

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В БИОМЕХАНИКЕ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СКЕЛЕТНО- МЫШЕЧНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЦИКЛА УПРАЖНЕНИЙ ГЛУБОКИЙ ПРИСЕД И ПОЛУПРИСЕД

Мальцева О.Н.<sup>1</sup>, *alise\_maltceva@mail.ru*

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), научно-исследовательская лаборатория «Системы захвата и моделирования движения», Санкт-Петербург, Россия

**Аннотация.** Целью исследования являлось отыскание разницы длин мышечного веретена и сухожилия при выполнении полуприседа и глубокого приседа. В исследовании принимали участие 5 мужчин, профессионально занимающихся пауэрлифтингом. Построены графики зависимости длины системы «мышца-сухожилие» от времени исполнения упражнений для прямой мышцы бедра у всех участников. Выявлено, что у четырех участников наблюдается увеличение длины прямой мышцы бедра на обеих ногах при глубоком приседе, в сравнении с полуприседом, у одного – уменьшение. Выявлена асимметрия в показателях между левой и правой ногами у участника, ранее имевшего травму надколенника.

**Ключевые слова:** биомеханика, спорт, видеоанализ, OpenSim, Qualisys, полуприсед, глубокий присед

---

# THE USE OF DIGITAL TECHNOLOGIES IN BIOMECHANICS TO SIMULATE THE MUSCULOSKELETAL SYSTEM WHEN PERFORMING A CYCLE OF EXERCISES DEEP SQUAT AND SEMI-SQUAT

Maltseva O.N.<sup>1</sup>, *alise\_maltceva@mail.ru*

<sup>1</sup> St. Petersburg State Electrotechnical University "LETI" named after V.I. Ulyanov (Lenin), Scientific Research Laboratory "Motion Capture and Simulation Systems", St. Petersburg, Russia

**Abstract.** The aim of the study was to find the difference in the lengths of the muscular spindle and tendon when performing a semi-squat and a deep squat. The study involved 5 men who are

professionally engaged in powerlifting. Graphs of the dependence of the length of the "muscle-tendon" system are constructed from the time of performing exercises for the rectus femoris muscle for all participants. It was revealed that four participants had an increase in the length of the rectus femoris muscle on both legs with a deep squat, compared with a semi-squat, and one had a decrease. An asymmetry in the indicators between the left and right legs was revealed in a participant who previously had a patellar injury.

**Keywords:** biomechanics, sports, video analysis, OpenSim, Qualisys, semi-squat, deep squat

---

**Обоснование.** Понимание того, как мышцы функционируют и как они влияют на движение суставов, зависит от длины соединения между мышцами и сухожилиями. Длина мышечно-сухожильного соединения может влиять на диапазон движений, выработку силы и общую биомеханику сустава. Поэтому специалисты по биомеханике и видеоанализу часто измеряют и анализируют длину мышц и сухожилий при изучении функции мышц или оценке проблем с опорно-двигательным аппаратом [1].

**Цель** исследования заключалась в отыскании разницы длин мышечного веретена и сухожилия при выполнении полуприседа (0-60 градусов сгибания коленного сустава) и глубокого приседа (0-120 градусов сгибания коленного сустава) участников исследования. Студенты мужского пола ( $n = 5$ ) поочередно выполняли цикл из 6 повторов упражнений – полуприсед и глубокий присед. Все участники исследования профессионально занимаются пауэрлифтингом. Рост участников –  $173 \pm 4$  см., вес –  $72 \pm 12$  кг (табл. 1). Четыре участника из пяти не имеют проблем с опорно-двигательным аппаратом, один из участников имеет надрыв крепления прямой мышцы бедра правой ноги.

Таблица 1. Антропометрические параметры участников

№ участника исследования	Рост, см	Вес, кг
1	170	64
2	170	75
3	177	65
4	177	60
5	174	84

**Методы.** В исследовании использовалось программное обеспечение для регистрации различных биомеханических параметров с помощью захвата движения Qualisys (QTM) версии 2023.2, лаборатория «Систем захвата и моделирования движений», а также средство для моделирования скелетно-мышечной системы человека OpenSim 4.4 [2-4].

**Результаты.** В процессе проведенного исследования были получены численные результаты и построены графики зависимости длины системы «мышца-сухожилие» от времени исполнения упражнений для rectus femoris (прямая мышца бедра), рис. 1.

