

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 616.728.3-018.3  
© Коллектив авторов, 2024

А.Р. Хурамшина, А.В. Масленников, Н.Н. Почуева, В.Р. Иманова,  
М.Ф. Галаутдинов, Ф.Ф. Кильмухаметов, Д.Ю. Рыбалко  
**ХАРАКТЕРИСТИКА ТОЛЩИНЫ 3D-МОДЕЛЕЙ  
МЕНИСКОВ КОЛЕННОГО СУСТАВА ЧЕЛОВЕКА**  
ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет»  
Минздрава России, г. Уфа

*Цель исследования* – сравнить толщину различных частей менисков правого и левого коленных суставов.

*Материал и методы.* Проанализировано тридцать 3D-моделей менисков ампутированных нижних конечностей лиц пожилого возраста. В исследование были включены мениски без визуальных повреждений. Определение морфометрических показателей проводилось на 3D-модели менисков, полученных путем сканирования на 3D-сканере (RangeVision Spectrum, Россия) с последующим измерением толщины тела и рогов по наружному контуру мениска в программе Blender 4.3. Статистическая обработка проводилась в программе IBM SPSS Statistics 22.

*Результаты.* Получены линейные размеры латерального и медиального менисков обоих коленных суставов. Сравнение значений толщины одноименных частей латерального и медиального менисков в пределах каждого коленного сустава, а также с одноименными менисками контралатеральных сторон не выявило статистически значимых различий ( $p > 0,05$ ). Статистически значимая разница была выявлена между задним рогом и телом мениска ( $p = 0,006$ ) в пользу заднего рога при сравнении толщины медиального мениска левого коленного сустава.

*Выводы.* Полученные нами данные свидетельствуют о неоднородности толщины как медиального, так и латерального мениска по наружному контуру во всех его частях.

**Ключевые слова:** коленный сустав, мениски, 3D-моделирование, аддитивные технологии, биомеханика.

A.R. Khuramshina, A.V. Maslennikov, N.N. Pochueva, V.R. Imanova,  
M.F. Galautdinov, F.F. Kilmuhametov, D.Yu. Rybalko  
**CHARACTERISTICS OF THE THICKNESS OF 3D MODELS  
OF THE HUMAN KNEE JOINT MENISCI**

*The aim of the study* was to compare the thickness of different parts of the meniscus of the right and left knee joints.

*Material and methods.* Thirty 3D models of meniscus from amputated lower limbs of elderly individuals were analyzed. Menisci without visual damage were included in the study. Morphometric parameters were determined on a 3D model of meniscus obtained by scanning on a 3D scanner (RangeVision Spectrum, Russia) with subsequent measurement of the thickness of the body and horns along the outer contour of the meniscus in Blender 4.3. Statistical processing was performed in IBM SPSS Statistics 22.

*Results.* Linear dimensions of the lateral and medial meniscus of both knee joints were obtained. Comparison of the thickness values of the same parts of the lateral and medial meniscus within each knee joint, as well as with the same meniscus of the contralateral sides, did not reveal statistically significant differences ( $p > 0.05$ ). A statistically significant difference was found between the posterior horn and the body of the meniscus ( $p = 0.006$ ) in favor of the posterior horn when comparing the thickness of the medial meniscus of the left knee joint.

*Conclusions.* The data we obtained indicate heterogeneity in the thickness of both the medial and lateral meniscus along the outer contour in all its parts.

**Key words:** knee joint, menisci, 3D modeling, additive technologies, biomechanics.

Мениски – это вспомогательные элементы коленного сустава, выполняющие роль амортизатора, кроме того они стабилизируют коленный сустав. Они располагаются между мышечками бедренной и большеберцовой костей, увеличивая конгруэнтность контактирующих поверхностей [9,13].

В настоящее время, наряду с травматическими повреждениями, широко распространен остеоартроз коленного сустава. Рост этой патологии прогнозируется в ближайшие десятилетия [10,11]. При этом поражение менисков является одним из патогенетических звеньев остеоартроза. При травмах зачастую возникает необходимость в резекции мениска. Резекция 15-34% размера мениска увеличивает контактное давление в суставе более чем на 350% [5], что подтверждает важную роль менисков в функционировании коленного сустава.

Раннее выявление патологических изменений менисков коленного сустава, а также применение возможных способов их протезирования являются актуальной проблемой. Для этого необходимо иметь подробные данные о форме, размерах и положении менисков в суставе.

