

СИММЕТРИЧНОСТЬ И ГЕНДЕРНЫЕ РАЗЛИЧИЯ МОМЕНТА АДДУКЦИИ КОЛЕННОГО СУСТАВА

А.Б. Малков¹, С.Н. Кондратьев¹, М.В. Аброськина^{1,2}

1 Федеральный Сибирский научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства, Красноярск, Российская Федерация

2 Красноярский государственный медицинский университет имени профессора В.Ф. Войно-Ясенецкого, Красноярск, Российская Федерация

Актуальность. Гонартроз — одно из наиболее коварных дегенеративных заболеваний, имеющих ряд биомеханических шаговых предикторов. Из них наиболее изученным является момент аддукции коленного сустава в фазу опоры, однако имеет место недостаток исследований, посвященных поиску его референтных значений среди различных возрастных и гендерных групп. **Цель исследования** — оценка влияния пола и функциональной асимметрии тела на пиковые моменты аддукции коленного сустава у здоровых добровольцев. **Методы.** При помощи программно-аппаратного комплекса для видеоанализа движений «Vicon Motion Capture Systems» компании Vicon (Великобритания) выполнено исследование с участием 38 здоровых добровольцев (17 мужчин и 21 женщина) в возрасте 20–45 лет. Произведена сравнительная оценка амплитуды первого и второго пиков момента аддукции коленного сустава в фазу опоры. Симметричность оценивалась для обоих пиков в целом, а также отдельно у мужчин и у женщин. Гендерные различия для обоих пиков оценивались суммарно для правой и левой нижней конечности. **Результаты.** Выявлено отсутствие достоверных межгрупповых различий в амплитуде обоих пиков момента аддукции коленного сустава между правой и левой ногой независимо от пола ($p > 0,05$), что демонстрирует симметрию приводящих сил, действующих на коленный сустав в фазу опоры. При сравнении амплитуды обоих пиков момента аддукции коленного сустава у мужчин и женщин выявлены отсутствие достоверных различий для первого пика ($p > 0,05$), но достоверно более высокий второй пик у лиц мужского пола ($p < 0,05$). **Заключение.** Полученные аспекты вариабельности пиковых моментов аддукции коленного сустава найдут свое применение в функциональной диагностике с применением технологии видеоанализа движений.

Ключевые слова: видеоанализ движений, гонартроз, биомеханические предикторы, момент аддукции коленного сустава, функциональная диагностика

(Для цитирования: Малков А.Б., Кондратьев С.Н., Аброськина М.В. Симметричность и гендерные различия момента аддукции коленного сустава. Клиническая практика. 2020;11(1):XXX–XXX. doi: 10.17816/clinpract17640)

SYMMETRICITY AND GENDER DIFFERENCES OF KNEE JOINT ADDUCTION MOMENT

A.B. Malkov¹, S.V. Kondrat'ev¹, M.V. Abros'kina^{1,2}

1 The Federal Siberian Research Clinical Centre under the Federal Medical Biological Agency Krasnoyarsk, Russian Federation

2 Professor V.F. Voyno-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University, Krasnoyarsk, Russian Federation

Actuality. Gonarthrosis is one of the most insidious degenerative diseases, which has a number of gait biomechanical predictors. Of these, the most studied is the knee joint adduction moment in the support phase, however, there is a lack of research devoted to the search for its reference values among various age and gender groups. **Purpose of research.** Evaluation of gender and functional body asymmetry effect on peak moments of knee joint adduction in healthy volunteers. **Methods.** The study was conducted on 38 healthy volunteers (17 men and 21 women) aged 20–45 years old through the motion capture hardware-software complex «Vicon Motion Capture Systems» of the company Vicon (United Kingdom). A comparative assessment was made for the first and second peaks amplitude of the knee joint adduction moment in the support phase. Symmetry was evaluated for both peaks in general, as well as separately

for men and women. Gender differences for both peaks were evaluated in total for the right and left lower limbs. **Results.** The absence of significant intergroup differences in the both peaks amplitude of the knee joint adduction moment between the right and left legs, irrespective of gender ($p>0.05$), was revealed, which demonstrates the symmetry of the adduction forces acting on the knee joint in the support phase. When comparing the both peaks amplitudes of the knee joint adduction moment in men and women, there was absence of significant differences for the first peak ($p>0.05$), but a significantly higher second peak in males ($p<0.05$). **Conclusion.** The obtained variability aspects of the peak moments of knee joint adduction will find their application in functional diagnostics using the motion capture technology.