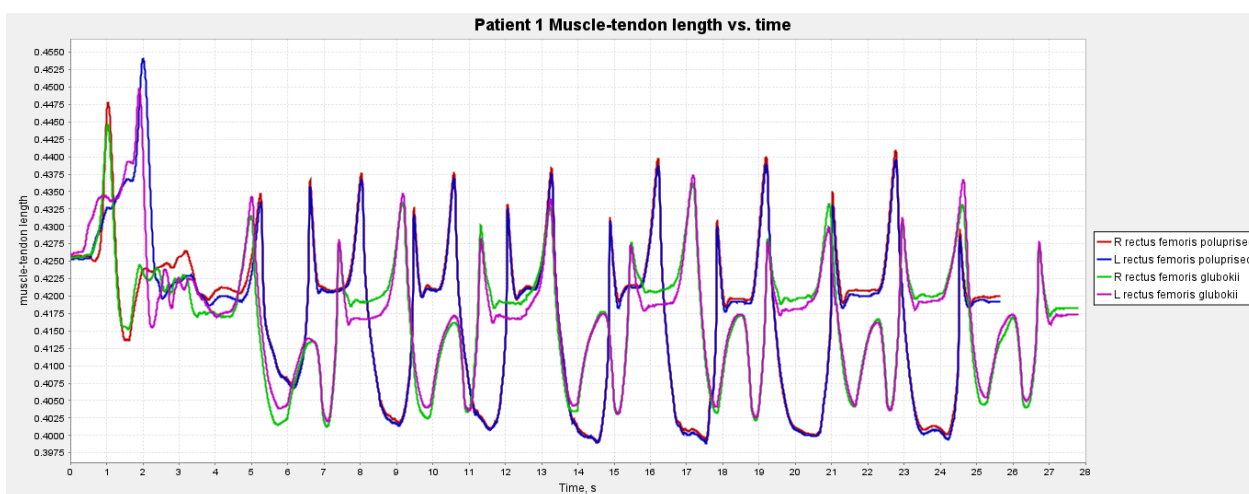


Рисунок 1. Зависимость длины системы «мышца-сухожилие» от времени исполнения упражнений для участника №1

**Заключение.** У четырех из пяти участников наблюдается увеличение длины прямой мышцы бедра на обеих ногах при глубоком приседе, в сравнении с полуприседом (от 0,14% до 1,25%). У четырех из пяти участников при глубоком приседе длины мышечно-сухожильного соединения на правой ноге оказались больше, чем на левой (в среднем в 1,74 раза). Возможными причинами таких результатов могут быть структурные особенности тела и большее развитие у участников мышц на правой стороне тела, чем на левой.

Изменение максимальной длины левой прямой мышцы бедра при полуприседе и глубоком приседе для участника с надрывом крепления мышцы показало больший результат, чем на правой конечности (на 0,99%), что может быть подтверждением полученной травмы, а также может указывать на нарушение баланса и стабильности при движении. Данный факт может увеличить риск повторной травмы и влиять на общую функциональность ног.

У одного из пяти участников большее удлинение прямой мышцы бедра происходило во время выполнения полуприседа, а не во время глубокого приседа (0,14% для левой и 0,28% для правой). Данный результат может быть связан со степенью гибкости мышцы – участнику легче растягивать ее в полуприседе, чем в глубоком приседе. В дальнейшем к исследованию планируется добавить результаты электромиографических датчиков.

**Практическая значимость.** Результаты проведенных исследований в дальнейшем могут быть использованы для создания методики диагностики, прогнозирующей риск травмы на основании анализа измеряемых данных, а также мониторинга уровня восстановления после травмы коленного сустава и мышц ног.

## Список литературы

1. Bloomquist K., Langberg H., Karlsen S., Madsgaard S., Boesen M., Raastad T. Effect of range of motion in heavy load squatting on muscle and tendon adaptations // *Eur. J. Appl. Physiol.* – 2013. Vol. 113, No 8. P. 2133-2142. DOI: 10.1007/s00421-013-2642-7.
  2. Huxley A.F. Muscle structure and theories of contraction // *Prog. Biophys. Biophys. Chem.* – 1957. – Vol. 7. – P. 255-318.
  3. Seth A., Hicks J.L., Uchida T.K., Habib A., Dembia C.L. et al. OpenSim: Simulating musculoskeletal dynamics and neuromuscular control to study human and animal movement // *PLoS Comput. Biol.* – 2018. 14(7):e1006223. DOI: 10.1371/journal.pcbi.1006223
  4. Chen L., Jiang Z., Yang Ch., Cheng R., Zheng S., Qian J. Effect of different landing actions on knee joint biomechanics of female college athletes: Based on opensim simulation // *Front. Bioeng. Biotechnol.* – 2022. 10:899799. DOI: 10.3389/fbioe.2022.899799
- 

## References

1. Bloomquist K., Langberg H., Karlsen S., Madsgaard S., Boesen M., Raastad T. Effect of range of motion in heavy load squatting on muscle and tendon adaptations. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 2013, Vol. 113, No 8, pp. 2133-2142. DOI: 10.1007/s00421-013-2642-7.
2. Huxley A.F. Muscle structure and theories of contraction. *Prog. Biophys. Biophys. Chem.*, 1957, Vol. 7, pp. 255-318.
3. Seth A., Hicks J.L., Uchida T.K., Habib A., Dembia C.L. et al. OpenSim: Simulating musculoskeletal dynamics and neuromuscular control to study human and animal movement. *PLoS Comput. Biol.*, 2018, 14(7):e1006223. DOI: 10.1371/journal.pcbi.1006223
4. Chen L., Jiang Z., Yang Ch., Cheng R., Zheng S., Qian J. Effect of different landing actions on knee joint biomechanics of female college athletes: Based on opensim simulation. *Front. Bioeng. Biotechnol.*, 2022, 10:899799. DOI: 10.3389/fbioe.2022.899799