Цель исследования – сравнение толщины тела, переднего и заднего рогов менисков на 3D-моделях правого и левого коленных суставов.

### Материал и методы

Проанализированы 3D-модели, полученные путем сканирования менисков, полученных от 30 коленных суставов (14 правых и 16 левых) лиц пожилого возраста, взятых из музейного фонда кафедры анатомии человека Башкирского государственного медицинского университета. Этические нормы и принципы при проведении исследования бы-

ли соблюдены (выписка из протокола заседания локального этического комитета ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России №258 от 19 октября 2022 г.).

В исследование были включены мениски без визуальных повреждений. Коленные суставы, в которых обнаружены поврежденные структуры, были исключены из исследования. Определение морфометрических показателей осуществлялось на 3D-модели менисков. Сканирование менисков проводилось в лаборатории аддитивных технологий БГМУ на 3D-сканере (RangeVision Spectrum, Россия). Обработка полученного материала проводилась в программном обеспечении Scan Center NG 2022.1, морфометрия полученных 3D-моделей – в программе Blender 4.3.

Границы между телом и рогами менисков были определены с применением методики В.Ш. Вагаповой, О.В. Самоходовой, Д.Ю. Рыбалко [2-4]. На моделях латерального и медиального менисков измерялись тол-

щина тела, переднего и заднего рогов по наружному контуру. Полученные значения толщины различных частей медиального и латерального менисков сравнивались в пределах одного и с таковыми контралатерального суставов.

Статистическая обработка проводилась в программе IBM SPSS Statistics 22. Нормальность распределения определялась на основе критерия Шапиро-Уилка. Характеристика вариационных рядов для количественных признаков с непараметрическим распределением представлена с помощью мер центральной тенденции – среднего (М) и межквартильного интервала [ $P_{25}$ ;  $P_{75}$ ]. При сравнении двух независимых выборок непараметрических данных использовался непараметрический U-критерий Манна-Уитни.

### Результаты

Полученные линейные размеры латерального и медиального менисков правого и левого коленных суставов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры	Латеральный мениск			Медиальный мениск		
	Правый коленный сустав (1)	Левый коленный сустав (2)	( $P_{1-2}$ )	Правый коленный сустав (1)	Левый коленный сустав (2)	( $P_{1-2}$ )
Толщина тела мениска	6,82 [5,46; 7,55]	7,05 [5,89; 7,88]	0,480	6,84 [6,66; 7,66]	6,48 [5,18; 7,22]	0,124
Толщина переднего рога мениска	6,02 [4,65; 6,68]	6,23 [5,50; 8,32]	0,212	6,55 [4,37; 7,39]	7,45 [5,42; 8,18]	0,170
Толщина заднего рога мениска	6,59 [5,18; 8,16]	7,49 [6,36; 8,17]	0,329	7,57 [5,66; 8,43]	7,93 [6,36; 9,56]	0,418

При сравнении толщины переднего и заднего рогов медиального мениска правого коленного сустава между собой, установлено, что толщина переднего рога была несколько меньше, чем толщина заднего (при оценке различий по U-критерию Манна-Уитни эта разница статистически значимой не является).

задним рогом и телом  $p=0,006$  (табл. 2): задний рог толще по сравнению с телом мениска.

Статистически значимых различий и тенденций ( $p>0,05$ ) при сравнении частей латерального мениска правого и левого коленных суставов не обнаружено (табл. 3).

Таблица 3

Сравнительная характеристика толщины частей латерального мениска правого и левого коленных суставов (мм)

Сравнительная характеристика толщины частей медиального мениска правого и левого коленных суставов (мм)		
Параметры	Левый коленный сустав	Правый коленный сустав
Толщина переднего рога мениска (1)	7,45 [5,42-8,18]	6,55 [4,37-7,39]
Толщина заднего рога мениска (2)	7,93 [6,36-9,55]	7,57 [5,66-8,43]
Толщина тела мениска (3)	6,47 [5,1-7,22]	6,84 [6,66-7,66]
Значение P	$P_{1-2}=0,17$ $P_{1-3}=0,16$ $P_{2-3}=0,006$	$P_{1-2}=0,069$ $P_{1-3}=0,241$ $P_{2-3}=0,462$