Keywords: motion capture, gonarthrosis, biomechanical predictors, knee joint adduction moment, functional diagnostics.

(For citation: Malkov AB, Kondrat'ev SV, Abros'kina MV. Symmetricity and Gender Differences of Knee Joint Adduction Moment. *Journal of Clinical Practice*. 2020;11(1):XXX-XXX. doi: 10.17816/clinpract17640)

АКТУАЛЬНОСТЬ

Остеоартроз коленного сустава является одним из наиболее коварных дегенеративных заболеваний, резко снижающим качество жизни больных и зачастую приводящим к инвалидизации [1]. По данным эпидемиологических исследований, проведенных для национальной программы изучения остеоартроза коленного сустава в США, встречаемость манифестного гонартроза составила 1,6% среди лиц в возрасте 25–74 лет и 9,5% среди лиц в возрасте 63–93 лет, из них 2/3 — это люди трудоспособного возраста [2]. Несмотря на совершенствование как инвазивной, так и неинвазивной инструментальной диагностики раннего остеоартроза и преостеоартроза коленного сустава, а также поиск лабораторных маркеров его прогнозирования, задача предикции гонартроза на сегодняшний день полностью не решена [3], однако существенная роль биомеханических факторов в возникновении и прогрессировании остеоартроза коленного сустава очевидна [4]. При этом наиболее тяжело понимание этой роли в возникновении первичного гонартроза, когда причина инициации повреждения коленного сустава неясна [5]. Между тем на сегодняшний момент достоверно установлено, что ряд биомеханических факторов, которые участвуют в патогенезе идиопатической формы гонартроза, обусловлены особенностями походки [6, 7]. Объективный скачок в изучении биомеханических предикторов гонартроза произошел вместе с распространением в научно-практической среде функционального метода исследования походки под названием «видеоанализ движений» [8]. На сегодняшний день наиболее изученным шаговым предиктором гонартроза является момент аддукции коленного сустава в фазу опоры. Имеют место многочисленные исследования, которые устанав-

ливают аномальность его средних и пиковых значений на различных стадиях гонартроза [9]. При этом отдельные исследования, посвященные поиску его референтных значений среди различных возрастных и гендерных групп, достаточно малочисленны и противоречивы [10].

Целью исследования являлась оценка влияния пола и функциональной асимметрии тела на пиковые моменты аддукции коленного сустава у здоровых добровольцев.

МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Проведенное исследование было запланировано на здоровых добровольцах мужского и женского пола, включая следующие этапы: 1) Первоначальный отбор испытуемых в соответствии возрастом, индексом массы тела и данными анамнеза; 2) Окончательный отбор испытуемых в соответствии с данными объективного осмотра и антропометрии; 3) Набор и техническая оценка качества полученных данных от видеоанализа походки; 4) Группировка и статистическая обработка полученных пиковых значений момента аддукции коленного сустава; 5) Анализ и представление результатов исследования.

Исследование предполагало оценку симметричности пиков момента аддукции правого и левого коленного сустава в целом и в зависимости от пола, а также общую межгендерную оценку достоверности различий данных пиков. Для исследования в качестве двигательного акта была использована ходьба в комфортном для испытуемых темпе.

Критерии соответствия

Исследование было запланировано в соответствии с критерием включения сопоставимого ко-

личества здоровых мужчин и женщин в возрасте 18–50 лет. Из исследования исключались добровольцы, имеющие в анамнезе какие-либо врожденные или приобретенные деформации, соматические заболевания, а также травмы со стойким нарушением целостности опорно-двигательного аппарата. Исследование не предполагало включение волонтеров в возрасте младше 18 и старше 50 лет, а также добровольцев с индексом массы тела более 35 кг/м² ввиду возможного влияния процессов формирования и старения опорно-двигательного аппарата и существенного ожирения на биомеханику коленных суставов.

Условия проведения

Исследование проводилось на базе лаборатории видеонализа движений Центра восстановительной медицины Федерального государственного бюджетного учреждения «Федеральный Сибирский научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства» (Российская Федерация, город Красноярск). Первоначальный отбор волонтеров осуществлялся на базе Медицинского центра Сибирского Федерального Университета (Российская Федерация, город Красноярск). Волонтеры отбирались из числа пациентов, обратившихся на консультацию к терапевту по поводу ОРВИ.

