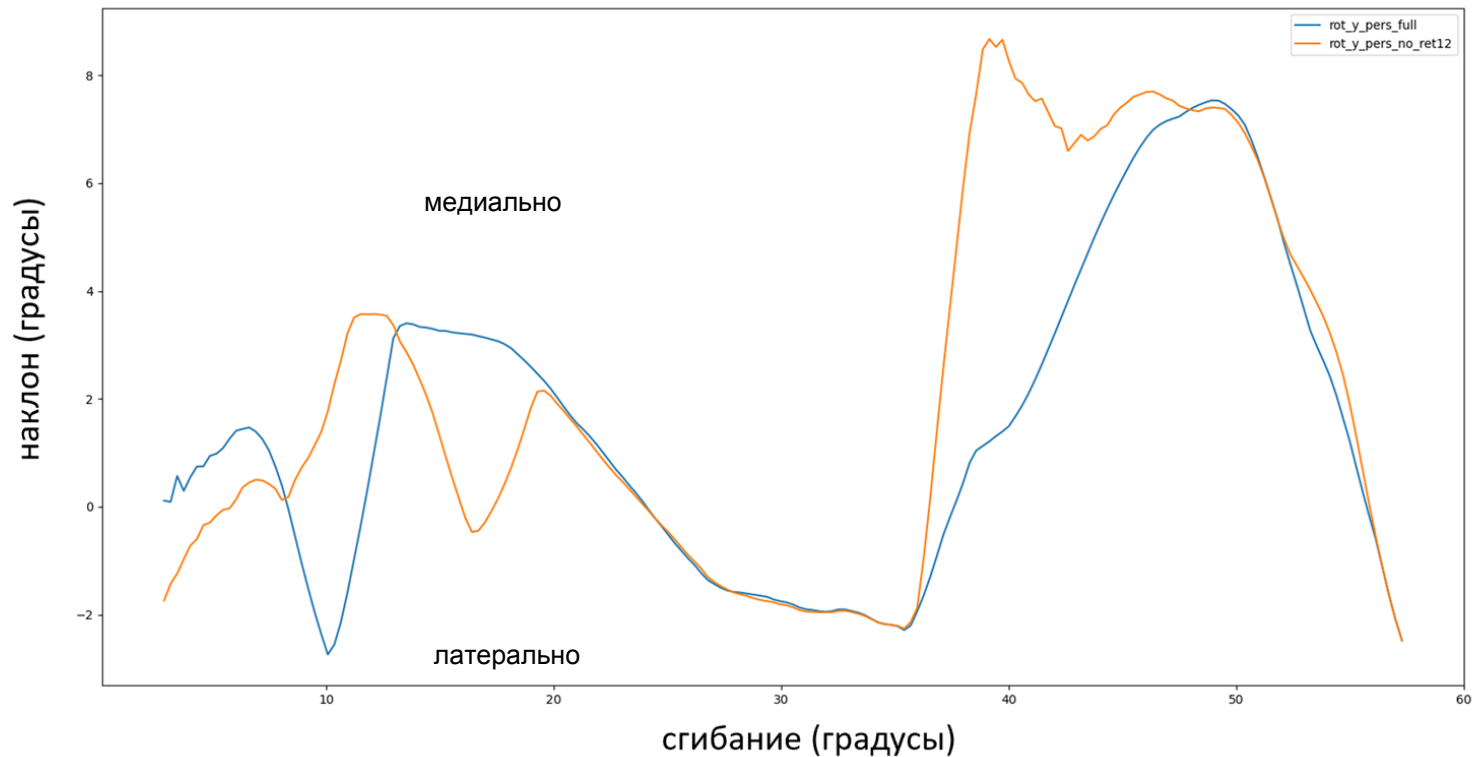
Смещение надколенника без retinaculum 1,2