Параметры	Левый коленный сустав	Правый коленный сустав
Толщина переднего рога мениска (1)	6,23 [5,49-8,32]	6,02 [4,65-6,68]
Толщина заднего рога мениска (2)	7,49 [6,36-8,17]	6,59 [5,18-8,16]
Толщина тела мениска (3)	7,05 [5,89-7,88]	6,82 [5,46-7,55]
Значение P	$P_{1-2}=0,408$ $P_{1-3}=0,724$ $P_{2-3}=0,515$	$P_{1-2}=0,108$ $P_{1-3}=0,135$ $P_{2-3}=0,713$

Статистически значимое различие значений толщины частей медиального мениска левого коленного сустава было выявлено между

Сравнение значений толщины одноименных частей латерального и медиального менисков в пределах каждого коленного сустава не выявило статистически значимых различий ( $p>0,05$ ) (табл. 4).

Линейные показатели менисков правого и левого коленных суставов (мм)

Структура	Правый коленный сустав			Левый коленный сустав		
	Толщина тела мениска	Толщина переднего рога мениска	Толщина заднего рога мениска	Толщина тела мениска	Толщина переднего рога мениска	Толщина заднего рога мениска
Медиальный мениск (1)	6,84 [6,66-7,66]	6,55 [4,37-7,39]	7,57 [5,66-8,43]	6,48[5,18-7,22]	7,45[5,42-8,18]	7,93[6,36-9,56]
Латеральный мениск (2)	6,82 [5,46-7,55]	6,02 [4,65-6,68]	6,59 [5,18-8,16]	7,05[5,89-7,88]	6,23[5,5-8,32]	7,49[6,36-8,17]
Значение P	P <sub>1-2</sub> =0,454	P <sub>1-2</sub> =0,3	P <sub>1-2</sub> =0,285	P <sub>1-2</sub> =0,287	P <sub>1-2</sub> =0,724	P <sub>1-2</sub> =0,210

### Обсуждение

Детальные антропометрические характеристики мениска необходимы для определения соответствия контактирующих суставных поверхностей с целью подбора подходящего аллотрансплантата поврежденного мениска при невозможности его восстановления или частичного сохранения.

Удаление мениска приводит к уменьшению площади контакта большеберцово-бедренного сустава и к увеличению контактного давления ввиду несоответствия кривизны между мыщелками бедра и тибияльного плато. Это повышенное давление на сустав приводит к повреждению суставного хряща и развитию артроза [13]. При некоторых исследованиях выявлена относительная взаимосвязь структурных изменений коленного сустава при остеоартрозе с толщиной передних и задних рогов менисков [12].

Полученные нами результаты согласуются с данными ряда исследователей [7,8]: передний рог медиального мениска имеет большую толщину, чем передний рог латерального мениска. Эти же авторы указывают, что у латерального мениска наиболее толстой частью по сравнению с рогами является тело.

Наши данные подтверждают это, однако разница между частями не является статистически значимой. По данным ряда авторов, полученным с помощью ультразвукового метода и магнитно-резонансной томографии, размеры менисков не зависят от пола, величины роста и индекса массы тела [1,14]. Однако у ряда исследователей имеются по этому вопросу противоречивые сведения [6].

### Выводы

Таким образом, полученные нами данные свидетельствуют о неоднородности толщины как медиального, так и латерального менисков по наружному контуру всех его частей. Однако разница в этих показателях незначительна (от 0,29 до 0,73 мм), составляет не более 5-10% от усредненного значения толщины мениска и не является статистически значимой. Это важный анатомический факт, который наравне с другими характеристиками мениска может быть использован при подборе трансплантата. Кроме того, отсутствие достоверной разницы в значениях толщины между контралатеральными менисками позволяет осуществить планирование оперативного вмешательства, основываясь на размерах одноименного интактного мениска.

### Сведения об авторах статьи:

**Хурамшина Айгуль Рафкатовна** – аспирант кафедры анатомии человека ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России. Адрес: 450008, г. Уфа, ул. Ленина, 3. E-mail: gibakur@mail.ru. ORCID: 0009-0002-6388-9954.

**Масленников Антон Васильевич** – к.м.н., доцент кафедры анатомии человека ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России. Адрес: 450008, г. Уфа, ул. Ленина, 3. E-mail: mas-anton@yandex.ru. ORCID: 0000-0002-1349-747X.