Продолжительность исследования

Исследование было запланировано в срок 03.2019–08.2019 г. Этап первоначального отбора испытуемых был запланирован в течение 4-х недель и был выполнен в срок. При этом первоначально для исследования было отобрано 40 добровольцев. Этап окончательного отбора волонтеров и этап набора и технической оценки качества полученных данных от видеонализа походки по плану были осуществлены совместно в течение 4-х месяцев. Объективный осмотр с антропометрией при окончательном отборе добровольцев и проведением тестов ходьбы с захватом движений были выполнены в один день. На следующий день осуществлялась техническая оценка качества полученных данных от видеонализа походки. При этом из 40 добровольцев окончательный отбор прошли 38 человек. Группировка и статистическая обработка полученных данных с анализом и представлением полученных результатов были проведены в соответствии с планом в течение 1 месяца.

Методы регистрации исходов

Всем испытуемым было проведено однократное исследование походки посредством современного программно-аппаратного комплекса «Vicon Motion Capture Systems» компании Vicon (Великобритания), включающего 12 инфракрасных видеокамер, расположенных по периметру комнаты, а также 3 динамометрические платформы, встроенные в пол. Система позволяет фиксировать более 2 полных шаговых цикла за одну пробу. Сбор и обработка биомеханических данных происходили посредством программы Nexus, а представление полученных результатов — с помощью программы Polygon.

В качестве скелетной биомеханической модели программное обеспечение Vicon Motion Capture Systems использует иерархическую модель, наиболее зарекомендовавшую себя в научной и клинической практике. Биомеханическая модель вычисляется по дистальным анатомическим ориентирам в области эпифизов костей и совмещается перпендикулярно с центром проксимального сустава. К этим неподвижным анатомическим ориентирам прилегают светоотражающие маркеры, с которых считывается оптическая информация для «виртуального скелета». Применение дополнительных стержневых приспособлений с маркерами на конце, размещенных на коже диафизарной части бедер и голени, обусловлено необходимостью точного определения торсии сегментов в коронарной плоскости.

Результаты проведенных проб визуализируются в виде различных трехмерных изображений, структурно привязанных к анатомической скелетной модели, которые дополняются видеоизображением в видимом спектре, полученном в двух плоскостях от камер контрольного видео. Количественные биомеханические данные представляются в виде непрерывных (графических) и дискретных значений.

Перед каждым исследованием производился подробный сбор анамнеза относительно полученных травм, ортопедических и неврологических заболеваний, врожденных аномалий, а также физикальный осмотр, при котором происходила тщательная проверка на наличие деформаций и асимметрий скелета и мягких тканей, суставных контрактур, гипертонуса мышц, болевых и триггерных пунктов. В начале исследования осуществлялся сбор антропометрических данных, которые заносились в интерфейс программы Nexus, и были использованы для программирования ана-

томии будущей скелетной модели. При этом у 5 из 38 добровольцев имело место функциональное укорочение одной из нижних конечностей в пределах 1 см, вызванное незначительным фронтальным перекосом таза и/или незначительным функциональным сколиозом при равенстве абсолютной длины нижних конечностей. Данный вариант функциональной асимметрии не является полностью физиологическим, однако ввиду своей высокой распространенности среди относительно здоровых лиц, слабого влияния на биомеханику ходьбы и отсутствия структурных аномалий, перманентно его обуславливающих, будет уместно пренебречь его наличием при настоящем и последующем формировании выборок [11, 12].

Исследование походки производилось путем поочередного прохождения по динамометрическим платформам левой и правой ногой с отсечкой минимум 1 м в комфортном темпе. Количество тестов для каждой нижней конечности составляло 6–8. При этом для графических значений кинетических и кинематических показателей в интерфейсе программы Polygon было вычислено математическое ожидание. Пиковые моменты аддукции обоих коленных суставов были взяты из средних межтестовых величин в полученных непрерывных данных. Как известно, первый пик аддукции коленного сустава приходится на временную точку в 30% от длительности фазы опоры, а второй — в терминальный период фазы опоры, выражаясь в Нм/кг либо в виде произведения процента массы тела на рост [9]. В интерфейсе используемой нами версии программы Polygon в качестве единицы измерения кинетических показателей использовались Нм/кг. Были произведены сравнительные оценки амплитуды обоих пиков между левой и правой нижней конечностью у мужчин и женщин, а также вне зависимости от пола. Достоверность гендерных различий в амплитуде обоих пиков оценивалась суммарно для правой и левой нижней конечности.