Смещение надколенника



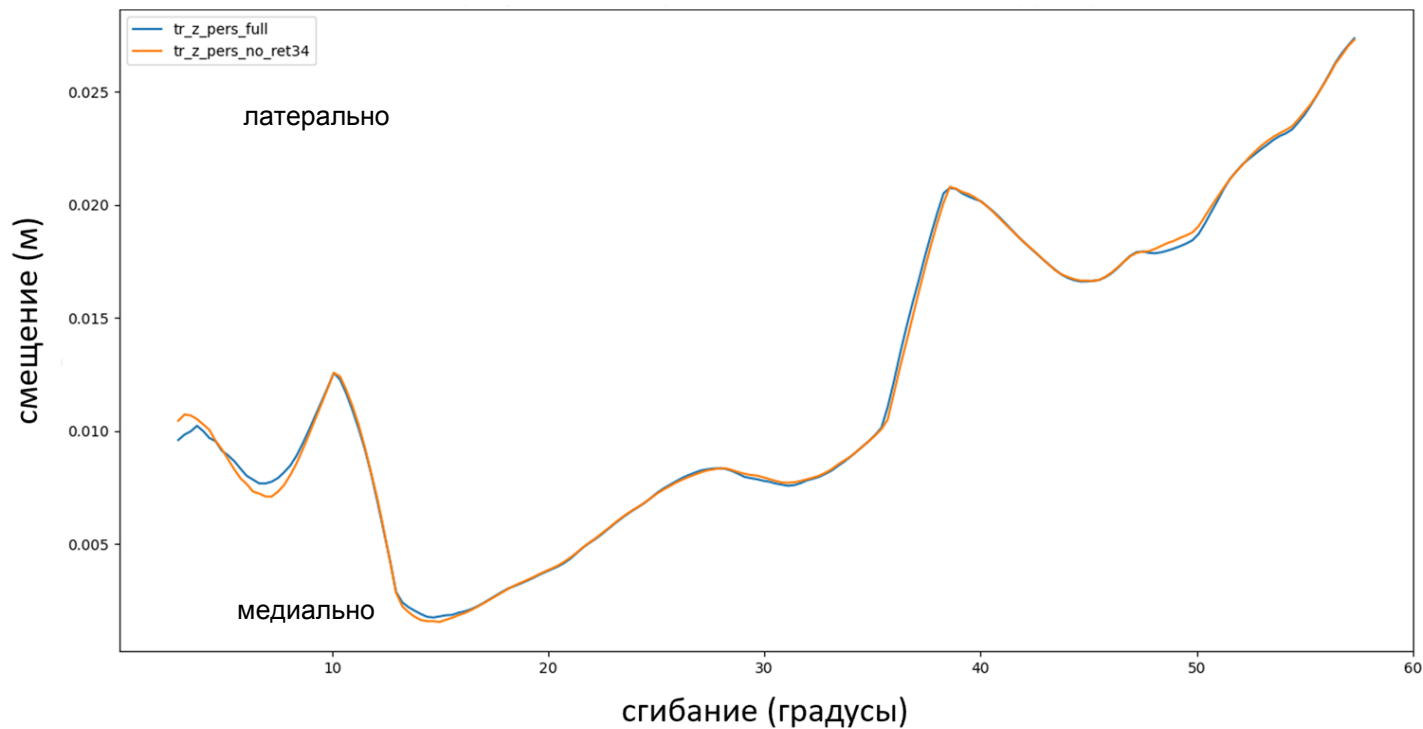
Наклон надколенника без retinaculum 1,2