**Почуева Наталья Николаевна** – к.б.н., доцент кафедры анатомии человека ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России. Адрес: 450008, г. Уфа, ул. Ленина, 3. E-mail: pochueva1975@bk.ru. ORCID: 0009-0009-6173-1580.

**Иманова Вилена Раисовна** – к.м.н., доцент кафедры анатомии человека ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России. Адрес: 450008, г. Уфа, ул. Ленина, 3. E-mail: v.g.imanova@mail.ru. ORCID: 0000-0003-0808-0802.

**Галаудинов Марс Фларитович** – заведующий лабораторией аддитивных технологий ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России. Адрес: 450008, г. Уфа, ул. Ленина, 3. E-mail: mars.galautdinov@gmail.com. ORCID: 0000-0003-4284-5696.

**Кильмухаметов Фанир Фанисович** – инженер лаборатории аддитивных технологий ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России. Адрес: 450008, г. Уфа, ул. Ленина, 3. E-mail: ffkilmuhametov@bashgmu.ru. ORCID: 0009-0003-2314-1965.

**Рыбалко Дмитрий Юрьевич** – к.м.н., заведующий кафедрой анатомии человека ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России. Адрес: 450008, г. Уфа, ул. Ленина, 3. E-mail: rybalko\_dy@mail.ru. ORCID: 0000-0002-5033-1305.

### ЛИТЕРАТУРА

- Гринберг, Е.Б. Вариативная анатомия коленного сустава человека в юношеском, зрелом, пожилом и старческом возрастах: автореф. дис. канд. мед. наук. – Астрахань, 2012. – 21 с.
- Рыбалко, Д.Ю. Строение менисков коленного сустава человека и их фиксирующего аппарата в зрелом, пожилом и старческом возрастах: автореф. дис. канд. мед. наук. – Уфа, 2006. – 23 с.
- Самоходова, О.В. Развитие менисков коленного сустава и их фиксирующего аппарата в пренатальном онтогенезе: автореф. дис. канд. мед. наук. – Уфа, 2004. – 24 с.
- Функциональная морфология элементов коленного сустава / В.Ш. Вагапова, Д.Ю. Рыбалко. – Уфа: Гилем, Башк. энцикл., 2015. – 352 с., 236 илл.
- Fox A.J. The human meniscus: a review of anatomy, function, injury, and advances in treatment / A.J. Fox, F. Wanivenhaus, A.J. Burge, R.F. Warren, S.A. Rodeo // Clin Anat. – 2015. – Vol.28, №2. – P.269-287.

6. Liu, Y. Meniscal anterior and posterior horn heights are associated with MRI-defined knee structural abnormalities in middle-aged and elderly patients with symptomatic knee osteoarthritis. / Y. Liu, G. Du, J. Liu // BMC Musculoskelet Disord. – 2022. – №23. – P.218.
7. Markes A.R. Meniscus Form and Function / A.R. Markes, J.D. Hodax, C.B. Ma // Clin Sports Med. – 2020. – Vol.39, №1. – P.1-12.
8. Meniscus Anatomy and Basic Science / S.M. Gee, M. Posner //Sports Medicine and Arthroscopy Review. – 2021. – Vol.29, №3. – P.18-23.
9. Shen X. Morphological Analysis of Normal Meniscus on Magnetic Resonance Imaging (MRI)-Based Three-Dimensional Reconstruction Models in Healthy Chinese Adults / X. Shen, J. Zuo, Z. Li, J. Xiao, T. Liu // Med Sci Monit. – 2020. – Vol. 26. – P. 1-9.
10. Arnoczky SP, McDevitt CA. The meniscus: Structure, function, repair and replacement. In: Buckwalter JA, Einhorn TA, Simon SR, editors. Orthopaedic Basic Science. American Academy of Orthopaedic Surgeons; 2000. pp. 531–545.
11. GBD2019. Global burden of 369 diseases and injuries in 204 countries and territories, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. The Lancet 2020;396:1204–1222. doi: 10.1016/S0140-6736(20)30925-9
12. Kurtz S, Ong K, Lau E, et al. Projections of primary and revision hip and knee arthroplasty in the United States from 2005 to 2030. J Bone Joint Surg Am 2007;89:780–5. doi: 10.2106/JBJS.F.00222.
13. Braz P. R. P., Silva W. G. Meniscus morphometric study in humans //Journal of Morphological Sciences. – 2017. – T. 27. – №. 2. – C. 62-66.
14. Bloecker K. et al. Morphometric differences between the medial and lateral meniscus in healthy men—a three-dimensional analysis using magnetic resonance imaging //Cells Tissues Organs. – 2012. – T. 195. – №. 4. – C. 353-364.
15. Berhouet J. et al. Meniscus matching: evaluation of direct anatomical, indirect radiographic, and photographic methods in 10 cadaver knees //Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research. – 2013. – T. 99. – №. 3. – C. 291-297.