Этическая экспертиза

Исследование было выполнено без проверки этическим комитетом.

Статистический анализ

Статистическая обработка базы данных проводилась в соответствии с требованиями, предъявляемыми к статистическому анализу биомедицинских данных посредством программного пакета

Statistica v. 7.0 (StatSoft, США). Ввиду малого размера выборок соответствие статистического распределения нормальному распределению Гаусса оценивали с помощью критерия Шапиро–Уилка. Так как все имеющиеся выборки количественных данных не подчинялись закону нормального распределения, то различия были оценены при помощи методов непараметрической статистики и представлены графически в виде медианы, 25-го и 75-го перцентилей [Me (P25; P75)]. Для оценки достоверности различий использовался количественный U-критерий Манна–Уитни для независимых выборок. При попарном сравнении каждого из пиков момента аддукции между левой и правой нижней конечностью мы также использовали U-критерий Манна–Уитни для несвязанных выборок, выдвинув более строгую гипотезу о независимости кинетики правой и левой ноги.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Объекты (участники) исследования

В качестве объекта для исследования были взяты 38 здоровых добровольцев в возрасте 20–45 лет (17 мужчин и 21 женщина) с индексом массы тела менее 35 кг/м².

Основные результаты исследования

В результате оценки значимости различий в амплитуде первого пика момента аддукции коленного сустава между правой и левой нижней конечностью было отмечено отсутствие достоверной разницы между выборками ($U=626,5$; $p>0,05$), что демонстрирует отсутствие асимметрии в значениях данного показателя между правой и левой ногой (рис. 1). При отдельном сравнении амплитуды первого пика момента аддукции коленного сустава для правой и левой нижней конечности у мужчин различия между выборками также были незначимы ($U=121,5$; $p>0,05$). Аналогичные результаты в отношении первого пика были получены у женщин ($U=206,5$; $p>0,05$).

Достоверность различий отсутствовала при сравнении второго пика момента аддукции между правой и левой нижней конечностью ($U=613,5$; $p>0,05$) (рис. 2). При этом различия в амплитуде второго пика между левой и правой нижними конечностями были незначимы как у мужчин ($U=110$; $p>0,05$), так и у женщин ($U=191,5$; $p>0,05$). Данный результат демонстрирует достаточно выраженную симметрию момента аддукции коленного сустава у здоровых людей независимо от пола.

Рис. 1. Непараметрические показатели, характеризующие первый пик момента аддукции коленного сустава для правой и левой нижней конечности

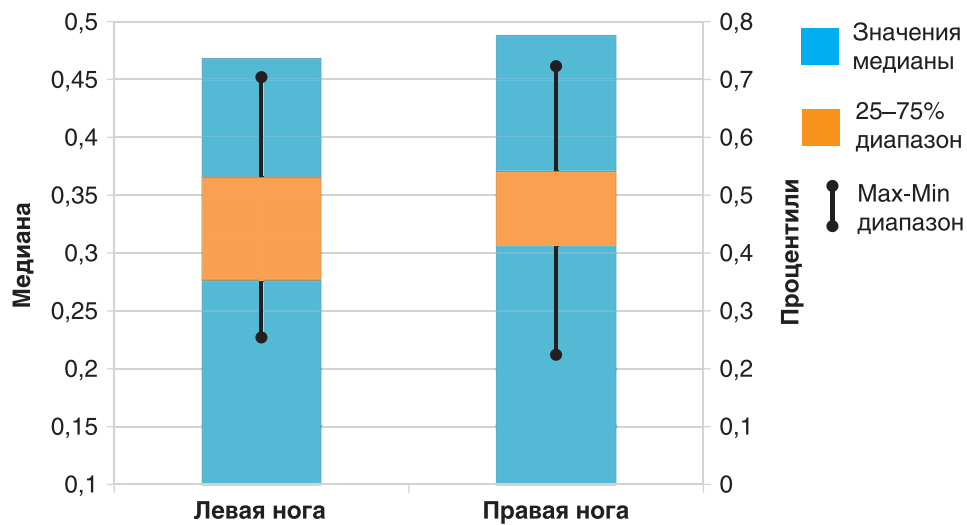


Рис. 2. Непараметрические показатели, характеризующие второй пик момента аддукции коленного сустава для правой и левой нижней конечности