Наклон надколенника



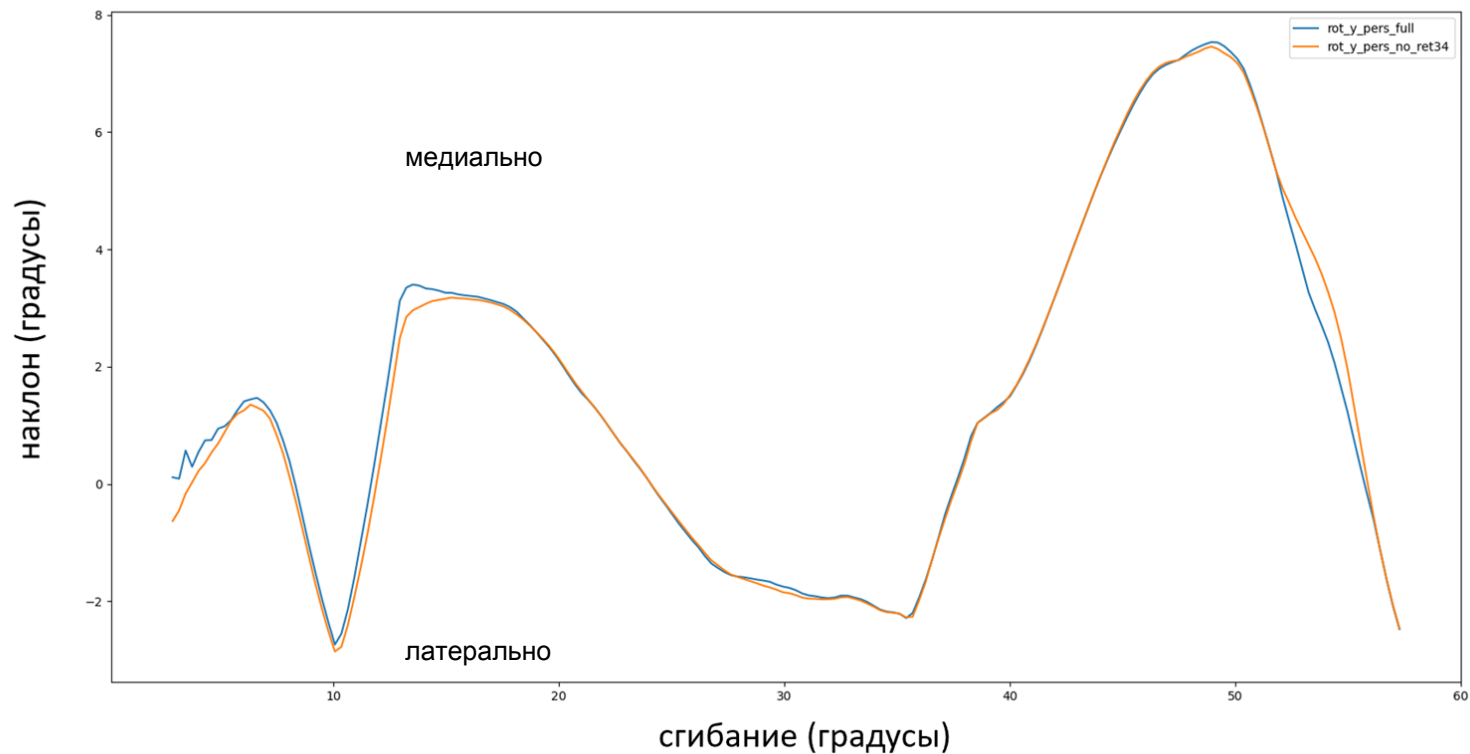
Смещение надколенника без retinaculum 3,4