## REFERENCES

1. Grinberg, E.B. Variativnaya anatomiya kolennogo sustava cheloveka v yunosheskom, zreloom, pozhilom i starcheskom vozrastakh: avtoref. dis.. kand. med. nauk. – Astrakhan', 2012. – 21 s. (In Russ).
2. Rybalko, D.Yu. Stroenie meniskov kolennogo sustava cheloveka i ikh fiksiruyushchego apparata v zreloom, pozhilom i starcheskom vozrastakh: avtoref. dis.. kand. med. nauk. – Ufa, 2006. – 23 s. (In Russ).
3. Samokhodova, O.V. Razvitie meniskov kolennogo sustava i ikh fiksiruyushchego apparata v prenatal'nom ontogeneze: avtoref. dis.. kand. med. nauk. – Ufa, 2004. – 24 s. (In Russ).
4. Funktsional'naya morfologiya elementov kolennogo sustava / V.Sh. Vagapova, D.Yu. Rybalko. – Ufa: Gilem, Bashk. entsikl., 2015. – 352 s., 236 ill. (In Russ).
5. Fox A.J. The human meniscus: a review of anatomy, function, injury, and advances in treatment / A.J. Fox, F. Wanivenhaus, A.J. Burge, R.F. Warren, S.A. Rodeo //Clin Anat. – 2015. – Vol.28, №2. – P.269-287. (in Engl).
6. Liu, Y. Meniscal anterior and posterior horn heights are associated with MRI-defined knee structural abnormalities in middle-aged and elderly patients with symptomatic knee osteoarthritis. / Y. Liu, G. Du, J. Liu // BMC Musculoskelet Disord. – 2022. – №23. – P.218. (in Engl).
7. Markes A.R. Meniscus Form and Function / A.R. Markes, J.D. Hodax, C.B. Ma // Clin Sports Med. – 2020. – Vol.39, №1. – P.1-12. (in Engl).
8. Meniscus Anatomy and Basic Science / S.M. Gee, M. Posner //Sports Medicine and Arthroscopy Review. – 2021. – Vol.29, №3. – P.18-23. (in Engl).
9. Shen X. Morphological Analysis of Normal Meniscus on Magnetic Resonance Imaging (MRI)-Based Three-Dimensional Reconstruction Models in Healthy Chinese Adults / X. Shen, J. Zuo, Z. Li, J. Xiao, T. Liu // Med Sci Monit. – 2020. – Vol. 26. – P. 1-9. (in Engl).
10. Arnoczky SP, McDevitt CA. The meniscus: Structure, function, repair and replacement. In: Buckwalter JA, Einhorn TA, Simon SR, editors. Orthopaedic Basic Science. American Academy of Orthopaedic Surgeons; 2000. pp. 531–545. (in Engl).
11. GBD2019. Global burden of 369 diseases and injuries in 204 countries and territories, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. The Lancet 2020;396:1204–1222. doi: 10.1016/S0140-6736(20)30925-9. (in Engl).
12. Kurtz S, Ong K, Lau E, et al. Projections of primary and revision hip and knee arthroplasty in the United States from 2005 to 2030. J Bone Joint Surg Am 2007;89:780–5. doi: 10.2106/JBJS.F.00222. (in Engl).
13. Braz P. R. P., Silva W. G. Meniscus morphometric study in humans //Journal of Morphological Sciences. – 2017. – T. 27. – №. 2. – C. 62-66. (in Engl).
14. Bloecker K. et al. Morphometric differences between the medial and lateral meniscus in healthy men—a three-dimensional analysis using magnetic resonance imaging //Cells Tissues Organs. – 2012. – T. 195. – №. 4. – C. 353-364. (in Engl).
15. Berhouet J. et al. Meniscus matching: evaluation of direct anatomical, indirect radiographic, and photographic methods in 10 cadaver knees //Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research. – 2013. – T. 99. – №. 3. – C. 291-297. (in Engl).