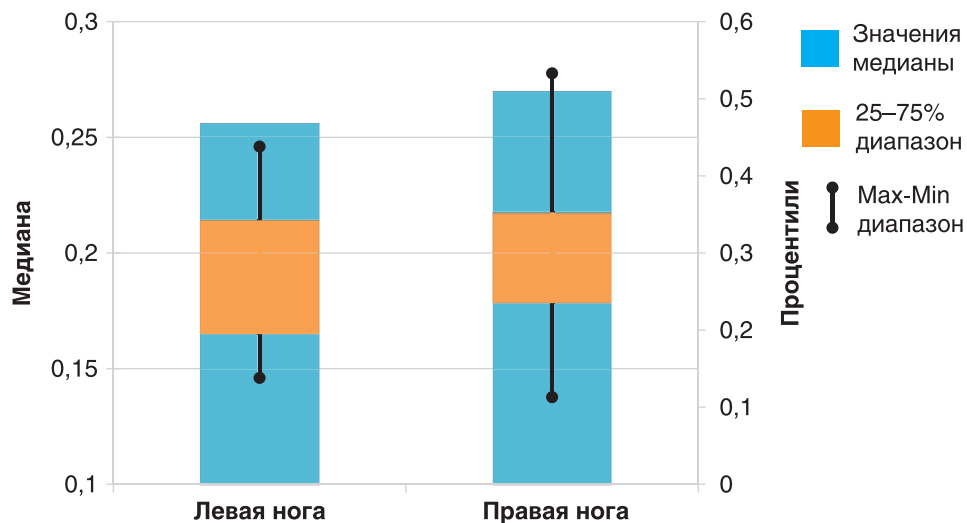


Рис. 3. Непараметрические показатели, характеризующие первый пик момента аддукции коленного сустава у мужчин и женщин

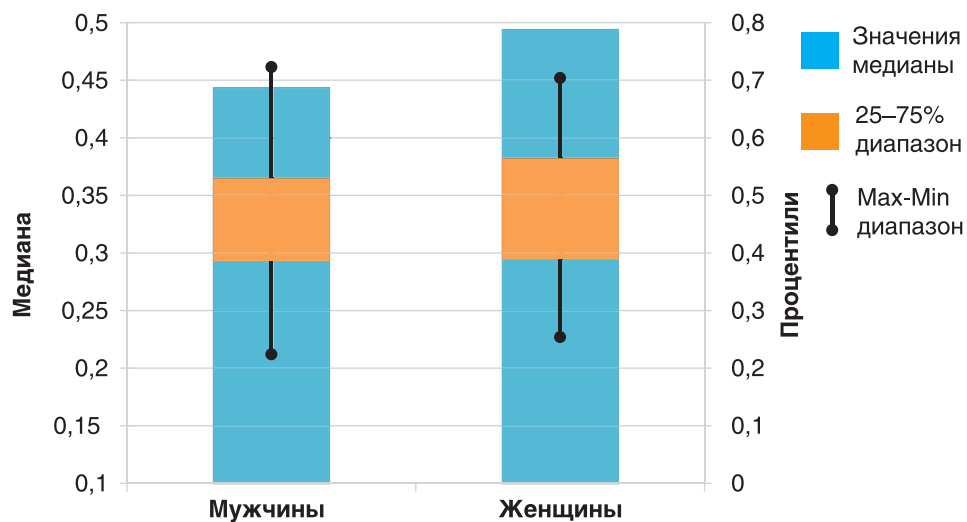
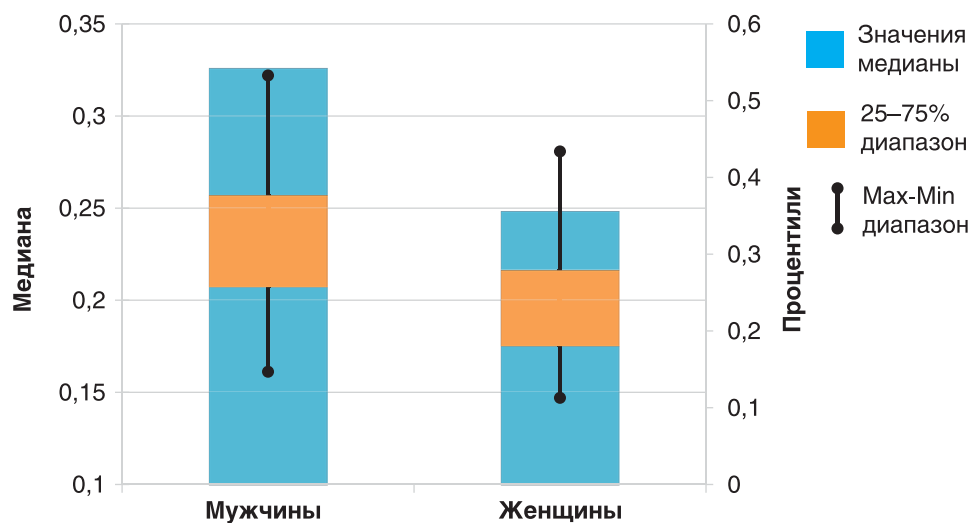