Смещение надколенника

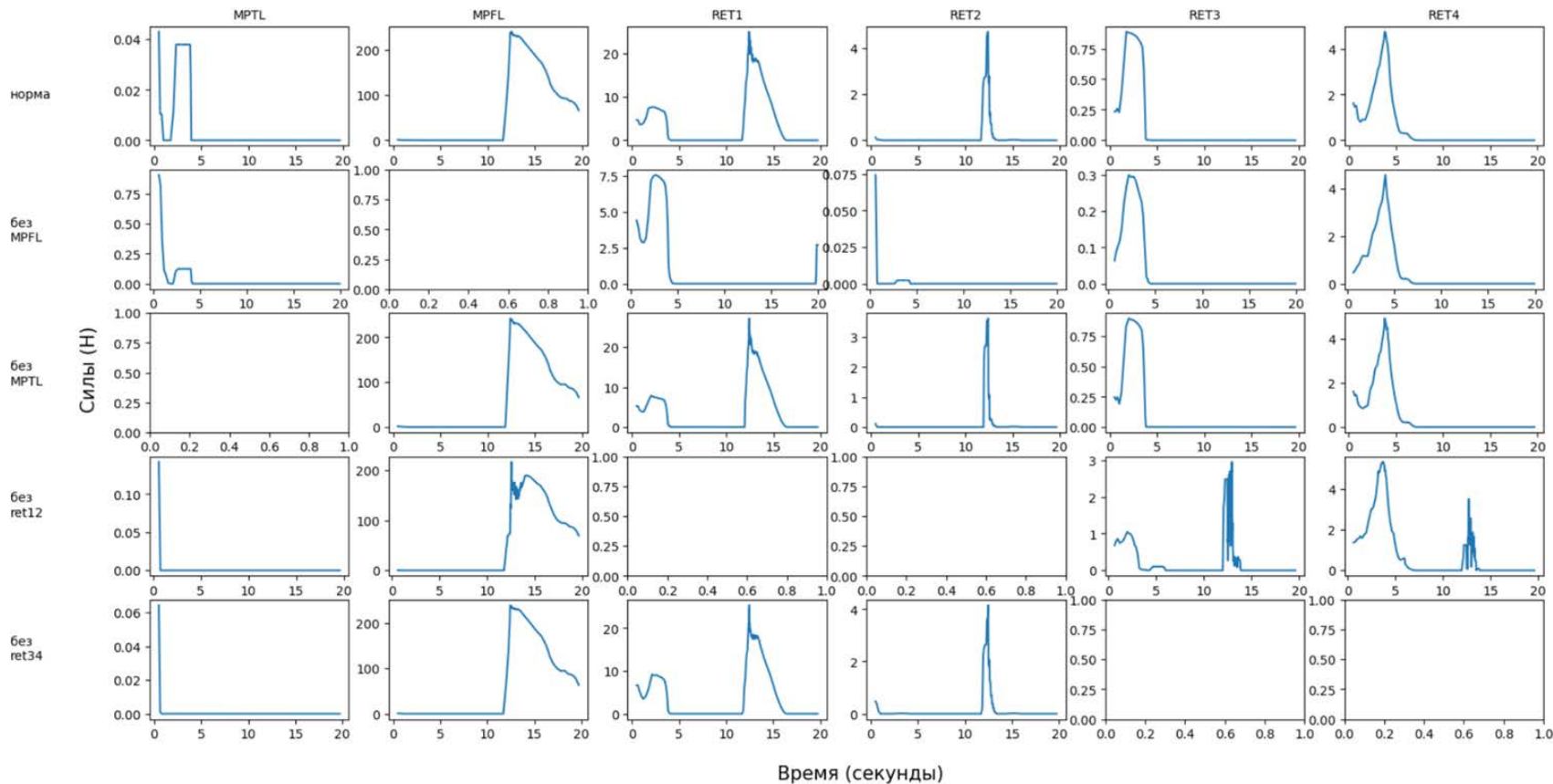


Наклон надколенник без retinaculum 3,4

Наклон надколенника

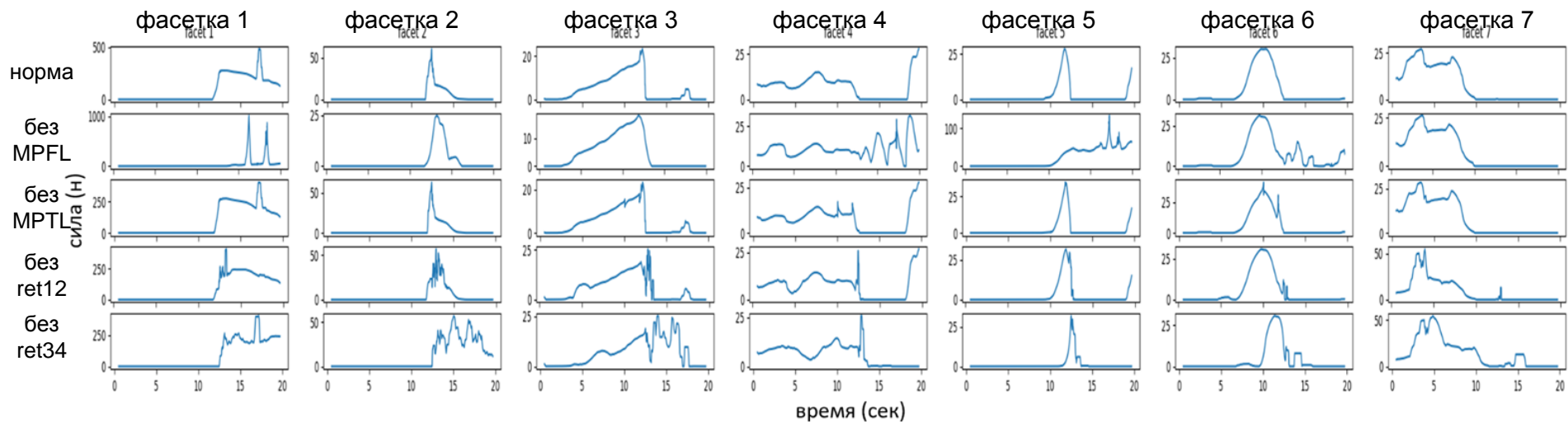


Напряжение в связках



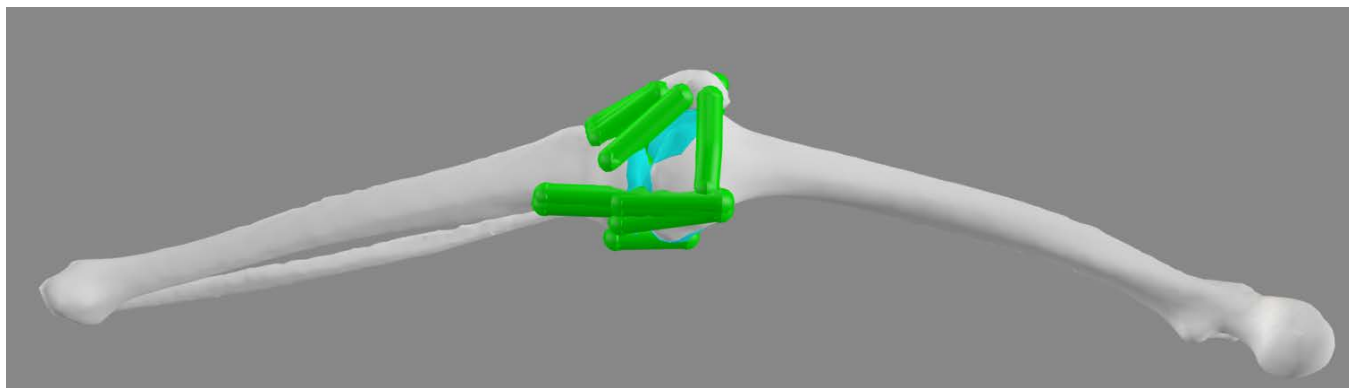
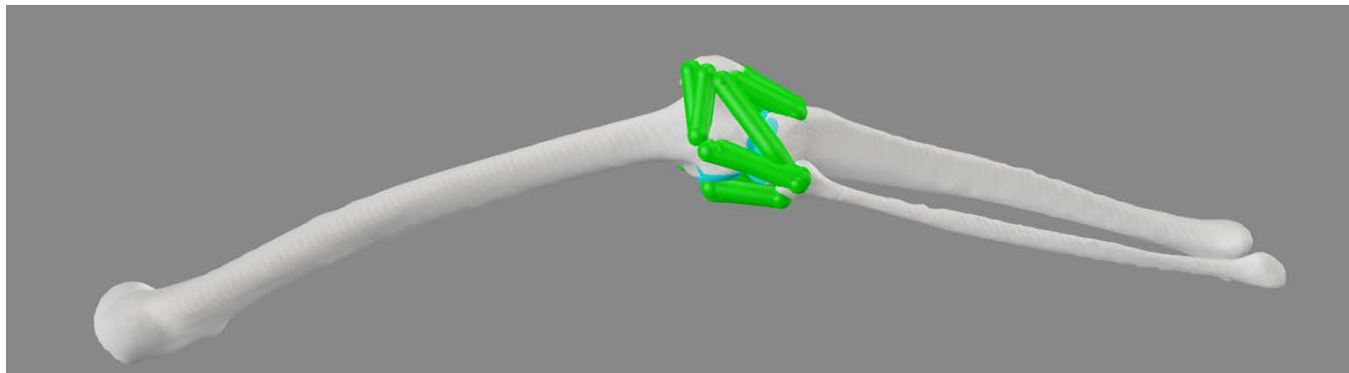
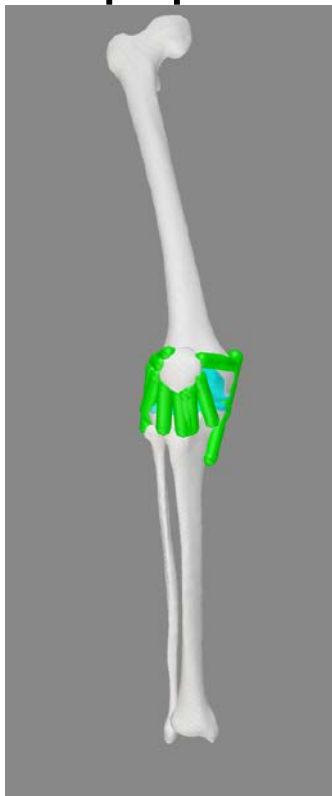


Персонализированная модель. Силы, действующие на фасетки





Персонализированная модель коленного сустава при гонартрозе



Выводы

Разработана технология создания персонализированных биомеханических моделей.