Рис. 4. Непараметрические показатели, характеризующие второй пик момента аддукции коленного сустава у мужчин и женщин



При оценке влияния половых различий на пиковые моменты аддукции коленного сустава обнаружено, что первый пик не имел достоверных различий у мужчин и женщин ($U=646$; $p>0,05$) (рис. 3), тогда как второй пик был достоверно выше у мужчин ($U=409,5$; $p<0,05$) (рис. 4). Очевидно, это связано с большей мощностью заднего толчка у мужчин при равенстве осевой нагрузки на коленный сустав во время нагрузочной реакции, соответствующей первому пику.

ОБСУЖДЕНИЕ

В зарубежной литературе имеет место оригинальное исследование, в котором получены аналогичные нашим результаты, отражающие высокую степень симметрии обоих пиков момента аддукции коленного сустава с учетом пола и возраста [13]. Однако наличие в данной работе слишком малой выборки 17 здоровых добровольцев с крайне неравномерным распределением по полу внушает необходимость проведения более качественных исследований, результаты которых будут отвечать критериям генеральной совокупности.

При подтверждении нормальности полученных данных относительно наличия влияния гендерных особенностей биомеханики на составляющие аддукционных сил, сформированный диапазон их референтных значений будет различаться в зависимости от пола. Установленные особенности в отношении пиковых моментов аддукции коленного сустава будут учтены при внедрении видеоанализа движений в качестве диагностического инструмента.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, исследование подтвердило, что достоверные различия в амплитуде как первого, так и второго пика момента аддукции коленного сустава между правой и левой нижней конечностью отсутствуют вне зависимости от пола. Значимые гендерные различия отсутствуют в отношении амплитуды первого пика момента аддукции коленного сустава, но присутствуют в отношении амплитуды второго пика. Таким образом, при подтверждении полученных результатов методами параметрической статистики при большем количестве человек в выборках симметричность аддукционных сил, воздействующих на коленные суставы в фазу опоры, будет доказана. Полученные результаты будут использоваться для решения диагностических и прогностических задач, в частности для установления риска возникновения гонартроза при наличии анатомической асимметрии и анатомических аномалий одной из нижних конечностей.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы подтвердили отсутствие конфликта интересов, о котором необходимо сообщить.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

ФГБУ ФСНКЦ ФМБА России

УЧАСТИЕ АВТОРОВ

Малков А.Б. — окончательный отбор волонтеров, набор и техническая оценка качества полученных данных от видеоанализа походки, статистическая обработка, анализ и представление результатов исследования, написание оригиналь-

ной статьи; Кондратьев С.Н. — техническое обеспечение видеонализа движений в рамках исследования; Аброськина М.В. — первоначальный отбор волонтеров.

Все авторы внесли существенный вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию до публикации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Багирова Г.Г. *Избранные лекции по ревматологии*. — Москва: Медицина, 2008. — 252 с. [Bagirova GG. *Izbrannyye lektzii po revmatologii*. Moscow: Medicine; 2008. 252 p. (In Russ.)]
2. Коваленко В.Н., Борткевич О.П. *Остеоартроз: практическое руководство*. 2-е изд., перераб. и доп. — Киев: Морион, 2005. — 592 с. [Kovalenko VN, Bortkevich OP. *Osteoartroz: prakticheskoye rukovodstvo*. 2nd revised and updated. Kiev: Morion; 2005. 592 p. (In Russ.)]
3. Матвеев Р.П., Брагина С.В. Остеоартроз коленного сустава: проблемы и социальная значимость // *Экология человека*. — 2012. — №9. — С. 53–62. [Matveev RP, Bragina SV. Knee joint osteoarthrosis: problems and social significance. *Ekologiya cheloveka*. 2012;(9):53–62. (In Russ.)]
4. Bout-Tabaku S, Best TM. The adolescent knee and risk for osteoarthritis — an opportunity or responsibility for sport medicine physicians? *Curr Sports Med Rep*. 2010;9(6):329–331. doi: 10.1249/JSR.0b013e3181fca311.
5. Conaghan PG, Sharma L. *Fast facts: osteoarthritis*. Oxford: Health Press Limited; 2009. 104 p.
6. Jalalvand A, Anbarian M, Ahanjan S, et al. Research paper: the effect of knee osteoarthritis on excursions of lower limb joints during gait. *Physical Treatments*. 2017;6(4):233–241. doi: 10.18869/nrip.ptj.6.4.233.
7. Morris R. Knee joint kinematics associated with osteoarthritis in an older cohort. Newcastle upon Tyne (UK): Newcastle University; 2019. 203 p.
8. Landry SC, McKean KA, Hubble-Kozey CL, et al. Knee biomechanics of moderate OA patients measured during gait at a self-selected and fast walking speed. *J Biomech*. 2007;40(8):1754–1761. doi: 10.1016/j.jbiomech.2006.08.010.
9. Foroughi N, Smith R, Vanwanseele B. The association of external knee adduction moment with biomechanical variables in osteoarthritis: a systematic review. *Knee*. 2009;16:303–309. doi: 10.1016/j.knee.2008.12.007.
10. Kerrigan DC, Riley PO, Nieto TJ, Della Croce U. Knee joint torques: a comparison between women and men during barefoot walking. *Arch Phys Med Rehabil*. 2000;81(9):1162–1165. doi: 10.1053/apmr.2000.7172.
11. Батршин И.Т., Садовая Т.Н. Разновысокость нижних конечностей с перекосом таза и деформация позвоночника // *Хирургия позвоночника*. — 2007. — №3. — С. 39–44. [Batrshin IT, Sadovaya TN. Lower limb length discrepancies with pelvic tilt and coronal deformity of the spine. *Spine Surgery*. 2007;(3):39–44. (In Russ.)] doi: 10.14531/ss2007.3.39-44.
12. Seeley MK, Umberger BR, Clasey JL, Shapiro R. The relation between mild leg-length inequality and able-bodied gait asymmetry. *J Sports Sci Med*. 2010;9(4):572–579.
13. Teichtahl AJ, Wluka AE, Morris ME, et al. The associations between the dominant and nondominant peak external knee adductor moments during gait in healthy subjects: evidence for symmetry. *Arch Phys Med Rehabil*. 2009;90(2):320–324. doi: 10.1016/j.apmr.2008.07.030.

КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Малков Алексей Борисович

к.м.н., врач по спортивной медицине ФГБУ «Федеральный Сибирский научно-клинический центр» ФМБА России;

адрес: 660037, Красноярск, ул. Коломенская, д. 26; **e-mail:** genesis-med@yandex.ru,

SPIN-код: 4057-2538, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-2282-7407>

Кондратьев Станислав Николаевич

технический специалист по системам видеонализа движений ФГБУ «Федеральный Сибирский научно-клинический центр» ФМБА России;

e-mail: stas.84@inbox.ru

Аброськина Мария Васильевна

к.м.н., доцент кафедры нервных болезней с курсом медицинской реабилитации ПО ФГБОУ ВО «КрасГМУ им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого» Минздрава России; врач-невролог ФГБУ «Федеральный Сибирский научно-клинический центр» ФМБА России;

e-mail: mabroskina@yandex.ru, **SPIN-код:** 6011-2040, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1454-1807>